

## RELACION DE TESIS DE GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS

Nombre del egresado	Título de la tesis
<b>2017</b>	
Almaras Villegas Carlos Alberto	COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE SEMILLA DE MAICES HÍBRIDOS TROPICALES Y SUBTROPICALES
CABRERA LEON HUGO DANIEL	CARGA POBLACIONAL DE TRIPS ( <i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande) Y SU CORRELACION CON CARACTERES AGRONÓMICOS EN GENOTIPOS DE MAÍZ
FLORES OSORNIO NELY MONSERRAT	RECUBRIMIENTOS DE QUITOSANO CON UN AGENTE MICROBIANO ( <i>Beauveria bassiana</i> ) Y SU EFECTO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ Y FRIJOL
GONZALEZ GOMEZ MERCEDES	DIVERSIDAD GENÉTICA DE POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE ANCHO ( <i>Capsicum annuum</i> L.) DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO
JUAN ROLANDO HURTADO GUERRA	ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE GLUTEN EN LÍNEAS F6 DE TRIGO HARINERO DE GLUTEN FUERTE
JOSÉ EDUARDO LOZA CENTENO	VARIABILIDAD FENOTÍPICA PARA CARACTERES AGRONÓMICOS Y DE CALIDAD DE SEMILLA EN GENOTIPOS DE MAÍZ
MARTHA CECILIA SALGADO AGUILAR	EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A SEQUÍA EN POBLACIONES DE MAÍZ RC1S1
DIANA MATA ARROYO	COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE SEMILLA EN FUNCIÓN DEL MÉTODO Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN CEBADA
NANCY JANET OCHOA CENTENO	HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍZ POZOLERO ROJO CON ALTO NIVEL DE ANTOCIANINAS ADAPTADOS A ÉL BAJÍO
LUIS FABIÁN OCHOA VALADEZ	RÉGIMEN HÍDRICO Y FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN LA CALIDAD Y EL

	RENDIMIENTO DE SEMILLA Y FORRAJE DE GENOTIPOS DE Avena sativa L.
ADRIANA PAOLA MARTÍNEZ CAMACHO	REGENERACIÓN IN VITRO DE CHILE JALAPEÑO (CAPSICUM ANNUUM L.)
CRISTINA ORTEGA GONZÁLEZ	CLONACIÓN DEL GEN DEL INHIBIDOR DE PROTEASAS DE SEMILLAS DE CHAN (Hypytis suaveolens)
NOÉ DEMETRIO SÁNCHEZ ISORDIA	IDENTIFICACIÓN DE HIBRIDOS DE MAÍZ CON BUENA CALIDAD AGRONÓMICA Y RESISTENTES A LA CONTAMINACIÓN CON AFLATOXINAS
<b>2018</b>	
EDUARDO MENDOZA RAMOS	CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS EN SEMILLA DE JICAMA (Pachyrhizus erosus) POR EFECTO DEL DETERIORO NATURAL
JOSÉ GUADALUPE LÓPEZ VALENZUELA	HUMEDAD DE COSECHA Y TASA DE SECADO EN LA CALIDAD DE SEMILLA Y VIGOR DE PLÁNTULA EN MAÍZ
JULIO CESAR LEÓN VARGAS	VARIACIÓN EN LA SUSCEPTIBILIDAD A INSECTICIDAS DEL GUSANO COGOLLERO (Spodoptera frugiperda) Y SU CORRELACIÓN CON ENZIMAS DETOXIFICATIVAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ DE LA REGIÓN LAJA-BAJÍO, GUANAJUATO
MANUEL JERONIMO ARRIAGA	PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CEBADA SOMETIDA A DISTINTOS NIVELES DE HUMEDAD INOCULADA CON HONGOS MICORRIZÍCOS ARBUSCULARES
JOB AMIGÓN JUÁREZ	CALIDAD DE SEMILLA Y COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE MESTIZOS DE MAÍZ EN DIFERENTES AMBIENTES
MIGUEL ANGEL NORIEGA CARMONA	CARACTERES FISIOLÓGICOS EN GENOTIPOS DE TRIGO EN DIFERENTES FECHAS DE SIEMBRA Y SU EFECTO SOBRE EL VIGOR DE PLÁNTULA
<b>2019</b>	
MARÍA GUADALUPE MANDUJANO ZERMEÑO	COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE MAÍCES CRIOLLOS PIGMENTADOS

JUAN MAURICIO LINO MIRANDA	RESISTENCIA A <i>Fusarium verticillioides</i> , HETEROSIS Y CALIDAD DE SEMILLA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ
SILVIA NAYELY GARCÍA VENEGAS	CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE GRANO Y PERFIL DE TEXTURA DE MASATORTILLA DE MAÍZ EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN
JOSE LUIS CASTRO ALVARADO	FERTILIZACIÓN Y PRE-CONDICIONAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE CHILE HABANERO
ADRIANA BASILIO APOLINAR	EFFECTO DEL SILICIO EN PLANTAS DE CHILE JALAPEÑO ( <i>Capsicum annum L.</i> )
ELIAS UBIAS SERAFIN	GANANCIA GENÉTICA EN CINCO CICLOS DE SELECCIÓN MASAL ESTRATIFICADA PARA RENDIMIENTO EN MAÍZ ( <i>Zea mays L.</i> ) DE TEMPORAL EN EL BAJÍO
<b>2020</b>	
CARLOS OMAR PADILLA RAMÍREZ	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DE FORRAJE EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN EN MAÍZ AMARILLO
LETICIA RODRIGUEZ ZARATE	PRUEBAS DE VIGOR PARA LA CALIDAD DE SEMILLA DE JICAMA ( <i>Pachyrhizus erosus</i> )
CARLOS PIÑA HURTADO	COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE HIBRIDOS DE TOMATE ( <i>Solanum lycopersicum L.</i> ) ESTABLECIDOS EN AGRICULTURA BIODINAMICA



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**EFFECTO DE SILICIO EN PLANTAS DE CHILE JALAPEÑO  
(Capsicum annum L.)**

**QUE PRESENTA**

**ADRIANA BASILIO APOLINAR**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. JUAN CARLOS RAYA PÉREZ  
CO-DIRECTOR: DR. GABRIEL ITURRIAGA DE LA FUENTE**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO DE 2019**

## RESUMEN

*Capsicum annuum* es de las especies más importantes en el ámbito económico. Actualmente el estrés por déficit hídrico y salinidad son limitantes en la productividad de los cultivos. Ha sido probado el potencial del Silicio frente al estrés abiótico en diferentes cultivos. El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto del Silicio (Si) a 1.7 mM en plantas de chile Jalapeño cultivadas en déficit hídrico (DH), salinidad en dos niveles 60 y 180 mM de NaCl (SAM, SAA) y sin estrés. Para evaluar el efecto del Silicio, se determinó el contenido relativo de agua (CRA), longitud de radícula y brote (LR, LB), contenido de materia seca (MS), cenizas (CEN), Silicio (CSi) y localización de cuerpos de sílice (CS) en dos ciclos agrícolas. En los resultados obtenidos, el tratamiento de Si mejoro LB en SAM, SAA y DH, además de inducir un área foliar mayor. El CRA fue influenciado positivamente en plantas con SAA, SAM y DH. También se promovió el desarrollo de raíces secundarias en tratamientos de SAM y DH. El contenido de MS fue superior en DH independientemente del tratamiento con Si; el contenido de cenizas fue relativamente superior en DH y plantas sin estrés en el segundo ciclo. El contenido de Si se cuantificó solo en tratamientos de DH y plantas sin estrés que fueron irrigados con Si, para DH fue de 0.548 mg/g (miligramos/gramos) en base a peso seco (PS) y plantas sin estrés fue de 0.427 mg/g PS. En la localización de cuerpos de sílice, fue posible identificar cuerpos cristalinos en hojas y raíces. En plantas con SAA y SAM se observaron aglomeraciones y formas geométricas, mientras que en hojas de plantas con DH y plantas sin estrés se observaron cuerpos de forma puntiagudos en el interior de las células. El efecto del Si en plantas de chile Jalapeño fue muy variable en las diferentes condiciones de crecimiento, mejoro algunos rasgos morfológicos de las plantas, pero habría que evaluar concentraciones más elevadas en un futuro para asegurar un efecto mayor en las plantas.

**Palabras clave:** *Silicio, salinidad, déficit hídrico, chile Jalapeño.*

## SUMMARY

*Capsicum annuum* is one of the most important species in the economic field. Currently stress due to water deficit and salinity are limiting in crop productivity. The potential of Silicon against abiotic stress in different crops has been tested. The objective of this work was to evaluate the effect of Silicon (Si) at 1.7 mM in Jalapeño pepper plants grown in water deficit (DH), salinity in two levels 60 and 180 mM NaCl (SAM, SAA) and without stress. To evaluate the effect of Silicon, the relative water content (CRA), radicle and shoot length (LR, LB), dry matter content (MS), ash (CEN), silicon (CSi) and were determined location of bodies silica (CS) in two agricultural cycles. In the results obtained, Si treatment improved LB in SAM, SAL and DH, in addition to inducing a larger leaf area. The CRA was influenced in plants with SAA, SAM and DH positively. It also promoted the development of secondary roots in SAM and DH treatments. The MS content was higher in DH independently of the Si treatment; the ash content was relatively higher in DH and plants without stress in the second cycle. The content of Si was quantified only in DH treatments and stress-free plants that were irrigated with Si, for DH was 0.548 mg / g (milligrams / grams) based on dry weight (PS) and plants without stress was 0.427 mg / g PS. In the location of silica bodies, it was possible to identify crystalline bodies in leaves and roots. In plants with SAA and SAM, agglomerations and geometric shapes were observed, whereas in leaves of plants with DH and without stress, pointed bodies were observed inside the cells. The effect of the Si in Jalapeño pepper plants was very variable in the different growth conditions, improved some morphological features of the plants, but higher concentrations would have to be evaluated in the future to ensure a greater effect in the plants.

**Keywords:** *Silicon, salinity, water deficit, Jalapeño pepper.*



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**FERTILIZACIÓN Y PRE-ACONDICIONAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO EN LA  
CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE CHILE HABANERO**

**QUE PRESENTA**

**JOSE LUIS CASTRO ALVARADO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: Dr. JUAN CARLOS RAYA PEREZ  
CO-DIRECTOR: M.C. FRANCISCO CHABLÉ MORENO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ABRIL DE 2019**

## RESUMEN

La germinación es un mecanismo que permite la reanudación de la actividad celular del embrión, inicia con la emisión de la radícula y continua con el desarrollo de las estructuras esenciales del embrión, que permite a una semilla de producir una planta normal. Al evitar deficiencias de nutrientes en las plantas madres especialmente durante la temporada de crecimiento final, es importante no solo para un mejor rendimiento sino también para mejorar la viabilidad y el vigor de la semilla. En general las semillas pueden clasificarse como ortodoxas y recalcitrantes. En este caso la semilla de chile habanero se considera ortodoxa, ya que puede conservarse en condiciones controladas; sin embargo, algunas especies presentan problemas de perder pronto su viabilidad, para mejorar esta condición se puede realizar tratamientos físicos y químicos, entre los cuales que se pueden realizar aplicaciones de  $\text{KNO}_3$ . En general las semillas del género *Capsicum* presentan un grado de latencia ocasionado por la presencia de una cera epicuticular que la hace impermeable la semilla al agua. Para la evaluación de las 6 dosis de fertilización de NPK en dos materiales de chile habanero se realizó en un diseño de bloques completos al azar. (Factor A constituida por 6 tratamientos de fertilización; B conformada por 2 genotipos) se consideró el establecimiento de dos repeticiones de 5 plantas cada una, la unidad experimental fue de 10 plantas por tratamiento bajo condiciones de invernadero. Para el reacondicionamiento de semilla se estableció bajo un experimento trifactorial con diseño completamente al azar, (Factor A constituida por 6 tratamientos de fertilización; B conformada por 3 tratamientos a la semilla; C conformada por el material biológico.) con 3 tratamientos y se consideró el establecimiento de dos repeticiones de 100 semillas cada una, la unidad experimental fue de 200 semillas por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: Altura de planta, Longitud de primer entrenudo, Longitud de segundo entrenudo, Longitud de tercer entrenudo, Longitud de hoja, Longitud de hoja 2, Número de flores, Número de frutos en el primer nudo, Número de frutos en el segundo nudo, Número de fruto en el tercer entrenudo, Longitud de fruto, Ancho de fruto, Peso de fruto, Número de semillas en el fruto y Germinación. para el factor fertilización, los tratamientos 2 y 3 que corresponde a las fórmulas de fertilización 200-30-10 y 160-90-40 presentaron mayor porcentaje de germinación que las demás dosis de fertilización. Las dosis de fertilización 2, 3, 4, 5 y 6 presentaron los valores mayores de PF con rangos de 4.5 a 5.25. En la variable NSF, las dosis 2, 4, 5 y 6 presentaron el mayor número de semillas por fruto, con rango de 17 a 21.25; parece que las dosis altas de N y P son las que tendieron a que el número de semillas fuera menor. En el factor acondicionamiento, el pre-acondicionamiento 2 ( $\text{KNO}_3$  1%) presentó un valor medio superior en la fecha de muestre 7 y 14 días con un 40.29 y 67.16 % de semillas germinadas, por otro lado el empleo del tratamiento 2 y 3 ( $\text{KNO}_3$  1% y Temperatura  $55^\circ\text{C}$  5 min) mostro los valores medios más altos de germinación de la fecha de muestreo a los 21 días con valores de 84.95 y 84.91%. en tanto el tratamiento 1 (Testigo), fue donde se logró los valores medios bajos de 74.62%. esto nos indica que una buena nutrición a las plantas madres en conjunto con un pre-acondicionamiento de semillas se incrementa el porcentaje de germinación de chile habanero.



## SUMMARY

Germination is a mechanism that allows the resumption of the cellular activity of the embryo, starts with the emission of the radicle and continues with the development of the essential structures of the embryo, which allows a seed to produce a normal plant. By avoiding nutrient deficiencies in the mother plants especially during the final growing season, it is important not only for a better yield but also to improve the viability and vigor of the seed. In general, seeds can be classified as orthodox and recalcitrant. In this case the habanero chile seed is considered orthodox, since it can be conserved in controlled conditions; However, some species have problems of losing their viability soon, to improve this condition can be made physical and chemical treatments, among which KNO<sub>3</sub> applications can be made. In general, seeds of the genus *Capsicum* have a degree of latency caused by the presence of an epicuticular wax that makes the seed impermeable to water. For the evaluation of the 6 doses of fertilization of NPK in two materials of habanero pepper was carried out in a design of complete blocks at random. (Factor A consisting of 6 fertilization treatments, B consisting of 2 genotypes) was considered the establishment of two replications of 5 plants each, the experimental unit was 10 plants per treatment under greenhouse conditions. For seed reconditioning, it was established under a trifactorial experiment with completely random design, (Factor A constituted by 6 fertilization treatments, B conformed by 3 treatments to the seed, C formed by the biological material.) With 3 treatments and was considered the establishment of two repetitions of 100 seeds each, the experimental unit was 200 seeds per treatment. The variables evaluated were: Plant height, first internode length, internode second length, third internode length, leaf length, leaf length 2, number of flowers, number of fruits in the first node, number of fruits in the second knot, number of fruit in the third internode, length of fruit, width of fruit, weight of fruit, number of seeds in the fruit and germination. for the fertilization factor, treatments 2 and 3 corresponding to fertilization formulas 200-30-10 and 160-90-40 presented a higher percentage of germination than the other fertilization doses. Fertilization doses 2, 3, 4, 5 and 6 showed the highest values of FP with ranges from 4.5 to 5.25. In the NSF variable, doses 2, 4, 5 and 6 presented the highest number of seeds per fruit, with a range of 17 to 21.25; it seems that high doses of N and P are those that tended to lower the number of seeds. In the conditioning factor, pre-conditioning 2 (KNO<sub>3</sub> 1%) had a higher average value on the sample date of 7 and 14 days with 40.29 and 67.16% of germinated seeds, on the other hand the use of treatment 2 and 3 ( KNO<sub>3</sub> 1% and Temperature 55 ° C 5 min) showed the highest average values of germination of the sampling date at 21 days with values of 84.95 and 84.91%. while treatment 1 (Control), was where the low average values of 74.62% were achieved. This indicates that a good nutrition to mother plants together with a pre-conditioning of seeds increases the germination percentage of habanero pepper.



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE GRANO Y PERFIL DE TEXTURA DE MASA-  
TORTILLA DE MAÍZ EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN**

**QUE PRESENTA**

**SILVIA NAYELY GARCÍA VENEGAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: DR. GILBERTO RODRIGUEZ PÉREZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**NOVIEMBRE, 2019**

## RESUMEN

Nuestro país es el mayor productor de maíz a nivel mundial, denominándose así el centro de origen de este, teniendo la mayor diversidad de material genético, y perteneciendo a la dieta de miles de mexicanos, siendo aquí donde radica la importancia de su producción. La finalidad de este proyecto fue evaluar la respuesta de la densidad de población en la calidad fisicoquímica y perfil de textura de masa-tortilla de maíz. El experimento se estableció en el Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México, en primavera-verano 2018, utilizando seis genotipos, cinco amarillos y un blanco, con tres densidades de siembra (80, 90 y 100 mil plantas/ha, bajo un diseño de parcelas divididas con dos repeticiones. La evaluación fisicoquímica y perfil de textura de masa-tortilla se realizó en el laboratorio de Industrias Alimentarias y laboratorio de Análisis de Semillas del Instituto Tecnológico con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Las variables consideradas para los análisis de calidad fisicoquímica fueron: punción en grano, peso de 1000 granos, peso hectolítrico, índice de flotación, luminosidad, aceite, proteína, humedad, ceniza y grados brix. Las pruebas realizadas en la evaluación del perfil de textura fueron: humedad de nixtamal, pérdida de sólidos, rendimiento masa, rendimiento tortilla, luminosidad tortilla, pérdida de peso, elongación (mm) tortilla TPA, adhesividad y cohesividad. Los resultados arrojaron que los genotipos sobresalientes en la calidad fisicoquímica fueron Cobra y Gorrión teniendo niveles intermedios en dureza, peso de 1000 granos y peso hectolítrico, mientras que en el perfil de textura en masa – tortilla, Gorrión presentó en promedio los valores más altos en humedad con, rendimiento de tortilla, baja pérdida de peso y baja resistencia al corte; en cuanto a la densidad, 80 mil y 90 mil obtuvieron los mejores resultados.

## SUMMARY

Our country is the largest corn producer in the world, being named the center of origin of this, having the greatest diversity of genetic material, and belonging to the diet of millions of Mexicans, being here where the importance of its production lies. The determination of this project was to evaluate the response of population density in physicochemical quality and texture profile of corn tortilla dough. The experiment was established at the Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, Mexico, in the spring-summer 2018 cycle, using six genotypes, five yellow and one white, with three planting densities (80, 90 and 100 thousand plants / ha, under randomized complete block design with split plot arrangement with two repetitions. The physicochemical evaluation and tortilla dough texture profile was carried out in the Food Industries and Seed Analysis laboratories of the Instituto Tecnológico de Roque with an experimental design completely randomized. Variables considered for the analysis of physicochemical quality were: puncture in grain, weight of 1000 grains, hectolitic weight, flotation index, luminosity, oil, protein, humidity, ash and brix degrees. The tests performed in the evaluation of the texture profile were: nixtamal moisture, solids loss, mass yield, tortilla yield, luminosity tortilla, weight loss, elongation tortilla TPA, adhesiveness and cohesiveness. The results showed that the outstanding genotypes in physicochemical quality were Cobra and Gorrión having intermediate levels in hardness, weight of 1000 grains and hectolitic weight, while in the mass texture profile – tortilla, Gorrión averaged the highest moisture values with, tortilla yield, low weight loss and low cut resistance; in terms of density, 80 thousand and 90 thousand obtained the best results.



**TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**



**T E S I S**

**EXUDADOS DE RAÍZ CON ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN FUNCIÓN  
A LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN ALFALFA (*Medicago sativa*  
L.)**

**QUEPRESENTA:**

**MARY CRUZ CAMPA PÉREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE  
SEMILLAS**

**DIRECTOR: MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: JUAN GABRIEL RAMÍREZ PIMENTEL**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO ABRIL DE 2019**

## RESUMEN

La capacidad de las especies para competir y coexistir depende de la capacidad de exploración de las raíces en el suelo, la velocidad de crecimiento, la densidad de raíces, el diámetro, la superficie total de absorción y la profundidad de exploración radicular. A su vez, se generan sustancias exudadas por la raíz que actúan como mecanismos de interacción entre raíces vecinas que pueden ser, toxinas que difunden en la rizósfera como defensa a la competencia por nutrientes, sustancias químicas no tóxicas como ácidos orgánicos que ayudan a la fijación de nutrientes no biodisponibles y señales eléctricas. La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es cultivada en todo el mundo por ser el forraje con más alto valor nutricional, utilizado en la agricultura. Debido a su alta importancia en México, aunado a ello, que el estado de Guanajuato es uno de los principales productores y consumidores de este cultivo. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar los cambios que sufre la raíz de alfalfa a diferentes densidades de siembra (3, 6 y 9 k ha<sup>-1</sup>), el papel que tiene el control biológico y la efectividad del extracto a base de los exudados que se secretan al medio donde se siembra y en competencia sobre plántulas de *Arabidopsis thaliana*(L.) Heynh. Se manejó semilla de alfalfa variedad San Miguelito y Belleza Verde. La siembra en campo se estableció en el Tecnológico de Roque en Noviembre de 2017, de forma manual en surcos para un buen control agronómico y prácticas de producción de semilla. Se utilizaron tres densidades de siembra 5, 10 y 15 k ha<sup>-1</sup>. Todas estas variables, se sometieron a un análisis de varianza y una comparación de medias, utilizando el paquete SAS 9.0. Los resultados muestran que la densidad de siembra con mayor desarrollo radicular fue 9 k ha<sup>-1</sup> en el laboratorio, estos resultados que coinciden con los datos de campo al ser también la mayor densidad utilizada (9 k ha<sup>-1</sup>). Los exudados de la alfalfa presentaron un efecto antagónico muy marcado sobre *Arabidopsis thaliana* al reducir su crecimiento, este efecto fue más alto para la densidad de 9 k ha<sup>-1</sup>. Al aplicar el extracto elaborado con el medio de la interacción alfalfa-*Arabidopsis*, se tuvo efecto positivo para retrasar o eliminar el crecimiento de plántulas de *Arabidopsis*, siendo el más óptimo para este fin, la densidad de 9 k ha<sup>-1</sup> con una concentración de 50%. Los solventes (agua y

etanol) y las variedades de alfalfa mostraron un mismo patrón de comportamiento, resultando ser estadísticamente similares.

## SUMMARY

The ability of the species to compete and coexist depends on the ability of exploration of the roots in the soil, the growth velocity, the root density, the diameter, the total surface of absorption and the depth of radicular exploration. In turn, they generate substances exuded by the root that act as mechanisms of interaction between neighboring roots that can be, toxins that diffuse in the rhizosphere as defense to the competition by nutrients, non toxic chemical substances like organic acids that they help the fixation of non-bioavailable nutrients and electrical signals. Alfalfa (*Medicagosativa* L.) is cultivated throughout the world because it is the forage with the highest nutritional value, used in agriculture. Due to its high importance in Mexico, in addition, the state of Guanajuato is one of the main producers and consumers of this crop. For the above, the objective of this research was to determine the changes that the root of alfalfa suffers at different densities sowing (3, 6 and 9 K ha<sup>-1</sup>), the role that has the biological control and the effectiveness of the extract based on the exudates that are secreted to the medium and is sown and in competition on the seedlings of *Arabidopsisthaliana*(L.) Heynh. Alfalfa seed was handled variety San Miguelito and Bellezaverde. The field planting was established in the Technology of Roque in November 2017, manually in furrows for good agronomic control and practices of seed production. Three sowing densities were used 5, 10 and 15 K ha<sup>-1</sup>. All These variables were subjected to an analysis of variance and a comparison of means, using the SAS 9.0 package. The results show that the planting density with the greatest root development was 9 K ha<sup>-1</sup> in the laboratory results that coincide with the field data as also the highest density used (9 K ha<sup>-1</sup>). The exudates of Alfalfa presented a very marked antagonistic effect on *Arabidopsisthaliana* when reducing its growth, this effect was higher for the density of 9 k ha<sup>-1</sup>. When applying the extract elaborated with the medium of the interaction alfalfa-*Arabidopsis*, it had positive effect to delay or eliminate the growth of *Arabidopsis* seedlings, being the most optimal for this purpose the fact with the medium where we used density of 9 k ha<sup>-1</sup> with a concentration of 50% average. Solvents (water and ethanol) and alfalfa varieties showed the same pattern of behavior, proving to be statistically similar.





**TESIS**

**RESISTENCIA A *Fusarium verticillioides*, HETEROSIS Y CALIDAD DE  
SEMILLA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ**

**QUE PRESENTA:**

**JUAN MAURICIO LINO MIRANDA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE  
SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: DR. JUAN GABRIEL RAMÍREZ PIMENTEL**

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la heterosis útil, calidad de semilla y resistencia a *Fusarium verticillioides* en híbridos triples de maíces blancos y amarillos en condiciones de campo. El presente trabajo se llevó a cabo en el TecNM-Tecnológico de Roque en 2017, se sembraron dos parcelas con 28 genotipos de maíz de cruz triple (21 de grano blanco y 7 de grano amarillo) y un testigo comercial de cruz simple (BOA) en dos fechas (02 de abril y 17 de julio), riego y temporal. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones de dos surcos de 5 m por genotipo y por fecha de siembra. La fórmula de fertilización que se utilizó fue 140-100-80 para temporal y 240-100-80 para riego, y se realizó con productos foliares y granulados. Se inoculó *Fusarium verticillioides* entre la etapa fenológica R1 y R2 que es cuando los estigmas ya fueron polinizados utilizando un palillo de madera previamente sumergido en una solución salina que contenía el inoculo, atravesando éste en el jilote de cinco plantas por parcela, dejando el palillo en cada una de ellas. Esta técnica se utilizó únicamente en la parcela sembrada en riego, mientras que en la fecha de temporal se utilizó un testigo (criollo mejorado) susceptible a *Fusarium verticillioides* con el fin de comprobar la presencia del patógeno en la parcela, y dejando que la infección fuese de manera natural. Las variables evaluadas en campo fueron; altura de planta, altura de mazorca, días a floración masculina y femenina. Se tomaron variables de la mazorca como; peso de cinco mazorcas, peso del grano de cinco mazorcas, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera. También se evaluaron componentes de rendimiento; peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrane y prolificidad. Se evaluó la heterosis útil con respecto a BOA en porcentaje. El análisis de los datos se llevó a cabo con el software SAS<sup>MR</sup> versión 9.0, realizando de rango múltiple (DUNCAN al 5 % de probabilidad). Hubo diferencias altamente significativas al 1 % de probabilidad para las variables de altura de planta, altura de mazorca, floración masculina y femenina en ambientes, mientras que entre genotipo y genotipo \*ambiente no las hubo. Para las variables de mazorca hubo diferencias altamente significativas al 1 % para genotipos y también ambientes, excepto para longitud en ambientes (significativo al 5 %) y diámetro (no significativo). En los componentes de rendimiento hubo diferencias altamente significativas al 1 % entre genotipos para rendimiento e índice de desgrane, en ambientes

para peso de 1000 semillas, rendimiento e índice de desgrane sucedió lo mismo. Los resultados para heterosis útil arrojaron una media general de  $11.43 \text{ t ha}^{-1}$  (-20.4 % heterosis útil respecto al testigo), superada por 4 genotipos, el genotipo 7 mostro la mayor heterosis porcentual con un valor de 17 % para la fecha de riego, mientras que en temporal la media general es de  $6.06 \text{ t ha}^{-1}$  (-13 % heterosis útil), el genotipo 26 tuvo la mayor heterosis útil (24 % de heterosis útil). En el análisis de incidencia y severidad para porcentaje de pudrición por escala visual se obtuvieron valores en porcentaje de infección de la mazorca de 0 % en el genotipo 19 (264/311//clg 2312) hasta 56 % del genotipo 14 (500/498//444). En el conteo en caja Petri el genotipo 8 (500/498//197) presento una media de cinco semillas prácticamente infectadas por *Fusarium v.* mientras que el genotipo 15 (264/311//444) tuvo una media de una semilla infectada por cada cinco. La variable porcentaje de pudrición por escala visual mostro valores en porcentaje de infección de la mazorca de 0 % (en la mayoría de los genotipos) hasta 40 % en el genotipo 29 (TCM). Por otra parte, en conteo de semillas en caja de Petri muestran que el genotipo 28 (486/451//197) presento una media de 4 de cada 5 semillas infectadas mientras que 15 de los 29 genotipos tienen 0 semillas de cada 5. La homogeneidad a través de distintos ambientes parece no ser algo que caracterice a los genotipos evaluados en el presente trabajo de investigación, por lo que deben seleccionarse los genotipos más aptos para cada uno de los ambientes, sobre todo en rendimiento y sanidad del grano adaptándose a las necesidades del productos de la zona de Celaya, Guanajuato.

**Palabras clave:** *heterosis útil, Fusarium verticillioides, rendimiento, genotipos y ambientes.*

## SUMMARY

The objective of the present work was to evaluate the useful heterosis, seed quality and resistance to *Fusarium verticillioides* in triple hybrids of white and yellow maizes in field conditions. The present work was carried out in the TecNM-Tecnológico de Roque in 2017, two plots were planted with 28 genotypes of triple-cross corn (21 of white grain and 7 of yellow grain) and a simple commercial cross-check (BOA) on two dates (April 2 and July 17), irrigation and temporary. The experimental design was randomized complete blocks with two repetitions of two rows of 5 m per genotype and per planting date. The formula of fertilization that was used was 140-100-80 for temporary and 240-100-80 for irrigation, and was done with foliar and granular products. *Fusarium verticillioides* was inoculated between the phenological stage R1 and R2, which is when the stigmas were already pollinated using a wooden stick previously submerged in a saline solution containing the inoculum, passing through the ear of five plants per plot, leaving the stick in each of them. This technique was used only in the plot planted in irrigation, while on the date of weather a control (improved Creole) susceptible to *Fusarium verticillioides* was used in order to check the presence of the pathogen in the plot, and allowing the infection to be Natural way. The variables evaluated in the field were; height of plant, height of ear, days to male and female flowering. Variables of the ear were taken as; weight of five ears, weight of the grain of five ears, length and diameter of ear, number of rows per ear and number of grains per row. Performance components were also evaluated; hectolitic weight, weight of 1000 seeds, yield, index of shattering and prolificacy. Useful heterosis was evaluated with respect to BOA in percentage. The analysis of the data was carried out with the SAS<sup>MR</sup> software version 9.0, performing multiple range (DUNCAN at 5% probability). There were highly significant differences at 1% probability for the variables of plant height, ear height, male and female flowering in environments, while genotype and genotype \* environment did not. For the cob variables there were highly significant differences at 1% for genotypes and also environments, except for length in environments (significant at 5%) and diameter (not significant). In the yield components there were highly significant differences at 1% between genotypes for yield and shelling index, in environments for weight of 1000 seeds, yield and shelling index the same thing happened. The results for useful

heterosis yielded a general average of  $11.43 \text{ t ha}^{-1}$  (-20.4% useful heterosis compared to the control), surpassed by 4 genotypes, genotype 7 showed the highest percentage heterosis with a value of 17% for the irrigation date, while in temporal the general average is  $6.06 \text{ t ha}^{-1}$  (-13% useful heterosis), genotype 26 had the highest useful heterosis (24% of useful heterosis). In the analysis of incidence and severity for percentage of rot by visual scale values were obtained in percentage of infection of the ear of 0% in genotype 19 (264/311 // clg 2312) up to 56% of genotype 14 (500/498 // 444). In the petri-dish count the genotype 8 (500/498 // 197) presented an average of five seeds practically infected by *Fusarium v.* while genotype 15 (264/311 // 444) had an average of one infected seed per five. The variable percentage of rot by visual scale showed values in percentage of infection of the ear of 0% (in the majority of the genotypes) up to 40% in the genotype 29 (TCM). On the other hand, counting seeds in Petri dishes show that genotype 28 (486/451 // 197) presented an average of 4 out of 5 infected seeds while 15 out of 29 genotypes have 0 seeds out of 5. The homogeneity through different environments does not seem to be something that characterizes the genotypes evaluated in this research work, so the most suitable genotypes for each of the environments should be selected, especially in yield and grain health, adapting to the needs of the products of the Celaya area, Guanajuato.

**Key words:** *useful heterosis, Fusarium verticillioides, yield, genotypes and environments.*



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD FISICOQUÍMICA DE MAÍCES  
CRIOLLOS PIGMENTADOS**

**QUE PRESENTA**

**MARÍA GUADALUPE MANDUJANO ZERMEÑO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: DR. GILBERTO RODRIGUEZ PÉREZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**NOVIEMBRE DE 2019**

## RESUMEN

Los maíces pigmentados se usan tradicionalmente en la alimentación humana de México y de algunos otros países, especialmente para la elaboración de tortillas. Las antocianinas son los compuestos responsables del color rojo-azul de plantas, flores y frutos como en el caso del maíz y por sus propiedades antioxidantes son benéficas a la salud. Estos pigmentos se encuentran en la capa de la aleurona, del endospermo y en el pericarpio del grano. El objetivo de esta investigación fue evaluar poblaciones de maíces de grano de color en función de sus componentes de rendimiento y características físico-químicas del grano. Los genotipos se evaluaron en el ciclo primavera-verano 2018 en el Instituto Tecnológico de Roque. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En las características agronómicas se determinó la Longitud de Mazorca, Peso de Mazorca, Diámetro de Mazorca, Numero de Hileras, Grano por Hileras, Peso de Olote, Diámetro de Olote y Peso de Cien Granos y los caracteres fisicoquímicas incluyeron la Punción Fuerza, Peso Hectolítrico, Índice de Flotación, Humedad, Grados Brix, Luminosidad, Aceite y cuantificación de Antocianinas Totales. Los resultados del análisis de varianza expresaron efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) para genotipos en todos los caracteres evaluados. El genotipo con mayor Longitud de Mazorca fue el 6 (Cerrado). En la variable Peso de Mazorca los genotipos con valores más altos fueron: Pozo, Cerrado y Único. Con respecto a Diámetro de Mazorca, el genotipo Espiral fue quien mejores resultados obtuvo, al igual que en la variable Número de hileras. Para la variable Grano por Hileras el genotipo Rojo fue el que obtuvo mayor resultado, siendo Dragón el valor más bajo. En cuanto a Peso de Olote los genotipos más altos fueron: Pozo, Rojo y Dragón, siendo Biformal y Espiral los valores más bajos. El Diámetro de Olote el genotipo Pozo es el de valores más altos seguido de Cerrado y Rojo, siendo Biformal el del valor más bajo. Con respecto a peso de cien granos, los genotipos más sobresalientes son: Biformal, Pozo, Único y Cerrado. Para la variable Punción Fuerza, el genotipo Dragón es quien obtuvo

## RESUMEN

el valor más alto seguido de Rojo y Cerrado, siendo Único, Espiral y Enano los que se representan con valores menores. En Peso Hectolítrico, el genotipo Cerrado es representado con los valores más altos, dejando a Espiral con los valores más bajos. En Índice de Flotación, el genotipo Espiral está representado con los valores más altos seguido de Pozo, dejando a Rojo y Cerrado en los últimos lugares. La variable Humedad el genotipo más sobresaliente es Pozo siendo Espiral el valor más bajo. El mayor porcentaje de Grados Brix fue encontrado en el genotipo: Único, Rojo y Espiral. En cuanto a la variable Luminosidad Biformal es representado por los valores más altos y en los valores menores es el genotipo Enano. En Aceite el genotipo Rojo es el más alto seguido de Único y Biformal, dejando a Cerrado en último lugar con el valor más bajo. Y finalmente los genotipos con mayor porcentaje de antocianinas fueron: Enano, Espiral y Único, siendo el genotipo Rojo el valor más bajo.



## SUMMARY

Pigmented corn is traditionally used in the human diet of Mexico and some other countries, especially for the elaboration of tortillas. Anthocyanins are the compounds responsible for the red-blue color of plants, flowers and fruits as in the case of corn and for their antioxidant properties are beneficial to health. These pigments are found in the aleurone, the endosperm and the pericarp of the grain. The objective of this research was to evaluate populations of colored grain maize based on their yield components and physicochemical characteristics of the grain. The genotypes were evaluated in the spring-summer 2018 cycle at the Instituto Tecnológico de Roque. The randomized complete block design with three repetitions was used. In the agronomic characteristics, the Length of Cobble, Cob Weight, Cob Diameter, Number of Rows, Grain by Rows, Pot Weight, Pot Diameter and Weight of One Hundred Grains were determined and physicochemical characters included Strength Puncture, Hectolometric Weight, Flotation Index, Humidity, Brix Degrees, Luminosity, Oil and Quantification of Total Anthocyanins. The results of the analysis of variance expressed significant effect ( $P \leq 0.05$ ) for genotypes in all the evaluated characters. The genotype with the longest length of Mazorca was 6 (Cerrado). In the variable Weight of Cob the genotypes with higher values were: Pozo, Cerrado and Único. With respect to Cobble Diameter, the Espiral was the one who obtained the best results, as in the variable Number of rows. For the variable Grain by Rows, the Rojo genotype was the one that obtained the highest result, with Dragón being the lowest value. As for Olote Weight, the highest genotypes were: Pozo, Rojo and Dragón, with Biformal and Espiral being the lowest values. The Diameter of Olote the genotype Pozo is the one with the highest values followed by Cerrado and Rojo, Biformal being the one with the lowest value. Regarding the weight of one hundred grains, the most outstanding genotypes are: Biformal, Pozo, Único and Cerrado. For the Force Puncture variable, the Dragon genotype is the one that obtained the highest value followed by Rojo and Cerrado,

being Único, Espiral and Enano those that are represented with smaller values. In Hectolitic Weight, the Cerrado genotype is represented with the highest values, leaving Espiral with the lowest values. In Flotation Index, the Espiral genotype is represented with the highest

values followed by Pozo, leaving Rojo and Cerrado in the last places. The Humidity variable, the most prominent genotype, is Pozo, with the lowest value being Espiral. The highest percentage of Brix degrees was found in the genotype: Único, Rojo and Espiral. As for the variable Biformal Brightness, it is represented by the highest values and in the smallest values it is the Enano genotype. In Oil the Rejo genotype is the highest followed by Único and Biformal, leaving Cerrado last with the lowest value. And finally the genotypes with the highest percentage of anthocyanins were: Enano, Espiral and Unico, with the Rojo genotype being the lowest value.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**GANANCIA GENÉTICA EN CINCO CICLOS DE SELECCIÓN MASAL  
ESTRATIFICADA PARA RENDIMIENTO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) DE TEMPORAL  
EN EL BAJÍO.**

**QUE PRESENTA**

**ELIAS UBIAS SERAFIN**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: M.C. JORGE COVARRUBIAS PRIETO**

**CO-DIRECTOR: DR. JESÚS FRÍAS PIZANO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**DICIEMBRE 2019.**

## RESUMEN

El maíz es el cultivo agrícola más importante en México. La agricultura de temporal en la región de El Bajío carece de variedades mejoradas de amplia adaptación y productividad. Mediante el método de Selección Masal Moderna o Estratificada (SME) se logra incrementar la productividad de variedades de amplia base genética (variedades de polinización libre), así como el grado de adaptación. La finalidad de este proyecto fue evaluar la ganancia genética de cinco ciclos de Selección Masal Estratificada aplicados en un compuesto de familias de medios hermanos. El experimento se estableció en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México, en el ciclo Verano-Otoño 2018. El material utilizado para la evaluación de la ganancia genética fueron cinco variedades, productos de la SME, evaluadas bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para la evaluación de los caracteres agronómicos se realizó un análisis de covarianza, donde la covariable fue el número de plantas. Además, se realizó un análisis de regresión para la variable rendimiento. Para la prueba de calidad física de la semilla, se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias (DMS,  $p=0.05$ ). Para la determinación de proteína total se empleó una solución salina (tris-HCl 50 mM pH 8.8 NaCl 500 mM) y solución con 2-Propanol al 55%; en ambas se utilizó la técnica de espectrofotometría de Bradford. En los resultados del análisis de covarianza se encontró que en la variable rendimiento hubo diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre las variedades, mientras que en el análisis de regresión para rendimiento la variedad original rindió  $6.3 \text{ t ha}^{-1}$  y como resultado del quinto ciclo de selección se obtuvo un rendimiento de  $8.7 \text{ t ha}^{-1}$ ; es decir, se elevó el rendimiento en  $2.4 \text{ t ha}^{-1}$  a través de cinco ciclos de SME; la ganancia promedio por ciclo fue de selección medida por el coeficiente de regresión fue de 5.59% por ciclo; en calidad física de la semilla el análisis de varianza arrojó diferencias entre las variedades para la expresión de Peso Hectolitrico (PHL) en la comparación de medias la variedad "SMEII" presentó mayor peso hectolitrico con respecto a las demás y finalmente en la determinación de proteína, el mejor ajuste en proteína se logró con el método salino,

ya que presentó un R2 de 0.65, pues el otro método de 2-Propanol al 55% solo explico un R2 menor que .1.

## SUMMARY

Corn is the most important agricultural crop in México. Rain fed agriculture at El Bajío region lacks improved varieties of wide adaptation and productivity. Through the method of Modern or Stratified Masal Selection (SME) it is possible to increase the productivity of varieties of broad genetic base (varieties of free pollination), as well as the degree of adaptation. The purpose of this project was to evaluate the genetic gain of five stratified Mass Selection cycles applied in a family compound. The experiment was established in the experimental field of the Technological Institute of Roque, Celaya, Guanajuato, México, in the Summer-Autumn 2018 cycle. The material used for the evaluation of genetic gain were five varieties, products of the SME, evaluated under a randomized complete block design with four repetitions. For the evaluation of agronomic characters, a covariance analysis was performed, where the covariate was the number of plants. In addition, a regression analysis was performed for the performance variable. For the physical quality test of the seed, an analysis of variance and a comparison of means (DMS,  $p = 0.05$ ) were performed. For the determination of total protein, a saline solution (50 mM tris-HCl pH 8.8 500 mM NaCl) and solution with 55% 2-Propanol were used; in both the Bradford spectrophotometry technique was used. In the results of the covariance analysis it was found that in the yield variable there were highly significant differences ( $p < 0.01$ ) between the varieties, while in the regression analysis for yield the original variety yielded  $6.3 \text{ t ha}^{-1}$  and as a result of the fifth selection cycle a yield of  $8.7 \text{ t ha}^{-1}$  was obtained; that is, the yield was increased by  $2.4 \text{ t ha}^{-1}$  through five cycles of SME; the average gain per selection cycle was measured by the regression coefficient was 5.59% per cycle; In physical quality of the seed the analysis of variance showed differences between the varieties for the expression of Hectolitic Weight (PHL) in the comparison of means the variety "SMEII" presented greater hectolitic weight with respect to the others and finally in the determination of protein, the best protein adjustment was achieved with the saline method, since it presented an  $R^2$  of 0.65, since the other method of 55% 2-Propanol only explained an  $R^2$  less than .1.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CEBADA SOMETIDA A DISTINTOS NIVELES DE  
HUMEDAD INOCULADA CON HONGOS MICORRIZÍCOS ARBUSCULARES**

**QUE PRESENTA**

**MANUEL JERONIMO ARRIAGA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. JUAN CARLOS RAYA PÉREZ**

**CO-DIRECTOR: DR. OSCAR ARATH GRAGEDA CABRERA**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO.**

**DICIEMBRE 2018**

## RESUMEN

Es necesaria la implementación de alternativas viables que contribuyan a la optimización de los recursos en la producción agrícola, tales como agua y fertilización. Se estableció un experimento en condiciones de invernadero en el Campo Experimental Bajío del INIFAP, Celaya, Guanajuato, México, para evaluar el efecto de dos cepas de hongos micorrízicos arbusculares sobre la tolerancia a diferentes cantidades de riego en cebada maltera variedad Esperanza; se utilizó un diseño experimental bifactorial con arreglo completamente al azar con cuatro repeticiones, los factores fueron: (A) fertilización-inoculación [ i) 100% fertilizado sin micorriza (Testigo), ii) 50% fertilizado sin micorriza, iii) inoculación con micorriza INIFAP y fertilizado al 50% y iv) inoculación con micorriza Cepa D1 y fertilizado al 50%]; (B) aplicación de diferentes riegos (4, 3, 2 y 1). Las variables evaluadas fueron: Altura en formación de semilla (AFS), índice de clorofila en formación de semilla (CFS), componentes de rendimiento, calidad de semilla, vigor de plántula y contenido de proteínas del suelo relacionadas a glomalina (PSRG). El ANOVA mostró que en las variables AFS y CFS, existió diferencia significativa tanto en los efectos simples como en la interacción. Con respecto a los componentes de rendimiento, para peso de semilla (PS) e índice de cosecha (IC), los tratamientos 50% fertilizados e inoculados con micorriza INIFAP y Cepa D1 con 2 y 4 riegos igualaron estadísticamente al testigo 100% fertilizado. En calidad de semilla, peso de mil semillas (PMS), peso hectolítrico (PHL) y germinación estándar (GE), los tratamientos inoculados con micorriza INIFAP y la Cepa D1 con 2 riegos mostraron el mismo comportamiento estadístico que el testigo 100% fertilizado. En la variable velocidad de emergencia (VE), los tratamientos 100% fertilizados con 1, 2, 3 y 4 riegos; 50% fertilizados con 3 y 4 riegos; 50% fertilizados e inoculados con micorriza INIFAP y la Cepa D1 con 2, 3 y 4 riegos, fueron estadísticamente iguales; en índice de vigor I (V-I) y II (V-II), los tratamientos inoculados con micorriza INIFAP y Cepa D1 con 2, 3 y 4 riegos, igualaron estadísticamente al testigo 100% fertilizado. El contenido de PSRG total aumentó en 40% en los tratamientos inoculados, independientemente de los riegos aplicados.



La inoculación de cebada con hongos micorrizcos arbusculares contribuyó a mantener el rendimiento y la calidad de semilla cuando la fertilización disminuyó en un 50%; sin embargo, el número de riegos afectó directamente estas dos cualidades aun y cuando se inoculó.

Palabras clave: Uso eficiente de agua, biofertilizante, nutrición vegetal.

## SUMMARY

It is necessary to implement viable alternatives that contribute to the optimization of resources in agricultural production, such as water and fertilization. An experiment was established under greenhouse conditions in the Bajío Experimental Field of the INIFAP, Celaya, Guanajuato, Mexico, to evaluate the effect of two strains of arbuscular mycorrhizal fungi on the tolerance to different amounts of irrigation in malting barley variety Esperanza; a bifactorial experimental design with a completely random arrangement with four repetitions was used, the factors were: (A) fertilization-inoculation [i) 100% fertilized without mycorrhiza (Control), ii) 50% fertilized without mycorrhiza, iii) inoculation with mycorrhiza INIFAP and fertilized at 50% and iv) inoculation with mycorrhiza Cepa D1 and fertilized at 50%]; (B) application of different risks (4, 3, 2 and 1). The variables evaluated were: Height in seed formation (HSF), chlorophyll index in seed formation (CSF), yield components, seed quality, seedling vigor and soil protein content related to glomalin (SPRG). The ANOVA showed that in the AFS and CFS variables, there was a significant difference both in the simple effects and in the interaction. With respect to yield components, for seed weight (SW) and harvest index (HI), 50% fertilized treatments inoculated with INIFAP mycorrhiza and D1 strain with 2 and 4 irrigations statistically matched the 100% fertilized control. As seed, weight of one thousand seeds (OMP), hectolitre weight (HW) and standard germination (SG), the treatments inoculated with mycorrhiza INIFAP and Cepa D1 with 2 irrigations showed the same statistical behavior as the control 100% fertilized. In the variable emergency speed (ES), treatments 100% fertilized with 1, 2, 3 and 4 irrigations; 50% fertilized with 3 and 4 waterings; 50% Fertilized and inoculated with mycorrhiza INIFAP and Strain D1 with 2, 3 and 4 irrigations, were statistically equal; in vigor index I (V-I) and II (V-II), the treatments inoculated with mycorrhiza INIFAP and Cepa D1 with 2, 3 and 4 irrigations, matched statistically the control 100% fertilized. The total SPRG content increased by 40% in the inoculated treatments, independently of the irrigations applied. The inoculation of barley with arbuscular mycorrhizal fungi contributed to maintain yield and

seed quality when fertilization decreased by 50%; however, the number of risks directly affected these two qualities even when inoculated.

Keywords: Efficient use of water, biofertilizer, vegetable nutrition.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**VARIACIÓN EN LA SUSCEPTIBILIDAD A INSECTICIDAS DEL GUSANO  
COGOLLERO (*Spodoptera frugiperda*) Y SU CORRELACIÓN CON ENZIMAS  
DETOXIFICATIVAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ DE LA REGIÓN LAJA-BAJÍO,  
GUANAJUATO**

**QUEPRESENTA**

**JULIO CESAR LEÓN VARGAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**

**CO-DIRECTOR: M.C. LUIS PATRICIO GUEVARA ACEVEDO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO      ENERO, 2018**

## RESUMEN

Se determinó la variación en la susceptibilidad de cinco insecticidas de gusano cogollero y el rol de las enzimas detoxificativas que confieren resistencia en nueve poblaciones de maíz en la región Laja-Bajío, Guanajuato, Mex. En esta región el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidóptera: Noctuidae) es una larva que causa daño al alimentarse del follaje, que depende de la densidad de la plaga pueden reducir el rendimiento hasta en un 100%. El control químico es el principal método de combate de este insecto plaga, con sus respectivos efectos sobre el ambiente y la salud. El uso irracional y elevado número de aplicaciones genera la selección de múltiples mecanismos de resistencia, para cumplir con los objetivos planteados, se realizaron colectas en nueve municipios de la región Laja-Bajío Gto. (Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortázar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Tarimoro y Villagrán), se colecto larvas del tercer estadio y se colocó en vasos de plástico de tamaño cero y hojas de maíz, se etiqueto, se transportaron al Laboratorio de Fitosanidad del Instituto Tecnológico de Roque, las larvas colectadas se transfirieron a plantas de maíz de la variedad Roque sembradas en vasos de plástico de 1 L y colocadas en jaulas de 1.0 x 0.8 x 0.6 m y cubiertas con tela organza y colocadas en una cámara bioclimática con condiciones de  $25 \pm 2$  °C, 55-65% HR y fotoperiodo 14:10 horas luz oscuridad. La línea susceptible (LS) fue proporcionada por el INIFAP con 20 años sin aplicación de insecticidas. Cuando se obtuvo la generación F2 de las poblaciones en estudio y de la línea susceptible INIFAP 1997, se realizó un bioensayo por inmersión mediante un diseño experimental completamente al azar con cinco ingredientes activos, clorpirifos etil, clorantraniliprol, lambdacialotrina, cipermetrina y metomil, 40 repeticiones y un testigo absoluto, para ello se preparan diferentes concentraciones de insecticidas a un intervalo de 0.1 a 1400 ppm y un testigo sin tratar, con adherente (Basagro<sup>®</sup>) como dispersante a una concentración del 1%, al testigo solamente se le aplicó el adherente, se tomaron dos rectángulos de hoja de maíz variedad Roque de 2 cm<sup>2</sup>

libre de plagas e insecticidas y se sumergieron por cinco segundos de cada una de las concentraciones de i.a. en estudio, posterior a la inmersión las hojas se colocaron en papel absorbente por espacio de 30 min para permitir el secado a temperatura ambiente. Pasado ese lapso de tiempo se llevaron a vasos del cero en donde se colocó una larva de tercer estadio en forma individual debido al canibalismo que presenta esta especie, se utilizaron 40 larvas por concentración. La evaluación de mortalidad se realizó a los 24 h de exposición a los i.a. evaluados. El máximo nivel de mortalidad aceptable para el testigo absoluto fue 10% y se corrigió mediante la fórmula de Abbott (1925) cuando el testigo presentaba mortalidad y se determinó sus niveles de  $CL_{50}$  para las líneas de cada población y la línea susceptible, conocido estos valores se determinó la proporción de resistencia dividiendo los valores de  $CL_{50}$  de las líneas de cada población contra la  $CL_{50}$  de la línea susceptible INIFAP 1997 (Georghiou, 1962). Por último, a los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis Probit, se empleó el método de máxima verosimilitud (Finney, 1971), utilizando el programa SAS System para Windows ver 9.0 (SAS, 2002).

Para determinar la actividad enzimática de resistencia de *Spodoptera frugiperda* en 9 poblaciones en la zona Laja-Bajío en el estado de Guanajuato. Se realizaron pruebas bioquímicas de  $\alpha$  y  $\beta$  esterasas, Glutación-S-Transferasas, Acetilcolinesterasa y Oxidasas para determinar y cuantificar niveles enzimáticos de resistencia en las poblaciones en estudio de gusano cogollero del estado de Guanajuato y una línea susceptible proporcionada por el INIFAP campus Bajío. Los resultados muestran que la población de Cortazar resultó ser resistente a los insecticidas cipermetrina, clorpirifos etil, chlorantraniliprole, lambdacialotrina y metomil. Mientras que la población de Apaseo El Alto presentó tolerancia a todos los insecticidas evaluados. Los resultados de la determinación de las enzimas de resistencia mostraron presencia de todas las enzimas, las  $\beta$  esterasas y Glutación-S-transferasas fueron las que reportaron mayor presencia, por su parte Acetilcolinesterasas presentó el mejor contenido para las poblaciones en estudio. Estos resultados sugieren que las  $\beta$ -

esterasas y Glutación-S-transferasas son el principal mecanismo de resistencia para *Spodoptera frugiperda* en el estado de Guanajuato.

**Palabras clave.** Resistencia, gusano cogollero, clorantraniliprol, piretroides, clorpirifos etil, metomil.

## SUMMARY

We determined the variation in the susceptibility of five insecticides of armyworm and the role of the detoxifying enzymes that confer resistance in nine maize populations in the Laja-Bajío region, Guanajuato, Mex. In this region, the armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) is a larva that causes damage when feeding on the foliage, which depends on the density of the pest can reduce yield up to 100%. Chemical control is the main method of combat of this insect pest, with its respective effects on the environment and health. The irrational use and high number of applications generates the selection of multiple resistance mechanisms, in order to comply with the proposed objectives, collections were made in nine municipalities of the Laja-Bajío Gto region (Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortazar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Tarimoro and Villagrán), larvae of the third nymphal stage were collected and placed in zero-size plastic cups and corn husks, label, were transported to the Phytosanitary Laboratory of the Technological Institute of Roque, the larvae collected were transferred to corn plants of the Roque variety planted in 1 L plastic cups and placed in cages of 1.0 x 0.8 x 0.6 m and covered with organza cloth. and placed in a bioclimatic chamber with conditions of 25 ± 2 ° C, 55-65% RH and photoperiod 14:10 dark light hours. The susceptible line (LS) was provided by the INIFAP with 20 years without application of insecticides. When the generation F2 of the populations under study and of the susceptible line INIFAP 1997 was obtained, a bioassay was carried out by immersion by means of a completely randomized experimental design with five active ingredients, chlorpyrifos ethyl, chlorantraniliprole, lambda-cyhalothrin, cypermethrin and methomil, 40 repetitions and an absolute control, for this, different concentrations of insecticides are prepared at a range of 0.1 to 1400 ppm and an untreated control, with adherent (Basagro®) as a dispersant at a concentration of 1%, only the adherent was applied to the control , two rectangles of corn leaf Roque variety of 2 cm<sup>2</sup> free of pests and insecticides were taken and submerged for five seconds of each of the concentrations of ia under



study, after immersion the leaves were placed on absorbent paper for 30 min to allow drying at room temperature. After that lapse of time they were taken to zero vessels where a third stage larva was placed individually due to the cannibalism that this species presents, 40 larvae were used per concentration. The evaluation of mortality was carried out at 24 h of exposure to i.a. evaluated. The maximum acceptable mortality level for the absolute control was 10% and was corrected by the Abbott formula (1925) when the control had mortality and its LC<sub>50</sub> levels were determined for the lines of each population and the susceptible line, known these values the proportion of resistance was determined by dividing the LC<sub>50</sub> values of the lines of each population against the LC<sub>50</sub> of the susceptible line INIFAP 1997 (Georghiou, 1962). Finally, the data obtained were analyzed by Probit analysis, the maximum likelihood method was used (Finney, 1971), using the SAS system for Windows ver 9.0 (SAS, 2002).

To determine the resistance enzymatic activity of *Spodoptera frugiperda* in 9 populations in the Laja-Bajío zone in the state of Guanajuato. Biochemical tests of  $\alpha$  and  $\beta$  esterases, Glutathione-S-transferases, Acetylcholinesterase and Oxidases were carried out to determine and quantify enzymatic levels of resistance in the study populations of the armyworm of the state of Guanajuato and a susceptible line provided by the INIFAP Bajío campus. The results show that the population of Cortazar turned out to be resistant to the insecticides cypermethrin, chlorpyrifos ethyl, chlorantraniliprole, lambda-cyhalothrin and methomil. While the population of Apaseo El Alto showed tolerance to all the insecticides evaluated. The results of the determination of the resistance enzymes showed presence of all the enzymes, the  $\beta$  esterases and Glutathione-S-transferases were the ones that reported the highest presence, meanwhile Acetylcholinesterases presented the best content for the populations under study. These results suggest that  $\beta$ -esterases and Glutathione-S-transferases are the main resistance mechanism for *Spodoptera frugiperda* in the state of Guanajuato.

**Keywords:** Resistance, armyworm, chlorantraniliprol, pyrethroids, chlorpyrifos ethyl, methomil.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**Instituto Tecnológico de Roque**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**HUMEDAD DE COSECHA Y TASA DE SECADO EN LA CALIDAD  
DE SEMILLA Y VIGOR DE PLÁNTULA EN MAÍZ**

**QUE PRESENTA**

**JOSÉ GUADALUPE LÓPEZ VALENZUELA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**  
**CO-DIRECTOR: DR. ENRIQUE ANDRIO ENRÍQUEZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO, 2018**

## RESUMEN

La disponibilidad de semilla de alta calidad es importante para todos los sectores de la agricultura. El análisis de pureza y las pruebas de germinación han sido ampliamente utilizadas en la evaluación de la calidad de las semillas. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la humedad de cosecha y tasa de secado en la calidad física, fisiológica y de vigor de plántula en cruza simples de maíz para el Bajío de México, para cumplir este objetivo se emplearon cinco factores de estudio; genotipos (G) (P3258 y P3289), contenido de humedad a la cosecha (HC) (22, 27, 32, 37 y 42 %), tasa de secado (TS) (4 y 6 % en 24 h), formas de semilla (Planos y Bolas) y tamaño de semilla (Grandes, Medianos y Chicos). La combinación de estos factores generó 120 tratamiento. Se registraron caracteres de vigor de semilla; germinación estándar (GE), el cold test (CT) y la soak test (ST); además se evaluó el vigor inicial de plántula; velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE), altura de plántula (APL), Peso verde de vástago (PVV), peso seco de vástago (PSV) e índice de vigor I y II. En laboratorio se usó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial  $2 \times 5 \times 2 \times 2 \times 3$  con 120 tratamientos y 4 repeticiones y en cama de arena se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En ambos experimentos se usaron 50 semillas por repetición. Los resultados de análisis de varianza mostraron efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para germinación estándar y cold test. La humedad de cosecha modificó estadísticamente todas las variables de laboratorio. La tasa de secado de la semilla sólo tuvo efecto en la GE y CT. El Tamaño de la semilla únicamente modifico la CT y el tamaño de la semilla tuvo significancia estadística en la GE y CT. La prueba de medias indicó que el genotipo P3289W tuvo mejor comportamiento y que en las semillas con alta humedad de cosecha (37 y 42 %) se presenta el vigor más alto. Por otro lado, en la prueba de vigor de plántula, sólo se mostraron cambios por efectos del genotipo.

**Palabras clave:** *Zea mays*, humedad de cosecha, tasa de secado calidad de semilla y vigor de plántula.

## SUMMARY

The availability of high quality seed is important for all sectors of agriculture. Purity analysis and germination tests have been widely used in the evaluation of seed quality. The objective of the present investigation was to determine the effect of harvest moisture and drying rate on the physical, physiological and seedling vigor in simple maize crosses for the shoal of México, to meet this objective five factors were used. study; genotypes (G) (P3258 and P3289), moisture content at harvest (HC) (22, 27, 32, 37 and 42%), drying rate (TS) (4 and 6% in 24 h), forms of Seed (Planes and Balls) and seed size (Large, Medium and Small). The combination of these factors generated 120 treatment. Seed vigor characters were recorded; standard germination (GE), the cold test (CT) and the soak test (ST); In addition, the initial vigor of the seedling was evaluated; emergency speed (VE), emergence percentage (PE), seedling height (APL), green stem weight (PVV), stem dry weight (PSV) and vigor index I and II. In the laboratory, a completely randomized design with a factorial arrangement of 2 x 5 x 2 x 2 x 3 with 120 treatments and 4 repetitions was used and in a sand bed a randomized complete block design with three repetitions was used. In both experiments 50 seeds were used per repetition. The results of analysis of variance showed significant statistical effect ( $P \leq 0.01$ ) between genotypes for standard germination and cold test. Harvest humidity statistically modified all laboratory variables. The rate of seed drying only had an effect on GE and CT. The size of the seed only modified the TC and the size of the seed had statistical significance in the GE and CT. The test of means indicated that the genotype P3289W had better behavior and that in the seeds with high humidity of harvest (37 and 42%) the highest vigor is presented. On the other hand, in the seedling vigor test, only changes were shown due to effects of the genotype.

**Key words:** *Zea mays*, harvest humidity, seed quality drying rate and seedling vigor.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS EN SEMILLA DE JICAMA  
(*Pachyrhizus erosus*) POR EFECTO DEL DETERIORO NATURAL**

**QUE PRESENTA**

**EDUARDO MENDOZA RAMOS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS  
CO-DIRECTOR: DR. RAMIRO RICO MARTÍNEZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.**

**JUNIO, 2018**

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar los índices morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que ocurren en la semilla de jícama por efectos del almacenamiento natural. El experimento se estableció en el Instituto Tecnológico de Roque ubicado en Celaya, Guanajuato. Se evaluó la variedad amarilla Vega de San Juan con cinco años de almacenamiento natural. La semilla para cada año se clasificó en chica y grande usando un tamiz oblongo N° H 10/64" x3/4". Se registró el porcentaje de germinación estándar y en cama de arena bajo condiciones de vivero se midió la velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso seco de vástago y raíz, los índices de vigor I y II y el índice de clorofila. Finalmente, se obtuvo la composición bioquímica de la semilla; proteínas, aceites, carbohidratos y porcentaje de humedad en la semilla. En Laboratorio, se usó un diseño completamente aleatorizado con 10 tratamientos y cuatro repeticiones, usando 50 semillas por repetición. En cama de arena, se empleó un diseño de Bloques completos al azar con 10 tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los años de almacenamiento para todos los caracteres registrados. En este sentido, se encontró que la calidad fisiológica de la semilla disminuyó de forma significativa con el tiempo de almacenamiento de la semilla. Por otro lado, el contenido de humedad y porcentaje de proteína presentó el mismo comportamiento; sin embargo, los lípidos y carbohidratos aumentaron significativamente con respecto al tiempo de almacenamiento de la semilla. Finalmente, las semillas de mayor tamaño fueron consistentes con la más alta calidad fisiológica y la semilla chica presentó valores superiores en lípidos y carbohidratos.

**Palabras clave:** *Pachyrhizus erosus*, deterioro natural, calidad de semilla y componentes bioquímicos.

## SUMMARY

The objective of this research was to determine the morphological, physiological and biochemical indices that occur in jicama seed for natural storage effects. The experiment was established at the Technological Institute of Roque located in Celaya, Guanajuato. The yellow variety Vega de San Juan was evaluated with five years of natural storage. The seed for each year was classified into small and large using an oblong sieve N ° H 10/64 "x3 / 4". The percentage of standard germination was recorded and in litter under nursery conditions the emergence speed, emergency percentage, stem and root dry weight, vigor indexes I and II and the chlorophyll index were measured. Finally, the biochemical composition of the seed was obtained; proteins, oils, carbohydrates and percentage of humidity in the seed. In Laboratory, a completely randomized design with 10 treatments and four repetitions was used, using 50 seeds per repetition. In bed of sand, a design of complete blocks was used at random with 10 treatments and four repetitions. The results showed significant differences between storage years for all registered characters. In this sense, it was found that the physiological quality of the seed decreased significantly with the storage time of the seed. On the other hand, the moisture content and percentage of protein presented the same behavior; however, the lipids and carbohydrates increased significantly with respect to the storage time of the seed. Finally, the larger seeds were consistent with the highest physiological quality and the small seeds showed higher values in lipids and carbohydrates.

**Key words:** *Pachyrhizus erosus*, natural deterioration, seed quality and biochemical components.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
Instituto Tecnológico de Roque



**T E S I S**

**CARACTERES FISIOLÓGICOS EN GENOTIPOS DE TRIGO  
EN DIFERENTES FECHAS DE SIEMBRA Y SU EFECTO  
SOBRE EL VIGOR DE PLÁNTULA**

**QUE PRESENTA**

**MIGUEL ANGEL NORIEGA CARMONA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ  
CO-DIRECTOR: DR. ERNESTO SOLÍS MOYA**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO, 2018**



## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el impacto de las fechas de siembra en caracteres fisiológicos, agronómicos y de vigor inicial de plántula en 36 genotipos de trigo. La investigación de campo se realizó en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP en Celaya, Gto., en 2015-2016 en cinco fechas de siembra; con intervalos de 15 días, a partir del 15 de noviembre de 2015 y hasta el 15 de enero de 2016. Se evaluaron 36 genotipos de trigo; 34 de tipo harineros (*Triticum aestivum*) y dos cristalinos (*Triticum durum*). Se usó un diseño experimental de látice parcialmente balanceado 6 X 6, con 36 genotipos y 3 repeticiones. La parcela experimental se conformó por dos surcos de 3 m de largo sembrados a doble hilo y separados a 75 cm. Se registraron variables fisiológicas y componentes de rendimiento; 1) días a espigamiento; 2) días a madures fisiológica; 3) altura de planta; 4) rendimiento de grano; 5) índice de verdor; 6) índice de área foliar. Por otro lado, se determinó el vigor inicial de plántula y caracteres de calidad física de semilla en 36 genotipos de las fechas de siembra del 15 de noviembre, 15 de diciembre de 2015 y 15 de enero de 2016. Se registraron el peso de 100 semillas y peso volumétrico. Por otro lado, el ensayo de camas de arena bajo condiciones de vivero se desarrolló en el Instituto Tecnológico de Roque para evaluar el vigor inicial de la plántula; velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso fresco de vástago, peso seco de vástago y altura de plántula. Los resultados mostraron que la fecha de siembra A (15 de noviembre) fue la que registro mayor rendimiento de grano; en este sentido, la línea 21 fue el genotipo con mayor rendimiento; mientras la variedad Cortázar S94 y el genotipo 11 fueron los que se clasificaron como los más estables a diferentes ambientes. Además, el rendimiento de grano presentó una correlación alta y negativa para el índice de verdor y una correlación alta y positiva con índice de área foliar. Adicionalmente, el índice de verdor presentó una correlación alta y negativa con índice de área foliar. Los genotipos 5, 27, 29, 33 y 36 fueron consistentes con resultados superiores en la mayoría de las características de vigor de plántula y la fecha de

siembra del 15 de noviembre (primera fecha) influyó de manera positiva en la calidad física y vigor inicial de plántula.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, interacción genotipo-ambiente, caracteres fisiológicos, caracteres agronómicos y calidad de semilla.

## SUMMARY

The objective of the present investigation was to determine the impact of sowing dates on physiological, agronomic characters and initial vigor of seedlings in 36 wheat genotypes. The field research was conducted in the Bajío Experimental Field (CEBAJ) of the INIFAP in Celaya, Gto., In 2015-2016 on five sowing dates; with intervals of 15 days, from November 15, 2015 and until January 15, 2016. 36 wheat genotypes were evaluated; 34 of flour type (*Triticum aestivum*) and two crystalline (*Triticum durum*). An experimental 6 X 6 partially balanced lattice design was used, with 36 genotypes and 3 replications. The experimental plot was formed by two rows of 3 m long planted to double wire and separated to 75 cm. Physiological variables and performance components were recorded; 1) days to stubble; 2) days to physiological maturity; 3) plant height; 4) grain yield; 5) greenery index; 6) leaf area index. On the other hand, the test of sand beds under nursery conditions was developed at the Technological Institute of Roque to evaluate the initial vigor of the seedling; emergency speed, percentage of emergence, fresh stem weight, dry stem weight and seedling height. The results showed that the sowing date A (November 15) was the one with the highest grain yield; in this sense, line 21 was the genotype with the highest yield; while the variety Cortazar S94 and genotype 11 were the ones that were classified as the most stable in different environments. In addition, the grain yield showed a high and negative correlation for the green index and a high and positive correlation with leaf area index. Additionally, the greenness index showed a high and negative correlation with leaf area index. The genotypes 5, 27, 29, 33 and 36 were consistent with superior results in most of the seedling vigor characteristics and the sowing date of November 15 (first date) positively influenced the physical quality and initial vigor of seedling

**Key words:** *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, genotype-environment interaction, physiological characters, agronomic characters and seed quality.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**IDENTIFICACIÓN DE HIBRIDOS DE MAIZ CON BUENA CALIDAD AGRONÓMICA  
Y RESISTENTES A LA CONTAMINACIÓN CON AFLATOXINAS**

**QUE PRESENTA**

**NOÉ DEMETRIO SÁNCHEZ ISORDIA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. JORGE COVARRUBIAS PRIETO**

**CO-DIRECTOR: DR. RICARDO ERNESTO PRECIADO ORTÍZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO DE 2017**

## RESUMEN

En México el maíz tiene una gran importancia económica, social, cultural y alimenticia, ocupando el 33% de la superficie sembrada en territorio nacional, por lo que es considerado el principal cultivo en el país. Actualmente existen factores que limitan la producción, mermando los rendimientos, como lo es el cambio climático, plagas y enfermedades, además de que desde hace tiempo existe la problemática de las aflatoxinas (AF), potentes sustancias carcinógenas producidas por el hongo *Aspergillus flavus* en el grano de maíz. El objetivo de esta investigación fue evaluar en campo en tres localidades y en laboratorio un grupo de híbridos de maíz, formados con líneas desarrolladas a través del método genealógico, con la finalidad de inducir resistencia a la contaminación con AF y buena calidad agronómica. El diseño experimental utilizado fue un lattice 9x9 con dos y tres repeticiones. Las variables agronómicas evaluadas fueron rendimiento de grano, sus componentes y cantidad de AF. Se identificaron híbridos sobresalientes para cada una de las localidades, así como híbridos en común, todos estos con calidad agronómica y con valores menores a 20 partes por billón de AF, valor máximo permitido a nivel internacional en la comercialización de este grano.

Se identificaron los progenitores de los híbridos 45 (1789x1781), 28 (1781x1789), 43 (1789x1772) y 6 (1772x1789) utilizados en cruzas directas y recíprocas, así como el progenitor 1809 utilizado como progenitor femenino en varias combinaciones, con potencial para las variables evaluadas. Del total de los híbridos evaluados, el 66.66% presentó resistencia a la contaminación con AF.

## SUMMARY

In Mexico, corn has great economic, social, cultural and nutritional importance, occupying 33% of the area planted in the national territory, making it the main crop in the country. Currently, some factors limit production, reducing yields, such as climate change, pests and diseases, in addition to the problem of aflatoxins (FA), powerful carcinogens produced by the fungus *Aspergillus flavus* in the grain of corn. The objective of this research was to evaluate in the field in three locations and the laboratory a group of corn hybrids, formed with lines developed through the genealogical method, with the proposal of inducing resistance to contamination with AF and good agronomic quality. The experimental design used was a 9x9 trellis with two and three repetitions. The agronomic variables evaluated were grain yield, its components and amount of FA. Outstanding hybrids were identified for each of the localities, as well as hybrids in common, all of these with agronomic quality and with values of less than 20 parts per trillion AF, the maximum value internationally allowed for loading this grain.

The parents of hybrids 45 (1789x1781), 28 (1781x1789), 43 (1789x1772) and 6 (1772x1789) used in direct and reciprocal crosses were identified, as well as the 1809 parent used as the female parent in various complications, with potential for variables evaluated. Of the total of the hybrids evaluated, 66.66% presented resistance to contamination with AF.

**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE SEMILLA DE MAICES  
HÍBRIDOS TROPICALES Y SUBTROPICALES**

**QUE PRESENTA**

**CARLOS ALBERTO ALMARAS VILLEGAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO DE 2017**

**RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación consistió en la determinación del comportamiento agronómico y de calidad de semilla de maíces híbridos tropicales y subtropicales. El estudio se llevó a cabo en tres fases, la primera se realizó en la comunidad de Arroyo de Apo, Municipio de Tacámbaro de Codallos en el Estado de Michoacán, la segunda se realizó en la comunidad de Paso Morelos, municipio de Tacámbaro de Codallos y la tercera etapa se realizó en el Instituto Tecnológico de Roque, municipio de Celaya, Guanajuato. Las semillas de todos los genotipos fueron sometidas a pruebas de calidad física y fisiológica, vigor inicial e índice de clorofila. En la localidad de Paso Morelos se observaron los genotipos más precoces. Con base a los resultados obtenidos se concluye que hubo efecto estadístico significativo de los genotipos para la mayoría de las variables agronómicas registradas a través de análisis combinado por localidad. Tres genotipos presentan un alto potencial de rendimiento en campo. El híbrido más sobresaliente en rendimiento fue el (CML486 X CML451) x (CML247) con 17.86 t ha<sup>-1</sup>. Los materiales superaron el 80% en envejecimiento acelerado y el 98% de germinación. La cruce más importante fue (CML486 X CML451) x (CML444) con 64.49 unidades SPAD.

**Palabras clave:** Maíz, híbridos, comportamiento agronómico y calidad de semilla.



## SUMMARY

The objective of the present investigation was to determine the agronomic and seed quality behavior of tropical and subtropical hybrid maize. The study was carried out in three phases, the first was carried out in the community of Arroyo de Apo, municipality of Tacámbaro de Codallos in the State of Michoacan, the second was held in the community of Paso Morelos, municipality of Tacámbaro de Codallos and the third stage was carried out in the Technological Institute of Roque, municipality of Celaya, Guanajuato. Seeds of all genotypes were submitted to physical and physiological quality tests, initial vigor and chlorophyll index. In the locality of Paso Morelos the oldest genotypes were observed. Based on the results obtained, it was concluded that there was a significant statistical effect of the genotypes for most of the agronomic variables recorded by combined analysis by locality. Three genotypes have a high yield potential in the field. The most outstanding hybrid in yield was (CML486 X CML451) x (CML247) with 17.86 t ha<sup>-1</sup>. The materials exceeded 80% in accelerated aging and 98% of germination. The most important cross was (CML486 X CML451) x (CML444) with 64.49 SPAD units.

**Key words:** Maize, hibrid, agronomic performance and seed quality



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CARGA POBLACIONAL DE TRIPS (*Frankliniella occidentalis* Pergande) Y SU  
CORRELACION CON CARACTERES AGRONOMICOS EN GENOTIPOS DE MAÍZ**

**QUE PRESENTA**

**HUGO DANIEL CABRERA LEÓN**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: M.C. LUIS PATRICIO GUEVARA ACEVEDO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO DE 2017**

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la fluctuación poblacional de trips y correlacionar los con el de rendimiento y sus componentes en genotipos de Maíz para el Bajío de México, durante los años 2015 y 2016, se estableció un trabajo en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, donde se utilizó un diseño bloques completos al azar con 10 tratamientos (8 líneas S4, 1 testigo comercial 30P16 Pioneer<sup>®</sup> y un criollo Tuxpeño), con 4 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por 4 surcos de 5 m de longitud y separados a 0.75 m y la parcela útil fueron los dos surcos centrales. Para evaluar la incidencia de trips se realizaron muestreos desde la emergencia del cultivo y hasta los 40 d de edad de la planta, estos se realizaron 3 veces por semana mediante un aspirador manual y se contabilizaron con ayuda de un estereoscopio. Por otro lado, se determinaron caracteres agronómicos y de rendimiento en los genotipos evaluados. Se realizó un análisis de correlación para las variables de temperatura, precipitación y densidad de trips y un análisis de varianza para el resto de los caracteres. Los resultados mostraron que existe una fuerte variación en la densidad poblacional de *Frankliniella occidentalis* entre los genotipos evaluados; El material genético que menor incidencia presentó para el año 2015 para los ciclos de siembra P/V y V/O fue la línea TNM 87 con un promedio de 4 y 2 trips por planta respectivamente. Por otro lado en 2016 los materiales que mostraron menor incidencia para el ciclo P/V fueron las líneas TNM 120, TNM 106 y TNM 35 con un promedio de 3.5 trips por planta, mientras que en el ciclo V/O la línea TNM 43 y el híbrido 30P16 Pioneer<sup>®</sup> fueron los más resistentes a la presencia de trips con un promedio de 2.5 trips por planta. Mientras que el análisis de correlación entre las variables temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y la densidad de población de trips en los 10 genotipos de maíz para los ciclos estudiados (P/V), (V/O) 2015 y (P/V), (V/O) 2016; no se observó relación entre las variables en estudio con la densidad de *F. occidentalis*. Finalmente, para el año 2015 la línea TNM 87 y el híbrido 30P16 Pioneer<sup>®</sup> presentaron los valores más bajos

de incidencia con un promedio de 2.09 trips, siendo estos los más resistentes a la

presencia de trips, El híbrido 30P16 Pioneer<sup>®</sup> y el criollo Tuxpeño, presentaron el mejor comportamiento agronómico aunque la carga poblacional de trips fue alta.

**Palabras clave.** *Zea mays, incidencia de trips, fluctuación poblacional, caracteres agronómicos, humedad relativa, temperatura, precipitación.*

## SUMMARY

With the objective of evaluate the population fluctuation of trips and to correlate them with that of yield and its components in maize genotypes for the Bajío de México, during the years 2015 and 2016, the experiment was established in the experimental field of the Technological Institute of Roque, where a randomized complete block design was used with 10 treatments (8 S4 lines, 1 commercial Pioneer® 30P16 and one native criollo Tuxpeño) with 4 replicates, each experimental unit consisted of 4 rows of 5 m in length and separated to 0.75 m and the useful plot were the two central row. To evaluate the incidence of trips, samples were taken from the emergence of the crop and up to 40 d of plant age, which were performed 3 times a week by a hand aspirator and counted with the help of a stereoscope. On the other hand, agronomic and yield characteristics were determined in the evaluated genotypes. A correlation analysis was performed for the variables of temperature, precipitation and trips density and an analysis of variance for the rest of the characters. The results showed that there is a strong variation in the population density of *Frankliniella occidentalis* among the evaluated genotypes; The genetic material that presented the lowest incidence for the year 2015 for the P/V and V/O planting cycle was the TNM 87 line with an average of 4 and 2 trips per plant respectively. On the other hand, in 2016 the materials that showed the lowest incidence for the P/V cycle were the lines TNM 120, TNM 106 and TNM 35 with an average of 3.5 trips per plant, while in the V/O cycle the TNM 43 and the Pioneer 30P16 hybrid were the most resistant to the presence of trips with an average of 2.5 trips per plant. While the correlation analysis between the variables maximum temperature, minimum temperature, precipitation and population density of trips in the 10 maize genotypes for the cycles studied (P/V), (V/O) 2015 and (P/V ), (V/O) 2016; no relationship was observed between the variables under study with the density of *F. occidentalis*. Finally, for the year 2015 the line TNM 87 and the hybrid 30P16 Pioneer® presented the lowest values of incidence with an average of 2.09 trips, being these the most resistant to the presence of trips, the hybrid 30P16

Pioneer® and the native criollo Tuxpeño , presented the best agronomic behavior although the population burden of trips was high.

**Keywords:** *Zea mays, incidence of thrips, population fluctuation, agronomic characteristics, relative humidity, temperature, precipitation.*



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**RECUBRIMIENTOS DE QUITOSANO CON UN AGENTE MICROBIANO (*Beauveria bassiana*) Y SU EFECTO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ Y FRIJOL**

**QUE PRESENTA**

**NELY MONSERRAT FLORES OSORNIO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. CÉSAR LEOBARDO AGUIRRE MANCILLA**

**CO-DIRECTOR: DR. JORGE ARIEL TORRES CASTILLO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**FEBRERO 2017**

## RESUMEN

La conservación y protección de semillas es un factor importante para su producción, razón por la cual, existen agentes químicos que ayudan a preservar y proteger la semilla en almacenamiento; sin embargo, muchos son tóxicos para el ser humano, de tal manera, el objetivo de este estudio fue realizar un recubrimiento biofuncional con quitosano y un agente microbiano (*Beauveria bassiana*) que no afectara la germinación de las semillas de maíz blanco cristalino híbrido 4-316 y 4-317 y frijol negro Jamapa. Los recubrimientos de semillas consistieron en siete tratamientos con tres repeticiones, T1: (testigo), T2: (Solución INEX® 0.05%+conidias (*B. bassiana*)), T3: (quitosano 0.1%+agua destilada estéril), T4: (quitosano 0.5% + agua destilada estéril), T5: (quitosano 0.1%+conidias (*B. bassiana*)), T6: (quitosano 0.5%+ conidias (*B. bassiana*)) y T7: (Solución INEX® + agua destilada estéril) para lo cual se determinó el porcentaje de semillas germinadas a los tiempos de 24, 48, 72 y 96 h, además de evaluar el tiempo de almacenamiento sobre la germinación de uno a seis meses con estos mismos tratamientos. Los resultados mostraron que para las semillas, el porcentaje de germinación máximo se presentó a partir de las 72 h, y para frijol se presentó a las 96 h. En general los tratamientos de recubrimiento no afectaron el proceso de germinación para ambas semillas. Lo cual indica que el agente microbiano resultó inocuo para este proceso. Los resultados del porcentaje de germinación de maíz no se afectaron durante los seis meses de almacenamiento. Sin embargo, para la semilla de frijol, el tiempo de almacenamiento sobre la germinación mostró que al segundo mes de almacenamiento obtuvo el mayor porcentaje de germinación para posteriormente decrecer. El agente microbiano no logró establecerse como endófito en las plántulas provenientes de semillas tratadas.



## ABSTRACT

Conservation and protection of seeds is an important factor for their production, to do this, there are chemical agents to preserve and protect the seed during storage; however, many are toxic to humans, so the aim of this study was to perform a biofunctional coating with chitosan and a microbial agent (*Bauveria bassiana*) with not negative effects on seeds germination of white crystalline hybrid corn 4-316 and 4-317 and Jamapa black beans. Seed coatings consisted of seven treatments with three replicates, T1: (control), T2: (INEX ® 0.05% solution + conidia (*B. bassiana*)), T3: (chitosan 0.1% + sterile distilled water), T4: (chitosan 0.1% + sterile distilled water), T5: (chitosan 0.5% + sterile distilled water), T6: (chitosan 0.1% + 0.1% + conidia (*B. bassiana*)), T7: ( INEX ® solution + sterile distilled water). Percentage of germinated seeds at 24, 48, 72 and 96 hours was determined, also the effect of storage time on germination of one to six months with the same treatments was studied. Results showed, that for the seeds, the maximum germination percentage was after 72 h, and for beans it was at 96 h. In general the coating treatments did not affect the germination process for both seeds. This indicated that the polymer and the microbial agent were safe for this process. Results of the percentage of germination of maize were not affected during the six months of storage. However, for beans, storage time on germination showed that the second month of storage obtained the highest percentage of germination and subsequently decreased. The microbial agent did not established as endophyte on plantlets from treated seeds.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**DIVERSIDAD GENÉTICA DE POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE ANCHO**  
**(*Capsicum annuum* L.) DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO**

**QUE PRESENTA**

**MERCEDES GONZÁLEZ GÓMEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO, 2017**

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estimar la diversidad genética de cuatro poblaciones criollas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) del Municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato. Para cumplir lo anterior, se realizó la caracterización morfológica y molecular de cuatro poblaciones criollas sembradas en dos ciclos de cultivo en un invernadero tipo capilla de vidrio en el INIFAP-CEBAJ. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 poblaciones 2 repeticiones, considerando 18 plantas por repetición y la descripción morfológica se hizo de acuerdo al manual del SNICS (2014). Se registraron 15 caracteres; altura de planta (ALT), color de antocianinas en el nivel de los nudos (CAN), longitud de hoja (LH), anchura de hoja (AH), pubescencia de la hoja (PH), diámetro de fruto (FD), longitud de fruto (FL), relación longitud-anchura de fruto (FRLA), cavidad peduncular del fruto (FCP), profundidad de la cavidad peduncular del fruto (FPCP), grosor del pedúnculo del fruto (FRGP), longitud del pedúnculo del fruto (FRLP), grosor del pericarpio del fruto (FGP), tiempo inicio de floración (TIF) y tiempo de maduración (TM). Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), usando el paquete estadístico PAST Ver. 3.15. La caracterización molecular de las poblaciones fue mediante marcadores AFLP. Utilizando 18 individuos por población y un testigo, con seis combinaciones enzima/primer, que generaron 428 marcadores. Se generó una matriz de distancia genética mediante el coeficiente Rogers-Tanimoto. Posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos (SAHN) y finalmente, se construyó un dendrograma con el método de UPGMA, usando el programa estadístico NTSYSpc Ver. 2.20. Los resultados de la caracterización morfológica mostraron para el ciclo 2015 dos componentes principales que explicaron el 78.067 % y en el ciclo 2016 el 78.957 % de la variabilidad total entre las poblaciones. En el análisis conjunto para los ciclos 2015-2016 explicaron el 74.796 % de la variabilidad total. Por otro lado, en 2015 las variables con mayor capacidad explicativa para ambos componentes fueron: FRLA, FL, FD, LH, FCP, PH CAN, FRGP, TM, ALT, FGP, FPCP y en 2016 se

expresaron las siguientes características: ALT, FL, TIF, FRLA, FD, FRLP, FCP, LH, FPCP y FGP. La diversidad morfológica de las poblaciones de chile ancho se representa principalmente por la variación en las características morfológicas de planta y fruto. Aunque se formaron dos grupos; el primero conformado por las poblaciones Especial y Esmeralda con caracteres similares y el segundo con las poblaciones San Luis 1 y San Luis 2. En la caracterización molecular se obtuvieron 428 alelos. Las poblaciones estudiadas presentaron un 5 % de variabilidad genética que integró dos grupos a una distancia genética de 0.958. La diversidad en las poblaciones criollas de la región del Norte del Estado de Guanajuato se está perdiendo, por lo que es necesario realizar tanto la conservación de los materiales, como la incorporación de variación genética.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, diversidad genética, caracterización morfológica, caracterización molecular y poblaciones criollas.

## SUMMARY

The objective of the investigation was to estimate the genetic diversity of four creoles populations of ancho pepper (*Capsicum annuum* L.) of the Municipality of San Luis de la Paz, Guanajuato. To comply with the above, the morphological and molecular characterization of four Creole populations planted in two crop cycles was carried out in a glass chapelain type greenhouse at INIFAP-CEBAJ. We used a completely randomized design with 4 populations 2 replicates, considering 18 plants per replicate and morphological description was done according to the SNICS manual (2014). 15 characters were recorded; ; plant height (ALT), color of anthocyanins at the level of the knots (CAN), leaf length (LH), sheet width (AH), leaf pubescence (PH), diameter of fruit (FD), length of fruit (FL), relationship length-width of fruit (FRLA), fruit peduncle cavity (FCP), depth of the peduncle cavity of the fruit (FPCP), fruit peduncle thickness (FRGP), fruit peduncle length (FRLP), thickness of fruit pericarp (FGP), flowering start time (TIF) and maturation time (TM). A principal component analysis (PCA) was performed using the PAST statistical package Ver. 3.15. The molecular characterization of the populations was by AFLP markers. We used 18 individuals per population along with the tester, 6 enzyme/primer combinations used and 428 markers obtained. The statistical analysis performed to generate a matrix of genetic distance by the coefficient of Rogers-Tanimoto, subsequently, a cluster analysis (SAHN) and a dendrogram constructed by UPGMA method, using the statistical program NTSYSpc V.2.20. The results of the morphological characterization showed for the cycle 2015 two main components that explained the 78.067% and in the cycle 2016 78.957% of the total variability between the populations. In the joint analysis for the 2015-2016 cycles they explained 74.796% of the total variability. In 2015 the variables with the greatest explanatory capacity for both components were: FRLA, FL, FD, LH, FCP, PH, CAN, FRGP, TM, ALT, FGP, FPCP and in 2016 the following characteristics were expressed: ALT, FL, TIF, FRL, FD, FRLP, FCP, LH, FPCP, and FGP. The morphological diversity of the populations of ancho pepper is represented

mainly by the variation in the morphological characteristics of plant and fruit. Although two groups were formed; the first one made up of the Especial and Esmeralda populations with similar characters and the second with the populations of San Luis 1 and San Luis 2. In the molecular characterization, 428 alleles. The populations studied showed 5 % genetic variability integrated two groups with a genetic distance of 0.958. Diversity in native populations of the northern region of Guanajuato State is being losing, so it is necessary both conservation of materials and the incorporation of genetic variation.

**Key words:** *Capsicum annuum*, genetic diversity, morphological characterization, molecular characterization and Creole populations.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**“ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE GLUTEN EN LÍNEAS F6 DE TRIGO HARINERO  
DE GLUTEN FUERTE”**

**QUE PRESENTA**

**JUAN ROLANDO HURTADO GUERRA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: DR. ERNESTO SOLÍS MOYA**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO DE 2017**

## RESUMEN

El trigo es uno de los principales granos para la alimentación, el cual junto con el maíz y el arroz, se producen en diversos países. Después del maíz el trigo es el segundo cultivo más importante para la dieta alimentaria del pueblo mexicano. Con él se elaboran varios productos de consumo masivo como pan, tortilla, pastas, galletas, atole, papillas, obleas y pasteles. El consumo humano de trigo, no puede realizarse directamente, pues requiere un proceso previo de transformación que comienza con la molienda, mediante la que se obtiene la harina, que ubica a la industria harinera como el eslabón estratégico de la cadena producción-consumo y la coloca como la principal fuente de demanda de grano (Gómez 2014).

El objetivo general del presente trabajo fue Analizar la cantidad y calidad de gluten en líneas F6 de trigo Harinero de gluten fuerte, el trabajo se realizó en el laboratorio de calidad industrial de trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo (CIMMYT) ubicado en el Km. 45 Carretera México-Veracruz, El Batán Texcoco Estado de México. Se usaron 3 materiales del INIFAP (CEBAJ) líneas F6 las cuales tienen en común el progenitor femenino y diferente progenitor masculino, todos son harineros de gluten fuerte con genoma AABBDD (Huerta y González, 2000).

La mejor línea de las tres poblaciones fue la 506 de la cruce Eneida F94/Bimbo 6 Canada ya que presenta valores más próximos a los óptimos recomendados para la elaboración de pan y para tener una buena calidad y cantidad de gluten.



## **SUMMARY**

Wheat is one of the main grains for food, which together with maize and rice, are produced in various countries. After corn, wheat is the second most important crop for the diet of the Mexican people. With it are elaborated several products of massive consumption like bread, tortilla, pastas, cookies, atole, papillas, wafers and cakes. The human consumption of wheat can not be carried out directly, since it requires a previous process of transformation that begins with the milling, through which the flour is obtained, which places the flour industry as the strategic link of the production-consumption chain and As the main source of grain demand.

The general objective of the present work was to analyze the quantity and quality of gluten in lines F6 of durum wheat flour, the work was carried out in the wheat industrial quality laboratory of the International Center for the Improvement of Corn and Wheat (CIMMYT) located in The Km. 45 Carretera México-Veracruz, El Batán Texcoco State of Mexico. Three materials of INIFAP (CEBAJ) lines F6 were used which have in common the female progenitor and different male progenitor, all are flour of gluten strong with genome AABBDD.

The best line of the three populations was the 506 of the cross Eneida F94/Bimbo 6 Canada as it presents values closer to the optimal ones recommended for the bread making and to have a good quality and quantity of gluten.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**VARIABILIDAD FENOTÍPICA PARA CARACTERES AGRONÓMICOS  
Y DE CALIDAD DE SEMILLA EN GENOTIPOS DE MAÍZ**

**QUE PRESENTA**

**JOSÉ EDUARDO LOZA CENTENO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.**

**JUNIO, 2017**

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar la calidad de la semilla y el comportamiento agronómico en híbridos simples y triples de maíz se estableció un experimento en laboratorio y campo en el Instituto Tecnológico de Roque. En el ciclo PV-2015 se formaron 36 cruza triples y 9 cruza simples, los cuales fueron sometidos a evaluación de calidad de semilla bajo un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones. La investigación de campo se llevó a cabo en el ciclo PV-2016 y se usaron 49 genotipos; 36 cruza triples, 9 cruza simples y 4 testigos comerciales bajo un diseño de Látice parcialmente balanceado 7 x 7 con 3 repeticiones. Los resultados mostraron efecto estadístico significativo entre genotipos para germinación estándar y peso de semilla. 43 de las 45 cruza superaron el estándar de calidad para germinación propuesto por el SNICS y con respecto al vigor, todos los materiales son considerados de alto desempeño. Por otro lado, el peso de 50 semillas osciló de 19.49 a 23.24 g. Con relación a los caracteres agronómicos, hubo efecto estadístico significativo entre genotipos para la mayoría de las variables registradas; en este sentido, se establece la presencia de una fuerte variabilidad fenotípica entre los híbridos evaluados. Finalmente, 3 híbridos triples superaron las 14 t ha<sup>-1</sup> y de mismo modo, fueron superiores a 3 testigos comerciales evaluados con excepción del genotipo 46 (DAS 2358).

**Palabras clave:** *Zea mays*, variabilidad fenotípica, caracteres agronómicos y calidad de semilla.

## SUMMARY

In order to determine seed quality and agronomic behavior in simple and triple maize hybrids, a laboratory and field experiment was established at the Technological Institute of Roque. In the PV-2015 cycle, 36 triple crosses and 9 single crosses were formed, which were evaluated for seed quality under a completely randomized design with 3 replicates. Field research was carried out in the PV-2016 cycle and 49 genotypes were used; 36 triple crosses, 9 single crosses and 4 commercial witnesses under a 7 x 7 partially equilibrated lattice design with 3 replicates. The two showed significant statistical effect between genotypes for standard germination and seed. 43 of the 45 crosses exceeded the quality standard for standard germination proposed by the SNICS and with respect to vigor, all materials are considered high performance. On the other hand the weight of 50 seeds oscillated from 19.49 to 23.24 g in relation to the agronomic characteristics there was significant statistical effect among genotypes for most of the variables recorded in this sense, the presence of a strong phenotypic variability between groups of crosses evaluated. Finally, 3 triple hybrids exceeded 14 t ha<sup>-1</sup> and similarly were higher than 3 commercial controls evaluated with the exception of genotype 46 (DAS 2358).

**Key words:** *Zea mays*, phenotypic variability, agronomic traits and seed quality.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE SEMILLA EN FUNCIÓN DEL  
MÉTODO Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN CEBADA**

**QUE PRESENTA**

**DIANA MATA ARROYO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN  
Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ  
CO-DIRECTOR: DR. MIGUEL ANGEL ÁVILA PERCHES**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.**

**ENERO, 2017**

## RESUMEN

La semilla con buena calidad representa un insumo estratégico por excelencia que permite sustentar las actividades agrícolas contribuyendo significativamente a mejorar su producción en términos de calidad y rentabilidad. Para obtener lo anterior, resulta importante generar tecnología específica que permita aumentar el rendimiento y la calidad de semilla. Es por ello que dentro del presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad de semilla de cebada en función a dos métodos de siembra (camas y doble hilera), tres densidades de siembra (80, 120, 160 Kg·ha<sup>-1</sup>) y tres variedades de cebada (Alina, Esperanza, Esmeralda). El ensayo se estableció en el ciclo Otoño– Invierno 2014-2015, donde se utilizó un diseño bloques completos al azar con arreglo factorial, con cuatro repeticiones. Las variables agronómicas y de calidad registradas fueron: rendimiento (RS), altura de planta (AP), Longitud de espiga (LE), Espigas por m<sup>2</sup> (Em<sup>2</sup>), semillas por espiga (SE) peso de mil semillas, peso volumétrico (PV) y clasificación de semilla basada en tamaño de cribas (2.57 mm x 19.05 mm, 2.38 mm x 19.05 mm y 2.18 mm x 19.05 mm), germinación, vigor, contenido de proteína y almidón. Los resultados mostraron que para las variables agronómicas se encontraron diferencias entre variedades en rendimiento, espigas por metro cuadrado y semillas por espiga, donde la variedad Esmeralda expreso la mejor respuesta. Por otro lado, el método y densidad de siembra no modificaron estas características agronómicas. En las variables evaluadas de calidad física. En la calidad fisiológica de la semilla se presentó efecto estadístico solo para plántulas anormales y finalmente, la calidad química de la semilla expreso cambios por efecto de la variedad.

## SUMMARY

The seed with good quality represents a strategic input par excellence that allows to sustain the agricultural activities contributing significantly to improve its production in terms of quality and profitability. In order to achieve this, it is important to generate specific technology to increase seed yield and quality. The objective of this study was to evaluate the quality of barley seed according to two methods of sowing (beds and double row), three planting densities (80, 120, 160 kg · ha<sup>-1</sup>) and three varieties of barley (Alina, Esperanza, Esmeralda). The trial was established in the Fall-Winter cycle 2014-2015, where a randomized complete block design with factorial arrangement was used, with four replicates. The agronomic and quality variables were: grain yield (RG), plant height (AP), ear length (LE), spikes per m<sup>2</sup> (Em<sup>2</sup>), seeds per spike (SE) weight of thousand seeds, volumetric weight (PV) and seed classification based on sieve size (2.57 mm x 19.05 mm, 2.38 mm x 19.05 mm y 2.18 mm x 19.05 mm), germination, vigor, protein content and starch. The results showed that for the agronomic variables differences between yield, spikes per square meter and seeds per spike were found, where the emerald variety expressed the best response. On the other hand, the method and density of sowing did not modify these agronomic characteristics. In the evaluated variables of physical quality. In the physiological quality of the seed, statistical effect was presented only for abnormal seedlings and finally, the chemical quality of the seed expressed changes due to the variety.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍZ POZOLERO ROJO CON ALTO  
NIVEL DE ANTOCIANINAS ADAPTADOS A ÉL BAJÍO**

**QUE PRESENTA**

**NANCY JANET OCHOA CENTENO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: JORGE COVARRUBIAS PRIETO**

**CO-DIRECTOR: RICARDO ERNESTO PRECIADO ORTIZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO 2017**



## RESUMEN

El estado de Guanajuato ocupa el quinto lugar en producción de maíz blanco y amarillo en México, sin embargo la producción de maíz pozolero rojo en el estado es escasa, no obstante que reviste gran importancia por el consumo de este tipo de grano en alimentos especiales (elotes, pozole, tostadas, gorditas) y alcanza un precio en el mercado de más de cinco veces el precio del maíz normal, lo cual constituye una alternativa para mejorar el ingreso de los productores. Con el propósito de incrementar la producción de maíz pozolero en el estado, el objetivo de la investigación fue generar híbridos no convencionales (HNC) (maíz nativo x línea endogámica), con mayor potencial de rendimiento, calidad pozolera y contenido de antocianinas, que permitan contar con otra alternativa de producción y generen mayor rentabilidad a los agricultores, con la ventaja de que la semilla sea de fácil producción y a precio accesible. En el 2014 se evaluaron las características agronómicas y potencial de rendimiento de 67 híbridos no convencionales formados en el 2013 en Celaya, Gto. De estos híbridos no convencionales se hizo una caracterización morfológica y se seleccionaron 25 híbridos no convencionales con mejores características de grano pozolero y mayor potencial de rendimiento. En el 2015 los híbridos superiores seleccionados se evaluaron en dos localidades: Celaya, Gto., y Tarímbaro, Mich. Para la evaluación del material genético se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones en ambas localidades. Se evaluaron los caracteres agronómicos; en el laboratorio se evaluaron las características físicas, color y las propiedades reológicas de las muestras de los dos ensayos., así como el contenido de antocianinas (CAT) en el ensayo de Celaya, Gto. En el análisis combinado los híbridos no convencionales fueron estadísticamente similares en rendimiento a los testigos comerciales, excepto los híbridos 3x15, 3x16 y 5x17. Los híbridos no convencionales obtuvieron un mejor rendimiento en la localidad de Celaya, Gto. Con un promedio de  $6,836 \text{ kg ha}^{-1}$ . Los híbridos no convencionales fueron más suaves en la localidad de Tarímbaro, Mich., al presentar menor peso hectolítrico y mayor índice de flotación; respecto a la localidad de Celaya

mostraron un grano más grande, al presentar mayor peso de mil granos. Los híbridos 3x18, 5x19, 3x16, 5x17, 7x16, 6x18, 11x16, 3x15, 4x17, 2x13, 5x18 presentaron buenas características físicas y de calidad pozolera en ambas localidades, presentaron un PH de 70.7, 71.9, 69.2, 67.1, 69.9, 68.3, 71, 71.8, 70.5, 70.4, 72.9 Kg hL<sup>-1</sup>, un PMG de 503.5, 462.2, 517.4, 598.9, 544.4, 476.7, 489.7, 461, 517.3, 480.5, 551.7 g y un índice de flotación de 94, 93, 98, 100, 96, 96, 91, 92, 96, 94, 93; en la viscosidad máxima obtuvieron 4016.5, 3907.8, 3783, 3756.3, 3584, 3519.5, 3510.3, 3412.8, 3395.3, 3360.3, 3349 cP, respectivamente. Los híbridos en ambas localidades fueron de color rojo brillante que se asoció con valores promedio de luminosidad de 46.6, ángulo de tono (HUE) de 55.9° y pureza de color (CROMA) 17.5. Los testigos Antílope, H-316 y H-377 presentaron valores por debajo de los reportados para calidad de grano pozolero. En el contenido de antocianinas (CAT) los progenitores femeninos criollo J.R., GTO. 54 presentaron el mayor contenido con 343 y 221.1 mg/Kg MS, respectivamente. Los híbridos no convencionales 6x18, 5x19, 11x16 5x18 y 4x17 presentaron 213.7, 148, 135.1, 132.5, 122.5 mg/Kg MS, respectivamente. En ambas localidades destacaron estos híbridos en cuanto a las variables evaluadas.

## SUMMARY

The Guanajuato hasd State the fifth place maize production white and yellow kernel in Mexico, however production the pozolero red maize in the state is scarce, although it has of great importance for the consumption of this type of grain in specialty foods (elotes, pozole, toasts, gorditas) and its price reaches more than five times in the market compared with normal maize; so this is an alternative to improve farmers income. With the aim to increase the pozolero maize production of in the State, the objective of this research was to generate not conventional hybrids (HNC) (land race x inbred line), with higher yield potential, pozolero quality and anthocyanins content, this genotypes might allow to have a production alternative to generate higher farmers returns, with the advantage to facilitate seed production with a fordable price. For agronomic traits and yield potential during 2014 were evaluated 67 not conventional hybrids formed in 2013 in Celaya, Gto. A group of not conventional hybrids was and selected 25 based on its agronomic performance and pozolero type characteristics. During 2015 the selected superior hybrids were evaluated for agronomic traits in two locations: Celaya, Gto. and Tarímbaro, Mich. A randomized complete block design was conducted with two replicates, in both locations. In laboratory the physical characteristics, color and the rheological properties of the samples of the two trials were evaluated. As well as anthocyanins (CAT) content from Celaya, Gto trial. In the combined analysis not conventional hybrids were statically similar in performance to commercial controls, except for hybrids 3x15, 3x16 y 5x17. Better performance of not conventional hybrids was observed at Celaya, Gto., with an average of 6, 836 Kg ha<sup>-1</sup>. The not conventional hybrids were softer at Tarímbaro, Mich., with lower test weight and higher flotation index; however at Celaya a bigger grain, size presenting greater thousand grains weight. The hybrid 3x18, 5x19, 3x16, 5x17, 7x16, 6x18, 11x16, 3x15, 4x17, 2x13, 5x18 presented good physical characteristics and of pozolera quality at both locations, presented a PH of 70.7, 71.9, 69.2, 67.1, 69.9, 68.3, 71, 71.8, 70.5, 70.4, 72.9 Kg hL<sup>-1</sup>, a PMG of 503.5, 462.2, 517.4, 598.9, 544.4, 476.7, 489.7, 461, 517.3, 480.5, 551.7 g and flotation index of

94, 93, 98, 100, 96, 96, 91, 92, 96, 94, 93; in the maximum viscosity obtained 4016.5, 3907.8, 3783, 3756.3, 3584, 3519.5, 3510.3, 3412.8, 3395.3, 3360.3, 3349 cP, respectively. The hybrids in both locations were bright red that was associated with average luminosity values of 46.6, tone angle (HUE) of 55.9° and color purity (CROMA) 17.5. The controls Antelope, H-316 and H-377 presented lower values than pozolero grain quality. The anthocyanins (CAT) content parented landraces Criollo J. R., and Gto. 054 presented higher content with 343, 221.1 mg/Kg MS, respectively. The not conventional hybrid 6x18, 5x19, 11x16 5x18 y 4x17 presented 213.7, 148, 135.1, 132.5, 122.5 mg/Kg MS, respectively. In both locations these hybrids highlighted the variables evaluated.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
Instituto Tecnológico de Roque

**T E S I S**

**RÉGIMEN HÍDRICO Y FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN LA CALIDAD Y EL  
RENDIMIENTO DE SEMILLA Y FORRAJE DE GENOTIPOS DE *Avena sativa* L.**

**QUE PRESENTA**

**LUIS FABIÁN OCHOA VALADEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. ENRIQUE ANDRIO ENRÍQUEZ  
CO-DIRECTOR: DR. GILBERTO RODRÍGUEZ PÉREZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO DE 2017**

## RESUMEN

En México, el uso de la *Avena sativa* L. como forraje verde, forraje seco y grano, es una práctica generalizada y aplicada a lo largo del país por su gran aporte nutricional, pero principalmente por ser un cultivo de ciclo corto que es utilizado como alternativa en los sistemas de producción cuando los cultivos tradicionales se han siniestrado, ya que es un cultivo que se adapta a condiciones climáticas de un margen muy amplio; en ciclo P-V, O-I, riego, temporal o mixto. De tal manera que si se va a establecer como cultivo de alternativa es necesario contar con las recomendaciones técnicas necesarias en cuanto a las dosis de fertilización potásica, número adecuado de riegos y las mejores opciones en cuanto a variedades, con la finalidad de obtener el mejor comportamiento del sistema de producción en base a rendimientos de forraje verde, forraje seco, rendimiento de semilla y la calidad de la misma.

En esta investigación se estudiaron los efectos que producen la aplicación de 4 dosis de fertilización potásica: 0 UK (testigo), 30 UK, 60 UK y 90 UK y la aplicación de 2 riegos, 3 riegos y 4 riegos (testigo) en 6 variedades de avena; 5 líneas experimentales: L-112, L-117, L-124, L-164 y L-193 y una variedad comercial: Chihuahua (testigo). La investigación se llevó a cabo en una parcela del Instituto Tecnológico de Roque, en Celaya, Gto. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en franjas con 3 factores y 3 repeticiones; factor 1: dosis de fertilización potásica, factor 2: número de riegos y factor 3: genotipos. Cada unidad experimental estuvo constituida por 3 surcos de 3 metros de longitud y separados a 0.90 metros. Se estableció en una fecha de siembra el día 11 de diciembre de 2015. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de forraje verde, forraje seco y de semilla, así como el peso de mil semillas y el porcentaje de germinación dentro de la calidad de la semilla.

Se observó que existe una fuerte relación entre la dosis de fertilización potásica y la disminución al número de riegos, puesto que las mejores conductas de los tres rendimientos, así como el peso de mil semillas, fueron con la aplicación de una dosis de fertilizante potásico contra la nula aplicación del mismo y la reducción del número de riegos contra la aplicación del número de riegos recomendados por las fichas

técnicas del cultivo. Por otra parte, quien no reflejo un efecto al aumento de la dosis de fertilizante y por lo tanto no genero una relación con la disminución del número de riegos fue el porcentaje de germinación.

Los resultados demostraron que las dosis 30 UK con la variedad L-124 y 60 UK con las variedades L-164 y L-112 fueron las que provocaron el mejor comportamiento de los rendimientos y del peso de mil semillas, combinadas con la aplicación de solamente 2 riegos, pero aun así, la variedad más sobresaliente fue la L-112 ya que obtuvo los rendimientos más altos y el mayor peso de mil semillas de acuerdo a las comparaciones de medias según Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para los rendimientos y según LSD ( $P \leq 0.05$ ) para el peso de mil semillas. En cuanto al porcentaje de germinación, los resultados arrojaron que con la aplicación de 2 riegos y la variedad L-117 se obtiene el mayor porcentaje, pero que no se produjo ninguna relación entre las dosis de fertilización y el número de riegos que afectara el resultado.

## SUMMARY

In Mexico, the use of *Avena sativa* L. as green fodder, dry fodder and grain, is a widespread practice and applied throughout the country for its great nutritional contribution, however, because it is a crop of short cycle that is used as Alternative in production systems when traditional crops have been damaged, since it is a crop that adapts to the climatic conditions of a very wide margin; In cycle P-V, O-I, irrigation, temporal or mixed cycle. Thus, if it is going to be established as an alternative crop, it is necessary to have the necessary technical recommendations in terms of potassium fertilization doses, the appropriate number of irrigations and the best options in terms of varieties, to obtain the Better Behavior of the production system based on yields of green forage, dry fodder, seed yield and the quality of the same.

The effects of 4 doses of potassium fertilization were studied: 0 UK (control), 30 UK, 60 UK and 90 UK on the application of 2 irrigations, 3 irrigations and 4 irrigations (control) in 6 Variety of oats; 5 experimental lines: L-112, L-117, L-124, L-164 and L-193 and a commercial variety: chihuahua (control). The research was carried out in a plot of the Technological Institute of Roque, Celaya, Gto. A randomized complete block experimental design with 3 factor and 3 replicate strips was used; Factor 1: potassium fertilization dose, factor 2: number of risks and factor 3: genotypes. Each experimental unit consisted of 3 tracks of 3 meters in length and separated by 0.90 meters. The evaluated variables were: yield of green forage, dry and seed forage, as well as the weight of one thousand seeds and the percentage of germination within the quality of the seed.

It is observed that there is a strong relationship between the doses of potassium fertilization and the decrease of number of irrigations, that the best behaviors of the three yields, as well as the weight of the seeds, with the application of a dose of potassium fertilization against the application of the null thereof and the reduction of the number of risks against the use of the number of irrigations recommended by the crop datasheets. On the other hand, who does not reflect an effect to the increase of the



dose of fertilizer and therefore does not generate a relation with the decrease of the number of irrigations by the percentage of germination.

The results showed that the UK 30 R doses with the L-124 and 60 UK varieties with the L-164 and L-112 varieties were the ones that caused the best performance of the yields and the weight of a thousand seeds combined with the use of only 2 irrigations, but even Thus, the biggest one was the L-112 as it obtained the highest and the highest weight of thousands according to Tukey's mean comparisons ( $p \leq 0.05$ ) for the yields and according to LSD ( $P \leq 0.05$ ) for the Weight of a thousand seeds As for the percentage of germination, the results showed that with the use of 2 irrigations and the variety L-117 the highest percentage is obtained, but that there is no production between the fertilization doses and the number of irrigations Which will affect the outcome.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CLONACIÓN DEL GEN DEL INHIBIDOR DE PROTEASAS DE SEMILLAS DE  
CHAN (*Hyptis suaveolens*)**

**QUE PRESENTA**

**CRISTINA ORTEGA GONZÁLEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. CÉSAR LEOBARDO AGUIRRE MANCILLA**

**CO-DIRECTOR: DR. GABRIEL ITURRIAGA DE LA FUENTE**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**NOVIEMBRE DE 2017**

## RESUMEN

El chan (*Hyptis suaveolens*) también conocido como chía gorda es una planta cuyo centro de origen se extiende desde América central hasta Sudamérica. En México se localizaron tres variedades de chan: variedad violeta, variedad blanca y variedad blanca-violeta. En tiempos prehispánicos fue ampliamente utilizada debido a sus propiedades nutricionales, medicinales e insecticidas.

Actualmente su propiedad insecticida ha sido prioridad de estudio para diversos grupos de investigación a fin de evaluar su efecto contra insectos plaga de cultivos de importancia fundamental en la alimentación humana, en estudios previos, se caracterizó una proteína responsable del efecto insecticida debido a su actividad como Inhibidor de Proteasas (IPs), esta información fue base para el desarrollo de este trabajo cuyo objetivo fue clonar y caracterizar el gen que codifica el inhibidor de proteasas de chan, para lo cual se realizó extracción de RNA total a partir de cotiledones y semilla madura (completa) de chan variedad violeta, se realizó la purificación de RNAm y posteriormente la síntesis de cDNA a partir del cual mediante electroporación se transformaron cepas de *E. coli*, se realizó la purificación de DNA plasmídico de las bacterias transformadas, la identificación de clonas transformadas se realizó mediante PCR con el uso de los adaptadores degenerados que fueron diseñados a partir de la secuencia N-terminal del inhibidor de proteasas, finalmente los fragmentos amplificados se secuenciaron para determinar la identidad del gen que codifica para el inhibidor de proteasas.

Se logró obtener RNA total de mejor calidad en muestras que se obtuvieron a partir de cotiledones en comparación con las muestras obtenidas de semilla completa de chan, la integridad y pureza del material genético fue clave fundamental para obtener cDNA necesario para los eventos de transformación, se lograron obtener 64 clonas en un primer evento de transformación y 462 clonas en un segundo evento de transformación. En los resultados de secuenciación de las clonas seleccionadas se obtuvieron secuencias correspondientes a fragmentos de vectores de clonación.

## ABSTRACT

The chan (*Hyptis suaveolens*) also known as —chía gordall is a plant whose center of origin extends from Central America to South America. In Mexico, three chan varieties were found: violet (wild), white (domesticated) and white-violet (semi domesticated) varieties. In prehispanic times it was widely used due to its nutritional, medicinal and insecticidal properties.

Currently, its insecticide property has been a study priority for several research groups in order to evaluate its effect against insect pests of crops of fundamental importance in human nutrition, in previous studies, a protein responsible for the insecticidal effect was characterized due to its activity as Protease Inhibitor (IPs), this information was the basis for the development of this work whose objective was to clone and characterize the gene that codes for the chan protease inhibitor, for which extraction of total RNA was carried out from cotyledons and mature seed (complete) of chan violet variety, the purification of mRNA was carried out and subsequently the cDNA synthesis from which *E. coli* strains were transformed by electroporation; purification of plasmid DNA from the transformed bacteria was performed, the identification of transformed clones was carried out by PCR with the use of degenerate primers that were designed from the N-terminal sequence of the protease inhibitor, finally the amplified fragments were sequenced to determine the identity of the gene encoding the protease inhibitor.

It was possible to obtain total RNA of better quality in samples that were obtained from cotyledons in comparison with samples in which were worked with complete seed of chan, the integrity and purity of the genetic material was fundamental key to obtain cDNA necessary for transformation events, it was possible to obtain 64 clones in a first transformation event and 462 clones in a second transformation event. Sequences corresponding to fragments of cloning vectors were obtained in the sequencing results of the selected clones.

## RESUMEN

En México el maíz tiene una gran importancia económica, social, cultural y alimenticia, ocupando el 33% de la superficie sembrada en territorio nacional, por lo que es considerado el principal cultivo en el país. Actualmente existen factores que limitan la producción, mermando los rendimientos, como lo es el cambio climático, plagas y enfermedades, además de que desde hace tiempo existe la problemática de las aflatoxinas (AF), potentes sustancias carcinógenas producidas por el hongo *Aspergillus flavus* en el grano de maíz. El objetivo de esta investigación fue evaluar en campo en tres localidades y en laboratorio un grupo de híbridos de maíz, formados con líneas desarrolladas a través del método genealógico, con la finalidad de inducir resistencia a la contaminación con AF y buena calidad agronómica. El diseño experimental utilizado fue un lattice 9x9 con dos y tres repeticiones. Las variables agronómicas evaluadas fueron rendimiento de grano, sus componentes y cantidad de AF. Se identificaron híbridos sobresalientes para cada una de las localidades, así como híbridos en común, todos estos con calidad agronómica y con valores menores a 20 partes por billón de AF, valor máximo permitido a nivel internacional en la comercialización de este grano.

Se identificaron los progenitores de los híbridos 45 (1789x1781), 28 (1781x1789), 43 (1789x1772) y 6 (1772x1789) utilizados en cruza directa y recíprocas, así como el progenitor 1809 utilizado como progenitor femenino en varias combinaciones, con potencial para las variables evaluadas. Del total de los híbridos evaluados, el 66.66% presentó resistencia a la contaminación con AF.

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE SEMILLA DE MAICES  
HÍBRIDOS TROPICALES Y SUBTROPICALES**

**QUE PRESENTA**

**CARLOS ALBERTO ALMARAS VILLEGAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO DE 2017**

La tesis “COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE SEMILLA DE MAICES HÍBRIDOS TROPICALES Y SUBTROPICALES”, fue realizada por el alumno **Carlos Alberto Almaras Villegas**, bajo la dirección del Dr. Mariano Mendoza Elos, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado de la Dirección General de Educación Superior Tecnológico, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. Mariano Mendoza Elos**

**Cédula: 3998828**

**Asesor:**

---

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**

**Asesor:**

---

**Dr. J. Guadalupe Rivera Reyes**

**Cédula: 5799059**

**Asesor:**

---

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez**

**Cédula: 8612050**

### **DEDICATORIA**

A mis padres por su capacidad de estar conmigo en este proyecto. Por su paciencia y consejos para motivarme a concluir esta etapa de mi vida.

A la Sra. Caritina Cruz Gómez por ser la musa de mi ímpetu y aplomo para enfrentar los retos a los cuales me enfrento día a día, que Dios la bendiga y la cuide por toda la eternidad y que donde quiera que este nos cuide y nos mande todo el amor y la valentía con la cual ella caminaba en cada paso que daba: “Empieza con poco y elévate”.

A mis hijas por ser el principal motivo basado en el ejemplo de que el ser humano puede enfrentar cualquier reto y salir victorioso de él.

AL Dr. Mariano Mendoza Elos, por la oportunidad de desarrollo profesional que impartió en mí, siendo una pieza fundamental en mi vida, dándome consejos y aprendizaje con su sabiduría infinita.

Al Dr. Francisco Cervantes Ortiz por ser el promotor de mi interés para participar en este proyecto donde la parte intelectual me fue transmitida.

A la vida misma dedico este esfuerzo.

Al sr. Joaquín Lagunes Vergara por ser un apoyo y consejero. Pero sobre todo por ser un amigo excepcional y ejemplo a seguir.

## **AGRADECIMIENTOS**



A mi familia en demostrarles que cuando se quiere hacer algo no hay barrera ni nada que te pueda detener.

Al Dr. César Leobardo Mancilla por su paciencia y guía fundamental en mi vida.

Al Instituto Tecnológico de Roque por permitirme participar en proyectos de investigación científica y sus instalaciones, así como todo lo que engloba a él.

Al CIMMYT por darme la oportunidad de colaborar con la mentalidad y el propósito del bienestar a países donde debemos de proponer la seguridad alimentaria de los seres vivos.

A la MC. Ma. Concepción Cázares Franco por el apoyo moral e intelectual brindado y pilar fundamental de mi equilibrio humano.

<b>ÍNDICE</b>	
Índice	i
Índice de tablas	iv
Resumen	v
Summary	vi
<b>I Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II Objetivos</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
2.3. Hipótesis	3
<b>III Revisión de literatura</b>	<b>4</b>
3.1. Antecedentes de maíces híbridos	4
3.1.1. Historia del desarrollo del maíz híbrido	4
3.1.2. Importancia del maíz híbrido en México	6
3.1.3. Desarrollo del maíz híbrido en México	7
3.1.4. Resultados sobre el desarrollo de híbridos	7
3.1.5. Línea por probador	8
3.1.5. Desarrollo de líneas endocriadas	9
3.2. Concepto de maíz híbrido	15
3.2.1. Maíz híbrido triple	16
3.2.2. Mejoramiento genético	17
3.3. Producción nacional de maíz	18
3.3.1. Producción de maíz en Guanajuato	18
3.4. Parámetros genéticos	19
3.5. Calidad física de la semilla	20
3.6. Calidad fisiológica de la semilla	22
<b>IV Materiales y métodos</b>	<b>24</b>
4.1 Ubicación del experimento	24
4.1.1. Ubicación de la primera etapa del experimento	24

4.1.2.	Ubicación de la segunda etapa del experimento	24
4.1.3.	Ubicación de la tercera etapa del experimento	25
4.2	Material biológico	25
4.3.	Manejo agronómico de los campos experimentales	28
4.3.1.	Preparación del terreno	28
4.3.2.	Barbecho	28
4.3.3.	Rastra	28
4.3.4.	Surcado	28
4.3.5.	Riego	28
4.3.6.	Escarda	28
4.3.7.	Fertilización	29
4.3.8.	Control de malezas	29
4.3.9.	Control de plagas	29
4.3.10.	Cosecha	29
4.4.	Metodologías	30
4.5.	Diseño experimental	30
4.6.	Variables	31
4.6.1	Caracteres agronómicos	31
4.6.1.1.	Días a floración femenina (DFF)	31
4.6.1.2.	Días a floración masculina (DFM)	31
4.6.1.3.	Índice de prolificidad (IP)	31
4.6.1.4.	Altura de mazorca (AM)	31
4.6.1.5.	Altura de plántula (APL)	32
4.6.1.6.	Altura de planta (AP)	32
4.6.1.7.	Acame de tallo (AT)	32
4.6.1.8.	Número de plantas (NP)	32
4.6.1.9.	Número de mazorcas (NM)	32
4.6.2.	Caracteres de rendimiento y sus componentes	32
4.6.2.1.	Rendimiento de campo (RC)	32

4.6.2.2.	Número de hojas totales (NHT)	32
4.6.2.3.	Número de hileras por mazorca (NHM)	33
4.6.2.4.	Longitud de mazorca (LM)	33
4.6.2.5.	Número de granos por hilera (GH)	33
4.6.2.6.	Diámetro de la mazorca (DM)	33
4.6.2.7.	Peso volumétrico (kg hl <sup>-1</sup> ) (PE)	33
4.6.2.8.	Peso de mil semillas (P1000S)	33
4.6.2.9.	Vigor inicial (VI)	35
4.6.2.10.	Porcentaje de Clorofila (CLOR)	35
4.6.4.	Porcentaje de germinación estándar (GE)	35
4.6.5.	Envejecimiento acelerado (EA)	35
<b>V</b>	<b>Resultados y discusión</b>	<b>36</b>
<b>VI</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>47</b>
<b>VII</b>	<b>Literatura citada</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
<b>Tabla 3.1</b>	Ventaja de rendimiento esperada de varios tipos de híbridos.	13
<b>Tabla 3.2</b>	Diferentes tipos de maíces híbridos.	16
<b>Tabla 4.1</b>	Material genético de Líneas puras y probadores utilizados en la formación de híbridos triples.	26
<b>Tabla 4.2</b>	Formación de híbridos triples evaluados en el 2016 y 2017 en Arroyo de Apo, municipio de Tacámbaro, Michoacán.	27
<b>Tabla 5.1</b>	Análisis de varianza a través de localidades para floración masculina y femenina (FM, FF), índice de prolificidad (IP), altura de mazorca (AM), altura de plántula (APL), altura de planta (AP) y acame de tallo (AT) en híbridos de maíz.	36
<b>Tabla 5.2</b>	Análisis de varianza a través de localidades para número de plantas (NP), numero de mazorcas (NM), rendimiento de campo (RC), número de hojas (NHT), Apariencia general de la planta (AGP), número de hileras por mazorca (NHM) y longitud de mazorca (LM).	37
<b>Tabla 5.3</b>	Análisis de varianza a través de localidades para granos por hilera, diámetro de mazorca, peso electrolítico, peso de mil semillas, vigor inicial y clorofila en híbridos de maíz.	38
<b>Tabla 5.4</b>	Cuadrados medios para germinación y envejecimiento acelerado en híbridos de maíz.	39
<b>Tabla 5.5</b>	Comparación de medias (Tukey) para floración femenina (FF) y masculina (FM), prolificidad (IP), altura de mazorca (AM), altura de plántula (APL), altura de planta (AP) y acame de tallo (AT) en híbridos de maíz.	41
<b>Tabla 5.6</b>	Comparación de medias (Tukey) para número de plantas (NP), numero de mazorcas (NM), rendimiento de campo (RC), número de hojas (NHT), Apariencia general de la planta (AGP), número de hileras por mazorca (NHM) y longitud de mazorca en híbridos de maíz..	43
<b>Tabla 5.7</b>	Comparación de medias (Tukey) para granos por hilera (GPH), diámetro de mazorca (DM), peso electrolítico (PE), peso de mil semillas (P1000S), vigor inicial (VI) y clorofila (CLOR) en maíz.	45
<b>Tabla 5.8</b>	Comparación de medias (Tukey) para germinación (GE) y Envejecimiento acelerado (AE) en maíz.	47

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación consistió en la determinación del comportamiento agronómico y de calidad de semilla de maíces híbridos tropicales y subtropicales. El estudio se llevó a cabo en tres fases, la primera se realizó en la comunidad de Arroyo de Apo, Municipio de Tacámbaro de Codallos en el Estado de Michoacán, la segunda se realizó en la comunidad de Paso Morelos, municipio de Tacámbaro de Codallos y la tercera etapa se realizó en el Instituto Tecnológico de Roque, municipio de Celaya, Guanajuato. Las semillas de todos los genotipos fueron sometidas a pruebas de calidad física y fisiológica, vigor inicial e índice de clorofila. En la localidad de Paso Morelos se observaron los genotipos más precoces. Con base a los resultados obtenidos se concluye que hubo efecto estadístico significativo de los genotipos para la mayoría de las variables agronómicas registradas a través de análisis combinado por localidad. Tres genotipos presentan un alto potencial de rendimiento en campo. El híbrido más sobresaliente en rendimiento fue el (CML486 X CML451) x (CML247) con 17.86 t ha<sup>-1</sup>. Los materiales superaron el 80% en envejecimiento acelerado y el 98% de germinación. La cruce más importante fue (CML486 X CML451) x (CML444) con 64.49 unidades SPAD.

**Palabras clave:** Maíz, híbridos, comportamiento agronómico y calidad de semilla.

## SUMMARY

The objective of the present investigation was to determine the agronomic and seed quality behavior of tropical and subtropical hybrid maize. The study was carried out in three phases, the first was carried out in the community of Arroyo de Apo, municipality of Tacámbaro de Codallos in the State of Michoacan, the second was held in the community of Paso Morelos, municipality of Tacámbaro de Codallos and the third stage was carried out in the Technological Institute of Roque, municipality of Celaya, Guanajuato. Seeds of all genotypes were submitted to physical and physiological quality tests, initial vigor and chlorophyll index. In the locality of Paso Morelos the oldest genotypes were observed. Based on the results obtained, it was concluded that there was a significant statistical effect of the genotypes for most of the agronomic variables recorded by combined analysis by locality. Three genotypes have a high yield potential in the field. The most outstanding hybrid in yield was (CML486 X CML451) x (CML247) with 17.86 t ha<sup>-1</sup>. The materials exceeded 80% in accelerated aging and 98% of germination. The most important cross was (CML486 X CML451) x (CML444) with 64.49 SPAD units.

**Key words:** Maize, hibrid, agronomic performance and seed quality

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es una especie única: por la gran diversidad genética de la planta, de la mazorca y del grano; por su adaptación a gran rango de ambientes; por su resistencia a enfermedades e insectos; por su tolerancia a distintos estreses ambientales, por sus múltiples usos como alimento humano o animal y por la gran variedad de productos que se obtienen de esta especie. El maíz apareció entre los años 8 000 y 5 000 A.C. Ha evolucionado por selección natural, por la selección dirigida por los agricultores-mejoradores durante miles de años y por los mejoradores profesionales en los últimos 150 años. Existen aún una serie continua de tipos de plantas que van desde sus antecesores salvajes a razas más avanzadas, cultivares mejorados y mantenidos durante generaciones por los agricultores y las variedades mejoradas de polinización abierta con una base genética amplia, obtenidas profesionalmente. Al final de todo este espectro de materiales están los distintos tipos de híbridos: desde híbridos intervarietales hasta cruza simples con un preciso diseño genético y de base genética angosta para satisfacer propósitos y ambientes especiales (FAO, 2016).

El desarrollo del maíz híbrido es indudablemente una de las más refinadas y productivas innovaciones en el ámbito del fitomejoramiento. Esto ha dado lugar a que el maíz haya sido el principal cultivo alimenticio a ser sometido a transformaciones tecnológicas en su cultivo y en su productividad, rápida y ampliamente difundidas; ha sido también un catalizador para la revolución agrícola en otros cultivos. Actualmente la revolución híbrida no está limitada a los cultivos de fecundación cruzada, donde se originó exitosamente, y el desarrollo de los híbridos se está difundiendo rápidamente a las especies autofecundadas: el algodón y el arroz híbridos son casos exitosos y conocidos y el trigo híbrido puede ser una realidad en un futuro cercano (Paliwal y Sprague, 1981).

El organismo norteamericano incrementó el área prevista para la siembra de maíz muy por encima de la esperada por el mercado en sus estimaciones previas. Según el



USDA, se sembrarían en la campaña 2016/17 unos 39 millones de hectáreas, lo que representaría un aumento de 6 por ciento respecto del ciclo previo, pero unos 2.6 millones de hectáreas más calculadas por los consultores y operadores del mercado. Eso provocó que los fondos de inversión y especulación se desprendieran de sus posiciones en maíz y se desplomaran las cotizaciones en 6.1 dólares por tonelada para la posición mayo. De esa manera, en Chicago cerró en 138.38 dólares por tonelada (USDA, 2016).

El mejoramiento genético del maíz es una herramienta que permite la formación de híbridos y variedades para uso comercial. En el mejoramiento de plantas es importante el conocimiento relativo al componente genético de los materiales usados como progenitores; conocer la acción génica que controla los caracteres de interés económico es básico para la planeación de un programa de mejoramiento genético. Mediante la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador logra mayor eficiencia en su programa de mejoramiento, pues le permite seleccionar progenitores con un comportamiento promedio aceptable en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de los progenitores que intervienen en el cruzamiento (Gutiérrez *et al.*, 2004).

Este trabajo es justificado debido a la problemática que actualmente se vive un descontrol total en cuanto a cambios climáticos en el mundo, debido a la contaminación global. Tal incertidumbre ha desencadenado el interés de los tecnólogos en producción de semilla e investigadores, por obtener líneas y materiales híbridos que contengan información genética de resistencia a factores bióticos y abióticos, que puedan subsanar el déficit existente por la inadaptación del maíz. Por tal motivo se obtienen bajos rendimientos y desabastos de esta gramínea de gran importancia en México.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Determinar los componentes agronómicos y de calidad de semilla de maíces híbridos tropicales y subtropicales.

### **2.2. Objetivos específicos**

- 1) Formar híbridos triples en Morelia, Michoacán
- 2) Evaluar el comportamiento agronómico de los híbridos triples en dos localidades contrastantes.
- 2) Determinar el rendimiento de campo y sus componentes en híbridos triples
- 3) Analizar la calidad física y fisiológica de semilla.

### **2.3. Hipótesis**

Al menos el 10 por ciento de los híbridos triples evaluados superan a los testigos empleados en el experimento en rendimiento.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Antecedentes de maíces híbridos

El maíz tropical ha sido utilizado para generar rendimientos por la heterosis, mediante la investigación se han desarrollado híbridos superiores. El uso del maíz híbrido en los trópicos está recibiendo ahora más atención. En algunas zonas subtropicales, con condiciones favorables para una alta productividad, los maíces híbridos han sido bien aceptados. En grandes áreas se obtienen rendimientos medios de 5 a 6 t ha<sup>-1</sup>, sin embargo, no sucede en la mayoría de los ambientes tropicales en que se cultiva maíz. Hay ejemplos de áreas y países donde el maíz híbrido cubre 80 a 90 % de la misma, pero aun así, el rendimiento medio oscila entre 2 a 2.5 t ha<sup>-1</sup>. Se han ofrecido varias explicaciones a este hecho, entre las cuales las condiciones socioeconómicas ocupan un lugar preponderante; sin embargo, se debe analizar primeramente la adecuación de los maíces híbridos. Estos serán tan buenos como los progenitores que participan en su combinación y a su vez serán la única fuente de germoplasma de la cual derivan (Paliwal, 1986).

##### 3.1.1. Historia del desarrollo del maíz híbrido

La hibridación varietal por medio de la polinización controlada o de la polinización abierta fue el origen para el desarrollo de muchas variedades de maíz; aún hoy día, las nuevas variedades evolucionan en los campos de los agricultores generadas por cruces derivadas de la polinización abierta. El uso intencional de la hibridación para el desarrollo de híbridos fue iniciado por Beal (1880) quien sembró dos variedades en surcos adyacentes, una de las cuales fue elegida como progenitor femenino y por lo tanto, fue desespigada, mientras que la otra variedad sirvió como polinizadora masculina; este híbrido entre variedades rindió más que las variedades parentales de polinización abierta. Sin embargo, los híbridos entre variedades no encontraron gran aceptación entre los agricultores estadounidenses, posiblemente porque las ganancias

en rendimiento eran modestas (Lonnquist y Gardner, 1961; Moll *et al.*, 1962) o probablemente porque el concepto de híbrido era demasiado avanzado para esa época (Poehlman, 1987).

La investigación innovadora llevada a cabo por Shull (1908, 1909) sobre el método de mejoramiento de maíz basado en las líneas puras dio las bases para una exitosa investigación y desarrollo de los híbridos. Esto ahora está avalado por cerca de 90 años de investigación de los fitomejoradores de maíz en los Estados Unidos de América y en otros países. El esquema de híbridos de cruzas simples fue sugerido inicialmente por Shull (1908, 1909) e East (1908), quienes desarrollaron los cruzamientos de dos líneas endocriadas por el método de la línea pura, pero que no fue comercialmente exitoso a causa de las dificultades encontradas y el alto costo de la producción de las cruzas simples.

El maíz híbrido fue una realidad comercial después que Jones (1918) sugirió que dos cruzas simples podían ser cruzadas entre sí para producir híbridos dobles. Hallauer y Miranda (1988) describieron una serie de mitos en el desarrollo e investigación del maíz híbrido desde las cruzas simples de Shull e East hasta el concepto moderno de usar dos líneas endocriadas para hacer una craza simple. A continuación del éxito de Jones (1918) con los híbridos dobles, las principales etapas fueron: pruebas de *top-cross* para habilidad combinatoria (Davis, 1927); predicciones sobre los híbridos dobles (Jenkins, 1934); pruebas tempranas de líneas puras (Jenkins, 1935; Sprague, 1946); concepto de variabilidad genética e híbridos (Cockerham, 1961); cruzas de tres vías y, finalmente, híbridos simples desarrollando líneas puras superiores de alto rendimiento. Varios artículos extensos en libros y revistas proporcionan una cuidadosa revisión de la investigación que ha sido llevada a cabo para desarrollar la tecnología del maíz híbrido (East, 1936; Sprague, 1955; Sprague y Eberhart, 1977; Jenkins, 1978; Jugenheimer, 1985; Poehlman, 1987; Hallauer y Miranda, 1988; Hallauer *et al.*, 1988).

### 3.1.2. Importancia del maíz híbrido en México

En México la obtención y utilización de híbridos de maíz es relativamente reciente y se localiza en áreas específicas. A partir de los 30's se comenzaron a mejorar los maíces con base en información de la diversidad de los genotipos (Inghelandt *et al.*, 2010). No cabe duda que uno de los factores que han influido de manera importante en los rendimientos del maíz en el mundo, ha sido la utilización del vigor híbrido o heterosis que representa el nivel de heterocigocidad a lo largo de todos los loci, por lo que al cruzar líneas o poblaciones no relacionadas genéticamente, se incrementa el nivel de heterosis; el fenómeno contrario, conduce a una pérdida de vigor o depresión endogámica (Hallauer y Miranda, 1988). No obstante, hay evidencia que indica que si se hubiesen dedicado los mismos esfuerzos para la mejora de variedades de polinización libre, las variedades criollas tendrían actualmente rendimientos equivalentes a los de los híbridos (Levins y Lewontin, 1985; Barsky, 1991). Un híbrido de cruce múltiple de maíz es la primera generación de una cruce que involucra más de cuatro líneas. La formación y evaluación de cruces múltiples no es ninguna novedad, Sprague y Jenkins (1943) comenzaron con la formación de este tipo de híbridos y confirmaron que los híbridos de cruces múltiples pudiesen ser tan productivos como los provenientes de cruces dobles, además de otras ventajas, como: producir más que las variedades sintéticas e igual que las cruces dobles, los costos de producción de semilla son mucho más bajos ya que en las cruces dobles hay que incrementar los cuatro progenitores por separado, y finalmente, su mayor diversidad genética le permite tener menos riesgos al establecerse en condiciones no óptimas de producción que las cruces dobles. La vulnerabilidad genética es causada por la uniformidad del genoma y se define como la susceptibilidad potencial de un cultivo a futuros ataques por estrés biológico o ambiental, debido a que un gran número de biotipos uniformes desde el punto de vista genético, están establecidos en una gran área geográfica. En México, la formación de materiales diversos de cultivos agrícolas, está a cargo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), pero la producción de semilla puede ser realizada por cualquier

institución pública o privada, lo que ocasiona la apertura para que cualquier empresa establezca su propio programa de producción de semilla.

### **3.1.3. Desarrollo del maíz híbrido en México**

El desarrollo del maíz híbrido es indudablemente una de las más refinadas y productivas innovaciones en el ámbito del fitomejoramiento. Esto ha dado lugar a que el maíz haya sido el principal cultivo alimenticio a ser sometido a transformaciones tecnológicas en su cultivo y en su productividad, rápida y ampliamente difundidas; ha sido también un catalizador para la revolución agrícola en otros cultivos. Actualmente la revolución híbrida no está limitada a los cultivos de fecundación cruzada, donde se originó exitosamente, y el desarrollo de los híbridos se está difundiendo rápidamente a las especies autofecundadas: el algodón y el arroz híbridos son casos exitosos y conocidos y el trigo híbrido puede ser una realidad en un futuro cercano (FAO, 2016).

### **3.1.4. Resultados sobre el desarrollo de híbridos**

Desde 1930, el único cambio de importancia en el desarrollo de la tecnología de híbridos en los Estados Unidos de América ha sido la producción y uso de cruza simples en lugar de las cruza dobles (Duvick, 1996). Paterniani (1990) hizo una apreciación similar sobre el tema. Las etapas importantes en la investigación y desarrollo de híbridos son: (1) endocria de los cultivares de polinización abierta o de poblaciones F2 para desarrollar líneas puras; (2) evaluación de las líneas por su habilidad combinatoria; (3) combinación de las mejores líneas para la producción de distintos tipos de híbridos; y (4) prueba e identificación de híbridos superiores para su uso por los agricultores. Una variación de estos procedimientos estándar aplicada en los trópicos es el desarrollo de progenitores no endocriados para la producción de híbridos mixtos (*no endocriados x endocriados*). Otras variaciones a un programa estándar de desarrollo de híbridos podrían ser: diversidad y cantidad de la fuente de materiales; número de generaciones de autofecundación de la línea endocriada; criterios de selección; etapa en la cual son probadas las líneas, o sea pruebas

tempranas o tardías; tipo de probadores usados; método de mantenimiento de las líneas puras; predicción del comportamiento de los cruzamientos, y finalmente, la prueba de los híbridos. Algunos de estos puntos se discutirán en los párrafos siguientes.

### **3.1.5. Línea por probador**

En un programa de mejoramiento de maíz los cruzamientos tiene dos objetivos: (i) evaluación del valor de cruzamiento de los genotipos para el mejoramiento de la población, y (ii) evaluación de la aptitud combinatoria de las líneas puras para el desarrollo de híbridos.

Los probadores pueden ser usados para varios propósitos y es necesario producir y usar los probadores adecuados dependiendo de los objetivos que se desea alcanzar. Los probadores son utilizados para establecer modelos heteróticos, mejoramiento entre poblaciones, formación y mejoramiento de nuevos grupos heteróticos, evaluación de la aptitud combinatoria de las líneas e identificación de las combinaciones específicas de híbridos. Una línea endocriada probadora será útil para evaluar la aptitud combinatoria y para la identificación de combinaciones de cruzas simples específicas. Un probador híbrido simple podrá ser útil para las combinaciones de tres vías y las cruzas dobles y un probador no endocriado podrá ser necesario para identificar combinaciones híbridas mezcladas líneas endocriadas x líneas no endocriadas. En un primer momento se pensó que un cultivar heterógeno como una variedad de base genética amplia de polinización abierta podía ser un buen probador para medir la aptitud combinatoria general, mientras que un probador con una base genética estrecha tal como una línea endocriada o un híbrido simple podrían servir para medir la aptitud combinatoria específica. Sin embargo, los últimos estudios sugieren que una línea probadora endocriada ofrece relativamente más información sobre la aptitud combinatoria general que sobre la aptitud combinatoria específica (Hallauer *et al.*, 1988).

### 3.1.6. Desarrollo de líneas endocriadas

La selección del pedigrí es el método de mejoramiento más usado para el desarrollo de líneas endocriadas (Bauman, 1981; Hallauer *et al.*, 1988; Hallauer, 1990); consiste esencialmente de la autofecundación de plantas individuales seleccionadas durante varias generaciones. Algunas veces la cruce entre hermanas de la misma familia evita la rápida pérdida de vigor y aumenta la variabilidad; estas cruces permiten la recombinación y segregación de *loci* que tienen más de un alelo en la progenie lo que da a los fitomejoradores más oportunidades para seleccionar caracteres favorables (Stringfield, 1974). El número de generaciones de autofecundación o de cruce con las líneas hermanas requeridas para el desarrollo de líneas endocriadas es variable, pero por lo general está entre cuatro y diez generaciones. La metodología y el éxito del desarrollo de líneas puras dependen de la habilidad del fitomejorador, del origen de las poblaciones, de los recursos disponibles y de la prueba y evaluación de las líneas (Hallauer *et al.*, 1988). Bauman (1981) señaló que el desarrollo de líneas endocriadas superiores que pueden llevar a combinaciones híbridas productivas implica interacciones genéticas y ambientales muy complejas y también requiere insumos de recursos muy valiosos por un largo período; sugirió también algunas normas que los fitomejoradores deberían considerar en la planificación y ejecución de sus trabajos. Los fitomejoradores de maíz deberían considerar; (1) establecer objetivos realistas; (2) iniciar sus trabajos con el germoplasma adecuado; (3) usar un número adecuado y manejable de accesiones; (4) hacer buenas selecciones y descartar el resto; (5) obtener un buen resultado de las pruebas de rendimiento y usarlos efectivamente.

También han sido usados otros métodos para el desarrollo y mejoramiento de líneas endocriadas. La retrocruza es usada para el desarrollo de líneas como una modificación o en combinación con el método de pedigrí. Las versiones modificadas de varias clases de líneas puras han sido desarrolladas por medio de retrocruzas y seleccionando el material endocriado original que lleva un gen, carácter o reorganización cromosómica específicos (Lee, 1994). En los Estados Unidos de América, el 17% del total de los esfuerzos para el desarrollo de líneas puras estaba



dirigido a las retrocruzas. Hallauer *et al.*, (1988) discutieron varias circunstancias y características para las cuales las retrocruzas pueden ser útiles en el desarrollo de líneas puras. Stuber ha dado indicaciones para identificar los *loci* de caracteres cuantitativos (QTL) por medio del análisis de marcadores moleculares que guían la transferencia de elementos genéticos clave a la línea que los recibe por medio de la retrocruza. Tanksley y Nelson (1996) describieron un sistema de marcadores moleculares apoyado por el análisis QTL para el fortalecimiento de las líneas puras por medio de la transferencia simultánea de alelos QTL deseables y superiores de germoplasma donante no adaptado en líneas endocriadas ya establecidas. En los Estados Unidos de América, el 51% de los esfuerzos para el desarrollo de líneas endocriadas está enfocado en el reciclaje de líneas o en el desarrollo de un segundo ciclo de líneas, lo que muy probable-mente continuará siendo el método más importante para el desarrollo de líneas puras en la década de 1990 (Bauman, 1981; Hallauer, 1990).

La selección de gametos para el desarrollo de líneas superiores por medio de la toma de muestras de gametos seleccionados de líneas superiores fue sugerida por Stadler (1944). En este esquema una línea seleccionada es cruzada con una muestra al azar de polen de la población de la cual se buscan gametos superiores; las plantas F1 y las líneas seleccionadas se cruzan en pruebas con un probador común y al mismo tiempo son autofecundadas. Las cruzas de prueba son evaluadas en ensayos replicados y las plantas F1 cuyas pruebas de cruce son mejores que la *línea superior x el probador* se presume que han recibido un gameto superior de esa fuente. Hallauer (1970) sugirió que las plantas individuales de esa fuente de población podían ser usadas con las líneas superiores y al mismo tiempo ser autofecundadas. La selección de los gametos no está muy difundida sin embargo en los métodos de pedigrí y retrocruza, aunque sus características interesan a algunos fitomejoradores y tiene varias aplicaciones (Hallauer *et al.*, 1988).

Chasey (1952) propuso el desarrollo instantáneo de líneas completamente homocigotas por medio del método de duplicación de haploides; estas técnicas han

sido discutidas en el capítulo *Citogenética del maíz tropical*. Los fitomejoradores de maíz en China, India, Europa Oriental y los Estados Unidos de América están trabajando en el método de duplicación de haploides y han producido líneas endocriadas usando esta nueva técnica. La frecuencia de los haploides es aún baja, lo cual limita el número de líneas diploides homocigotas a ser probadas en las combinaciones híbridas. En la actualidad no existen informes que indiquen que tales líneas puras completamente homocigotas han sido usadas con éxito en la producción de combinaciones híbridas superiores.

En la Tabla 3.2, se muestran varios tipos de híbridos y sus potenciales de rendimiento. Vasal *et al.*, (1995) y Córdova *et al.*, (1996) enfatizaron la ventaja de dos líneas parentales híbridas sobre tres o cuatro parentales híbridos. Es más fácil manejar dos parentales híbridos tanto en el mantenimiento de los progenitores como en la producción de semillas. Las combinaciones híbridas de las líneas endocriadas especialmente las cruza simples tienen la ventaja de la uniformidad y de alcanzar la madurez al mismo tiempo; sin embargo, estos dos hechos son menos importantes en los ambientes tropicales donde el tamaño de los predios es pequeño y donde la cosecha se hace prevalentemente a mano. Las líneas no endocriadas los híbridos mezclados tienen un mayor espacio en los ambientes tropicales y deben ser críticamente analizados y explotados. Entre los híbridos no formados a partir de líneas endocriadas, los híbridos entre poblaciones y entre variedades ofrecen menores ventajas respecto a la heterosis y al incremento de los rendimientos. Sin embargo, en esos híbridos es más fácil producir los progenitores; dos parentales pueden ser mantenidos sin dificultad y el precio de la semilla será bajo. La depresión en los rendimientos causada por el uso de la semilla F2 será menor que en otros tipos de híbridos. Las poblaciones y las cruza varietales desarrolladas por medio de un esquema de mejoramiento entre poblaciones pueden tener la ventaja de los altos rendimientos. Eberthart *et al.* (1995) demostraron que un mejor rendimiento puede ser obtenido a partir de una cruza de poblaciones siguiendo un esquema de selección recurrente recíproca. Los híbridos entre sintéticos pueden ser más uniformes y tener

más altos rendimientos que los híbridos entre poblaciones y entre variedades. Los híbridos entre familias tienen el mayor potencial entre las combinaciones híbridas no endocriadas. Las familias de hermanos o medios hermanos mostraron una alta habilidad combinatoria en un programa de mejoramiento entre o dentro de poblaciones podría producir híbridos altamente productivos. Córdova (1994) informó sobre el desarrollo y uso de híbridos de familias hermanas en Guatemala con un alto grado de heterosis parental de hasta 54 % entre las familias. Algunos de esos híbridos de familias hermanas que fueron entregados al cultivo comercial, tuvieron mayores rendimientos y estabilidad que muchos de los híbridos dobles comerciales y el mantenimiento de los progenitores y la producción de semillas fueron mucho más simples. Esto promovió una industria local de producción de semillas y redujo la necesidad de importar semillas de los híbridos dobles comerciales (Azofeira y Jiménez, 1988; Córdova, 1990). Vasal *et al.*, (1995) informaron que los híbridos entre familias eran iguales o mejores en rendimiento que otras combinaciones de híbridos no endocriados o híbridos *endocriados x no endocriados*. Estas familias de híbridos también eran comparables con híbridos endocriados por cruzamientos de tres vías y dobles cruza pero tenían menor rendimiento que los buenos híbridos simples.

Tabla 3.2. Ventaja de rendimiento esperada de varios tipos de híbridos.

Tipo de híbrido	Ventaja de rendimiento potencial sobre variedades de polinización abierta (%)	Rendimiento medido en siete ambientes (ton/ha)
<b>No endocriado</b>		
Cruzas entre variedades	17	6,6
Cruzas entre familias	25	7,2
<b>Mezclado</b>		
<i>Topcrosses</i>	28	7,9
<i>Topcrosses</i> dobles	37	7,6
<b>Endocriado</b>		
Cruza doble	23	7,1
Cruza de tres vías	30	7,6
Cruza simple	46	7,2

Fuente: Pandey y Gardner, 1992; Vasal *et al.*, 1995

Los híbridos *top-cross* línea endocriada por variedad y los híbridos *simples x variedad* también mostraron un buen potencial para aumentar la productividad del maíz en los trópicos. Un progenitor de tales híbridos puede ser una variedad adaptada localmente que puede proporcionar justamente los elementos para la adaptación al

ambiente junto con los altos rendimientos aportados por la combinación híbrida. Singh (1986) informó que en la India los híbridos *simple x variedad* también llamados *top-crosses dobles* eran uno de los tipos de híbridos de más altos rendimientos y que mostraban mayor estabilidad. Heisey y Smale (1995) mencionaron que en Malawi dos híbridos *simple x variedad* fueron los híbridos dominantes y desplazaron a los híbridos dobles. En los ambientes favorables, estos híbridos *simples x variedad* tuvieron un mejor comportamiento que las variedades de polinización abierta y también menos requerimientos de insumos y ambientales.

Sprague y Federer (1951) enfatizaron la relativamente alta estabilidad de las variedades de polinización abierta, con una población de alta capacidad de amortiguación, cuando se los comparaba con híbridos de progenitores endocriados de base estrecha. Eberthart y Russell (1966) y Eberthart (1969) informaron que los híbridos dobles formados por cuatro progenitores mostraron una menor interacción *genotipo x ambiente* que las cruzas simples formadas por dos progenitores; en este caso se ganó en estabilidad a expensas del rendimiento. Brewbaker (1984) subrayó que los híbridos de base genética estrecha están asociados a menudo con una mejor explotación de los ambientes de alto rendimiento y, aparentemente, una estabilidad de rendimiento más reducida con altos valores de *b*. Los híbridos de líneas endocriadas cruza dobles, de tres vías y cruza simples tuvieron claras ventajas para obtener un aumento de la productividad del maíz en ambientes favorables y fértiles.

### **3.2. Concepto de maíz híbrido**

Un híbrido exitoso es la primera generación ( $F_1$ ) de un cruzamiento entre dos genotipos claramente diferentes. Normalmente se producen numerosos tipos de híbrido en todos los programas de mejoramiento para combinar diferentes caracteres de los distintos

genotipos. En el caso del mejoramiento del maíz, el término híbrido implica un requerimiento específico y diferente, indica que el híbrido F1 es usado para la producción comercial. El híbrido debe mostrar un razonable alto grado de heterosis para que el cultivo y su producción sean económicamente viables.

Se han desarrollado varias clases de maíces híbridos que han sido usados en diferentes medidas para la producción comercial; se pueden clasificar en tres tipos: híbridos entre progenitores no endocriados; híbridos entre progenitores endocriados e híbridos mixtos formados entre progenitores endocriados y no endocriados. Como que los híbridos de progenitores endocriados son los más comunes, se los conoce como híbridos convencionales; los híbridos de progenitores no endocriados o mixtos no son tan populares y, en general, se les llama híbridos no convencionales (Paliwal, 1986; Vasal, 1986). Los distintos tipos de maíz híbrido que se utilizan en la producción comercial se resumen en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Diferentes tipos de maíces híbridos.

Tipo de híbrido	Variaciones	Composición
-----------------	-------------	-------------

Progenitores no endocriados	Cruza de poblaciones	Población A x población B
	Cruza de variedades	Variedad 1 x variedad 2
	Cruza sintética	Sintético 1 x sintético 2
	Cruza entre familias:	
	(a) familias medio hermanas	HS <sub>1</sub> x HS <sub>2</sub>
	(b) familias hermanas	FS <sub>1</sub> x FS <sub>2</sub>
Progenitores mezclados o endocriados x no endocriados	<i>Top-cross</i>	Variedad x línea endocriada
Progenitores endocriados	Doble <i>top-cross</i>	Cruza simple x variedad
	Cruza doble	(A x B) x (C x D)
	Cruza de tres vías	(A x B) x C
	Cruza simple	(A x B)

*Fuente:* Pandey y Gardner, 1992; Vasal *et al.*, 1995.

### 3.2.1. Maíz híbrido triple

La cruce de tres elementos (A X B) X C, es lo que resulta de cruzar un híbrido simple o su F1 de una cruce simple con una tercera línea. Se utiliza en siembras comerciales para la producción de grano. Tienden a ser uniformes y con un rendimiento ligeramente superior al de las cruces dobles (Chávez, 1993).

### 3.2.2. Mejoramiento genético

Según Ortiz (1993) y Chávez (1995), el fitomejoramiento es el arte y la ciencia de mejorar características genéticas de las plantas, en relación a su uso económico, y como toda actividad humana, busca el beneficio del hombre; el objetivo fundamental es la obtención de variedades genéticamente mejoradas.

En el mejoramiento genético del maíz, en opinión de Hallauer *et al.* (2010) los fitomejoradores se ven en la necesidad de tomar dos decisiones: 1) escoger el germoplasma básico del programa de mejoramiento genético y 2) escoger el método de mejoramiento genético; Ortiz (1993) considera una tercera decisión fundamental, la cual está constituida por los criterios de selección.

Jugenheimer (1988) menciona que en el mejoramiento genético el fitomejorador distingue las diferencias importantes del material vegetal disponible y selecciona e incrementa los tipos más deseables, los mismos que deberán transmitir a sus progenies esas características. Uno de los aspectos fundamentales en el mejoramiento, es el de introducir diversidad genética por cruzamientos de materiales con características sobresalientes, para luego seleccionar las plantas superiores para alcanzar altos niveles de adaptación, uniformidad genética y estabilidad agronómica (Borlaug, 1983).

Por otro lado, Celis (1983) menciona que el fitomejoramiento se finca con la variabilidad genética que tienen los materiales criollos colectados, los cuales son el punto de partida de los programas de mejoramiento genético; posteriormente, al agotar la variabilidad genética con la metodología poblacional utilizada se continua con otra etapa, donde se debe aprovechar la uniformidad generada mediante la formación de sintéticos e híbridos. Finalmente, el mismo autor concluye que el objetivo del mejoramiento poblacional es liberar variedades mejoradas de polinización libre, con amplia adaptabilidad, tolerantes al acame, enfermedades, ciclo precoz y acorde con las demandas del consumidor.



También Márquez (2000) menciona que el mejoramiento genético dentro de una población consiste en identificar a los individuos que presenten las mejores características, logrando una evolución acelerada de dicha población bajo selección. Para esto, es necesario que exista variación no solo fenotípica sino también genética. El fitomejoramiento tiene un fin primordial que es la creación de variedades de alta producción por unidad de superficie, en una región determinada y con determinados procedimientos culturales. Además, el mejoramiento procura la obtención de materiales resistentes, precoces, de fácil adaptación y que además reúnan cualidades de calidad como alta cantidad de proteínas, aceite, almidón, entre otros (Robles, 1986).

### **3.3. Producción Nacional de maíz**

En México en el ciclo primavera-verano 2014 se obtuvo una producción de maíz grano semilla de 25,118.33 ton, en una superficie sembrada de 2,941.13 ha y una superficie cosechada de 2,941.13 ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento de 8.54 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014).

Los híbridos solo se utilizan alrededor de 20 % de la superficie dedicada a la producción de maíz y en el resto, los agricultores utilizan semillas conservadas de manera artesanal, con variedades nativas de polinización libre o generaciones avanzadas de híbridos (Teba *et al.*, 2006).

#### **3.3.1. Producción de maíz en Guanajuato**

En México en el ciclo primavera-verano 2014 se obtuvo una producción de maíz grano de 1,418,512.46 t, en una superficie sembrada de 376,050.66 ha y una superficie cosechada de 371,300.55 ha, con un rendimiento de 3.82 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014).

### **3.4. Parámetros genéticos**

Al respecto, Sprague y Tatum (1942) propusieron el método que incluye a las cruzas dialélicas, las cuales permiten caracterizar un grupo de líneas ofreciendo información sobre la aptitud combinatoria de estas, facilitando la selección de los mejores progenitores. De esta forma se originan los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE). El concepto de aptitud combinatoria general se asocia principalmente a los genes con efecto aditivo, mientras que el de aptitud combinatoria específica depende básicamente de los genes de efecto no aditivo (dominancia).

En todo programa de mejoramiento genético, la elección de germoplasma progenitor es una de las decisiones más importantes que se deben tomar. Al respecto, Gutiérrez *et al.* (2004) y Castañón-Nájera *et al.* (2005) mencionan que conocer la aptitud combinatoria de los progenitores, mejora la eficiencia de un programa de mejoramiento. Esto permite seleccionar progenitores con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos, e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado.

### **3.5. Calidad Física de la semilla**

La calidad de semilla puede ser vista como un patrón de excelencia que van a determinar el desempeño de la semilla en la siembra o en el almacén; y que es utilizada para reflejar el valor de la semilla para propósitos específicos, como es la distribución y comercialización (Hampton, 2001).

De manera general se tiene que:

$$\textit{Calidad} = G + F + S + CF$$

Dónde:

*G = Componente genetico*

*Fz = Componente fisiologico*

*S = Componente sanitario*

*CF = Caracteristicas fisicas*

La calidad física involucra características tales como: contenido de humedad, peso por volumen y pureza (Moreno, 1996). De manera adicional, hoy resultan valiosas para las empresas productoras de semilla y para el usuario, tamaño y forma de la semilla, peso de mil semillas, color y daño por insectos y hongos (ISTA, 2005). Cabe destacar que la calidad fisiológica se refiere a mecanismos intrínsecos de la semilla que determinan su capacidad de germinación, la emergencia y el desarrollo de aquellas estructuras esenciales para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Basra, 1995).

De acuerdo a la Ley sobre producción, y comercio de semillas en el artículo cuatro se entiende por calidad física a la medida de la pureza física de la semilla, se expresa

como el porcentaje del peso que corresponde a la semilla de la especie, con respecto al peso total de la muestra de un determinado lote (SAGARPA, 2007).

La calidad física se asocia con la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla (materia inerte, maleza, semilla podrida, manchada, insectos). La calidad física, es uno de los mecanismos claves para evitar la diseminación de maleza e insectos (Giraldo *et al.*, 2000).

Los principales parámetros para evaluar la calidad son:

**Pureza física.** Se refiere a la ausencia de contaminantes tales como semilla de otros cultivos, así como la integridad del grano (ausencia de daño mecánico). El objetivo del análisis de pureza es determinar la composición porcentual por peso de la muestra que se analiza y, por deducción, la composición de los lotes de semilla y la identidad de las distintas especies de semilla y partículas inertes que constituyen la muestra (ISTA, 2005).

**Peso de mil semillas (P1000S).** Este es un parámetro importante para calcular tasas de siembra. El peso va a depender del tamaño de la semilla, su contenido de humedad y la cantidad de semilla pura (Cuevas, 1996). El objetivo de esta prueba es determinar el peso de 1000 semillas de la muestra presentada. De la semilla prueba se toman 8 repeticiones al azar de 100 semillas cada una; el conteo de las semillas se hará con un contador mecánico o manualmente. Cada repetición se pesará en gramos con el mismo número de cifras decimales que un análisis de pureza. Después se calcula la varianza, desviación estándar típica y el coeficiente de variación, si este último no excede a 6.0 para semillas brozadas de pastos, o de 4.0 para otras semillas, el resultado de la prueba es aceptable (ISTA, 2005).

**Peso hectolitrito (PE).** La densidad o peso volumétrico es la relación entre el peso y el volumen total de la masa del producto, incluyendo los espacios que dejan los granos

entre sí (Ospina, 2002). Es un valor muy útil porque resume en un solo valor que tan sano es el grano. Esto es importante porque cuando sea sanitario (menor cantidad de impurezas, granos dañados o quebrados o con presencia de cualquier enfermedad) mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la separación del endospermo del resto del grano y por lo tanto, mayor extracción de harina. Es el parámetro que mejor conoce el productor agropecuario.

### **3.6. Calidad fisiológica de la semilla**

La calidad fisiológica de la semilla se refiere a la capacidad para germinar, el vigor y algunos aspectos genéticos como la heterosis de múltiples factores, pudiendo verse afectada en cualquier fase del proceso de producción. Retrasos en la cosecha si las condiciones ambientales no son favorables situación que es común en condiciones tropicales, deficiencias en el desarrollo de los cultivos, retrasos en el secado de la semilla, daños mecánicos durante la recolección y trilla o en el procesamiento, el almacenamiento bajo condiciones desfavorables son factores que afectan la calidad fisiológica (Bewley *et al.*, 2006).

Es la capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. En el momento que la semilla madura llega a la máxima vitalidad; a partir de este momento comienza a envejecer o perder vigor, porque la misma sigue respirando y gastando energía para mantener sus funciones vitales. Por ello el ambiente en que se almacene debe ser seco y fresco. El nivel extremo de envejecimiento es la muerte o pérdida de la capacidad para dar una planta normal y vigorosa. Cuando se decide sembrar, debe preocupar al productor el porcentaje de germinación, para ello los laboratorios de análisis de semillas con pruebas específicas de germinación y vigor, pueden dar una adecuada respuesta (Terenti, 2004).

Las características para evaluar la calidad fisiológica de la semilla están referida a su alta capacidad de germinación y vigor para establecerse en campo y producir nuevos individuos. Los principales parámetros para evaluar la calidad fisiológica son:

**Prueba de Germinación estándar (GE).** Es la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Moreno, 1996). El fenómeno de germinación consiste de eventos bioquímicos, fisiológicos, anatómicos y morfológicos, que empieza con la absorción de agua y conducen a la ruptura de la cubierta seminal hasta la emergencia de la radícula (Devlin, 1982).

**Envejecimiento acelerado.** La prueba de envejecimiento acelerado evalúa la calidad fisiológica de la semilla ante una condición de estrés (alta temperatura y alta humedad relativa), uno de los daños más aparentes ocasionados por el envejecimiento acelerado y que ocasiona la pérdida de viabilidad es el deterioro de las membranas celulares lo cual provoca serias alteraciones en el metabolismo de las semillas desencadenando la alteración de las estructuras, el grado de hidratación de la semilla después del envejecimiento natural o acelerado es muy diferente, así como el reinicio de la síntesis proteica, debido a que este último proceso metabólico involucra diversos componentes dentro de la célula entre ellos ribosomas, factores de iniciación y de elongación, la reducción de la actividad metabólica. Sin embargo se puede generalizar diciendo que cualquier combinación de tiempo, temperatura y contenido de humedad lleva a la pérdida de viabilidad de las semillas almacenadas y que ocasiona daños genéticos en las supervivientes (Bewley y Black, 1994).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Ubicación del experimento**

El desarrollo del presente trabajo se realizó en tres etapas, las cuales consistieron en su primera etapa en la comunidad de Arroyo de Apo, municipio de Tacámbaro de Codallos en el Estado de Michoacán, la segunda etapa se realizó en la comunidad de Paso de Morelos, municipio de Tacámbaro de Codallos. La tercera etapa se realizó en el Instituto Tecnológico de Roque, municipio de Celaya, Guanajuato. Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos planteados.

#### **4.1.1. Ubicación de la primera etapa del experimento**

El predio de la comunidad de Arroyo de Apo, del Estado de Michoacán se encuentra localizado en el municipio de Tacámbaro de Codallos al sur de la capital del Estado, a una altitud de 654 msnm. Las coordenadas son Longitud  $-101^{\circ}15''$  y Latitud  $19^{\circ}05''$ . Con clima subcalido. Ciclo Primavera-verano 2014.

#### **4.1.2. Ubicación de la segunda etapa del experimento**

La comunidad de Paso Morelos (La Parotita), del Estado de Michoacán se encuentra localizada en el municipio de Tacámbaro de Codallos, al sur de la capital del Estado, a una mediana altitud de 1380 msnm. Las coordenadas son Longitud  $-101^{\circ}33''$  y Latitud  $19^{\circ}19''$ . Con clima subcalido. En el inicio del camino (Km. 0+000) se encuentra la población de Tacámbaro y al final del camino (Km. 30 + 240) se encuentra la población de Paso Morelos. Ciclo Otoño-invierno 2015.

### **4.1.3. Ubicación de la tercera etapa del experimento**

El laboratorio de semillas de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque, se encuentra localizado en el kilómetro 8, carretera Celaya-Juventino Rosas, las coordenadas son 20° 34'54.24" de latitud Norte y 100° 49'35.34" de latitud Oeste, con una altitud de 1,769 msnm (INEGI, 2012). Ciclo Otoño-invierno 2016.

## **4.2. Material biológico**

El CIMMYT proporciono doce líneas y cuatro probadores de alta heterosis de los cruzamientos realizados en el ciclo otoño-invierno 2014-2015 (Tabla 4.1). En el municipio de Tacámbaro de Codallos, comunidad de Paso de Morelos se formaron 32 híbridos triples y 4 testigos, mismos que se evaluaron en Celaya, Gto. (Tabla 4.2). Esta región del municipio de Tacámbaro de Codallos, se caracteriza por tener un clima semi-cálido, sub húmedo, con una temperatura media anual de 19 a 26 grados centígrados y una precipitación de 600 a 800 mm al año (García, 1988). La textura del suelo según la clasificación de FAO-UNESCO es vertisol pelico, de textura franco-arcillosa, plano, pH neutro ligeramente o ácido y delata fertilizad.



Tabla 4.1. Material genético de Líneas puras y probadores utilizados en la formación de híbridos triples.

Líneas puras	Probadores
CLG2312	CML264/CML311
CML495	CLG420801/1491
CML144	CML500/CML498
CML197	CML486/CML451
CML202	(CML500/ CML498) (CLG4208801)
CML247	(CML495/ CML2312)(CLG4208801)
CML311	(SAN BARTOLO)
CML444	(H374-C)
CML448	(CANELO)
CML505	(BD-33)
CML509	
CML511	

Tabla 4.2. Formación de híbridos triples evaluados en el 2016 y 2017 en Arroyo de Apo, Municipio de Tacámbaro, Michoacán.

Genotipo	Híbrido triple	Genotipo	Híbrido triple
1	(CML264 X CML311) (CLG2312)	19	(CML500 X CML498)(CML247)
2	(CML500 X CML498) (CLG2312)	20	(CML486 X CML451)(CML247)
3	(CML486 X CML451) (CLG2312)	21	(CML264 X CML311)(CML444)
4	(CML264 X CML311) (CML495)	22	(CML500 X CML498)(CML444)
5	(CLG420801 X CML1491) (CML495)	23	(CML486 X CML451)(CML444)
6	(CML500 X CML498) (CML495)	24	(CML264 X CML311)(CML448)
7	(CML486 X CML451) (CML495)	25	(CML500 X CML498)(CML448)
8	(CML264 X CML311) (CML144)	26	(CML486 X CML451)(CML448)
9	(CML500 X CML498) (CML144)	27	(CML264 X CML311) (CML509)
10	(CML486 X CML451) (CML144)	28	(CML500 X CML498)(CML509)
11	(CML264 X CML311) (CML197)	29	(CML264 X CML311)(CML511)
12	(CML500 X CML498) (CML197)	30	(CML500 X CML498)(CML511)
13	(CML486 X CML451) (CML197)	31	(CML500 X CML498) (CLG4208801)
14	(CML264 X CML311)(CML202)	32	(CML495 X CML2312)(CLG4208801)
15	(CLG420801 X CML1491)(CML202)	33	(SAN BARTOLO)
16	(CML500 X CML498)(CML202)	34	(H374-C)
17	(CML486 X CML451)(CML202)	35	(CANELO)
18	(CML264 X CML311)(CML247)	36	(BD-33)

### **4.3. Manejo agronómico de los campos experimentales**

#### **4.3.1 Preparación del terreno**

Se realizó un barbecho a una profundidad de 30 cm, seguido de dos pasos de rastra y finalmente el surcado del terreno de 0.75 m de separación entre surcos.

#### **4.3.2. Barbecho**

Este se realizó de forma mecánica a una profundidad de 30 cm.

#### **4.3.3. Rastra**

Se dieron dos pasos de rastra, una a lo largo del terreno y la otra de forma cruzada; para desmenuzar los terrones del terreno y paja del cultivo anterior.

#### **4.3.4. Surcado**

Se surcó de manera mecánica, a una distancia de 0.75 m entre surcos.

#### **4.3.5. Riego**

Se aplicó un riego ligero a la siembra, posteriormente se chequeo humedad en lo sucesivo para poder continuar con las necesidades hídricas del cultivo, hasta completar los 600 mm.

#### **4.3.6. Escarda**

En los dos campos experimentales se realizó una escarda de forma mecánica cuando en el cultivo se encontraba visible el cuello de la hoja 3 (etapa vegetativa V3) para restablecer los surcos, aporcar la tierra a la planta; posteriormente se efectuó una segunda cuando el cultivo se encontraba en V6.

#### **4.3.7. Fertilización**

Se aplicó la dosis recomendada por el INIFAP que consiste en 240-60-00; el 50% del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra. El resto del nitrógeno a los 40 días después de la siembra de forma manual. Como fuentes de fertilizantes se emplearon urea (46-00-00) y DAP (18-46-00).

#### **4.3.8. Control de malezas**

Se realizó un deshierbe de forma manual. Además se aplicó el herbicida selectivo Sansón® (nicosulfuron) a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> con mochila manual. Finalmente, se aplicó el herbicida secante Paraquat® para hoja angosta y 2-4-D® para hoja ancha cuando el cultivo se encontraba en madurez fisiológica.

#### **4.3.9. Control de plagas**

Se aplicó insecticida (cipermetrina), a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> para el control de gusano cogollero, ya que este fue la plaga que más se presentó en el cultivo. Las aplicaciones se realizaron de forma manual con una mochila de 15 L.

#### **4.3.10. Cosecha**

La cosecha se realizó de forma manual para los dos ambientes. Se colectaron las mazorcas de cada unidad experimental, considerando cinco metros lineales por surco. Cada genotipo fue cosechado en diferente bolsa y etiquetado.

#### **4.4. Metodologías**

El análisis de pureza física se destina a fines agrícolas, el cual junto con los aspectos fisiológicos, sanitarios y genéticos, determinan el concepto total de la calidad de las semillas, consiste en un examen detallado de todos los elementos que componen la muestra de laboratorio, analizando si pertenece o no a la especie objeto de estudio: 1) Homogenizar y dividir la fracción en una clasificación de semilla pura, semilla de otros cultivos y materia inerte, 2) Pesado de la muestra de trabajo, 3) Pesado de cada componente por separado, 4) Registro del resultado (ISTA, 1991).

El análisis de peso de mil semillas (P1000S) es un factor importante para calcular tasas de siembra. El peso dependerá del tamaño de la semilla, el contenido de humedad y la cantidad de semilla pura y consiste en tomar 8 submuestras de la muestra de trabajo, compuesta por 100 semillas cada una, para luego pesarlas, y con estos datos calcular el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variabilidad de los datos registrados. Si el coeficiente de variación excede los límites mencionados, otras ocho repeticiones de 100 semillas deberán contarse, pesarse y calcular la desviación estándar de las 16 repeticiones. Despreciando las repeticiones con un promedio de divergencia dos veces mayor a la desviación estándar. Multiplicar por 10 el peso medio de las demás repeticiones, siendo éste el resultado del análisis (ISTA, 2012).

#### **4.5. Diseño experimental**

Para la evaluación se utilizó un diseño bloques completos al azar. Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS, 1999) ver 9.1. La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## **4.6. Variables**

### **4.6.1. Caracteres agronómicos**

#### **4.6.1.1. Días a floración femenina (DFF)**

Para esta variable se registró el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 + 1% de las plantas mostraron estigmas receptivos (2 y 3 cm de longitud).

#### **4.6.1.2. Días a floración masculina (DFM)**

Para esta variable se contabilizó el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 + 1% de las plantas estaban liberando polen.

#### **4.6.1.3. Índice de prolificidad (IP)**

Esta característica se obtuvo contando las mazorcas cosechadas y dividiéndolas entre el número de plantas totales por parcela útil. Es decir,  $IP = \text{número de mazorcas} / \text{número de plantas totales}$ .

#### **4.6.1.4. Altura de mazorca (AM)**

Esta característica se determinó desde la base de la planta hasta el punto de inserción de la mazorca principal, tomando diez plantas por parcela útil (m).

**4.6.1.5. Altura de planta (APL)**

Se determinó con un estadal graduado (m), desde la base de la planta hasta su crecimiento a los 45 días, considerando diez plantas de cada parcela útil.

**4.6.1.6. Altura de planta (AP)**

Se determinó con un estadal graduado (m), desde la base de la planta hasta la base de la espiga, considerando diez plantas de cada parcela útil.

**4.6.1.7. Acame de tallo (AT)**

Se calculó el porcentaje de las plantas que presentaron acame desde el tallo.

**4.6.1.8. Número de plantas (NP)**

Se hizo un conteo de plantas por surco.

**4.6.1.9. Número de mazorcas (NM)**

Se hizo el conteo de mazorcas por planta por surco.

**4.6.2. Caracteres de rendimiento y sus componentes****4.6.2.1. Rendimiento de campo (RC)**

Se pesaron las mazorcas de cada parcela útil (dos surcos de cinco metros de longitud).

**4.6.2.2. Número de hojas totales (NHT)**

Es la suma de hojas abajo y arriba de la mazorca de la muestra de las diez plantas con competencia completa.

**4.6.2.3. Número de hileras por mazorca (NHM)**

En una muestra de diez mazorcas se obtuvo el número de hileras por cada mazorca y posteriormente se calculó la media.

#### **4.6.2.4. Longitud de mazorca (LM)**

En una muestra de diez mazorcas de cada parcela útil, se determinó la longitud de la mazorca, considerando desde la base de la mazorca hasta la punta (cm).

#### **4.6.2.5. Número de granos por hilera (GH)**

En una muestra de diez mazorcas se hizo un conteo de granos por hilera, considerando dos hileras por mazorca y el resultado se dividió entre dos (promedio).

#### **4.6.2.6. Diámetro de mazorca (DM)**

En una muestra de diez mazorcas, con un vernier digital marca TRUPER se determinó el diámetro de mazorca, considerando la parte media de la mazorca (cm).

#### **4.6.2.7. Peso electrolítico (kg hl<sup>-1</sup>) (PE)**

Para determinar este valor, se usó un medidor electrónico marca Seedburo, modelo: GMA-128 y el resultado expresado en kg hl<sup>-1</sup>

#### **4.6.3.8. Peso de mil semillas (P1000S)**

Se toma la muestra de trabajo de la fracción de semilla pura. Cualquier cambio en el contenido de humedad de la muestra de trabajo debe ser evitado tanto como sea posible, almacenando las muestras previamente al análisis por períodos cortos en contenedores a prueba de humedad.



Se cuentan ocho repeticiones de 100 semillas cada una, ya sea manualmente o con el contador de semillas (se recomienda hacer un primer conteo en el contador de semillas y un segundo conteo de forma manual como método de comprobación).

Para el cálculo y expresión de resultados se realiza de la siguiente forma:

Cuando fue utilizada toda la porción de semilla pura (en caso de no contar con por lo menos 800 semillas), se calcula el peso de mil semillas con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso de mil semillas (PMS)} = \frac{\text{Peso de la muestra} *}{\text{No. total de semillas}}$$

Cuando fueron utilizadas ocho repeticiones de 100 semillas cada una, obtenidas de la porción de semilla pura, calcular la varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, valores obtenidos de la siguiente manera:

- a) Desviación estándar

$$\text{Desviación estándar (S)} = \sqrt{\text{Varianza}}$$

- b) Coeficiente de variación

$$\text{Coeficiente de variación (CV)} = \frac{S}{\bar{x}} * 100$$

Dónde:  $\bar{x}$  = *Peso medio de 100 semillas*

El resultado de la determinación se obtiene al multiplicar por 10 el peso medio obtenido a partir de las ocho repeticiones de 100 semillas.

Si el coeficiente de variación excede los límites mencionados, otras ocho repeticiones de 100 semillas deberán contarse, pesarse y calcular la desviación estándar de las 16

repeticiones. Despreciando las repeticiones con un promedio de divergencia dos veces mayor a la desviación estándar. Multiplicar por 10 el peso medio de las demás repeticiones, siendo éste el resultado del análisis (ISTA, 2012).

#### **4.6.2.9 Vigor inicial (VI)**

Se calculó en etapa de plántula a los 40 días, se hizo una comparación respecto al panorama de todos los híbridos.

#### **4.6.2.10 Porcentaje de clorofila (CLOR)**

Se determinó clorofila a los 75 y 90 dds en etapa de floración. Con un clorofilómetro (Spad-502 Minolta Camera Co., Ltd., Japan) se colocó en tres partes de la hoja: basal, media y apical a partir de la base del tallo y se registró el promedio de la concentración de la clorofila en unidades SPAD.

#### **4.6.4. Porcentaje de germinación estándar (GE)**

Se consideró el porcentaje de plántulas normales en dos momentos; al cuarto y séptimo día después de ser sometido el ensayo. Se sembraron cuatro repeticiones de 50 semillas por genotipo, utilizando toallas húmedas de papel, posteriormente se metieron en bolsas de polietileno y se colocaron en una cámara germinadora a 25 °C (ISTA, 2005).

#### **4.6.5. Envejecimiento acelerado (EA)**

Se siguió la metodología de la AOSA (1983), colocando las semillas de cada genotipo en recipientes que contenían 200 ml de agua y una tela metálica para el soporte de la semilla. Posteriormente se taparon con papel aluminio y se colocaron los recipientes dentro una cámara en condiciones de 42 °C y 100% HR a diferentes tiempos de exposición 0 (sin deterioro) 48, 96 y 144 h; al finalizar los períodos de envejecimiento se sacaron las semillas y se realizaron las siguientes pruebas.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación, se muestran en las tablas y figuras que a continuación se presentan, mismos que además se analizan y discuten los resultados.

Los cuadrados medios que arrojan los resultados del análisis de varianzas (Tabla 5.1), detectó diferencias altamente significativas para la fuente de variación genotipos para días a floración femenina y masculina, altura de plántula y acame de tallo. En localidades las diferencias altamente significativas corresponden a días a floración femenina y masculina, prolificidad y altura de mazorca. En la fuente de variación Genotipo x localidad las diferencias altamente significativas se observan en días a floración femenina y masculina.

Tabla 5.1. Análisis de varianza a través de localidades para floración masculina y femenina (FM, FF), índice de prolificidad (IP), altura de mazorca (AM), altura de plántula (APL), altura de planta (AP) y acame de tallo (AT) en híbridos de maíz.

FV	GL	DFD (días)	DFM (días)	IP	AM (m)	APL (m)	AP (m)	AT (m)
Bloque	2	25.79	45.01	0.45	154.34	921.58	1.75	1.72
Genotipo (G)	35	27.24**	50.33**	0.08	311.73	225.72**	1.75	1.52**
Localidad (L)	1	13160.16**	27068.16**	1.83**	7361.67**	202.98	5.23	0.29
Loc (Bloq)	2	25.79	45.01	0.11	552.00	58.64	1.29	0.29
G X L	35	29.26**	40.23**	0.10	302.35	3.01	1.85	0.11
Error	140	6.22	9.40	0.06	163.50	59.68	1.84	0.34
CV(%)	-	3.36	4.12	20.31	16.1	14.73	56.21	110.90

FV = Fuentes de Variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación.

Con respecto a las fechas de siembra, en general la siembra tardía redujo el tiempo en que los materiales alcanzaron la floración y madurez fisiológica. En este sentido, se puede mencionar que estas características están fuertemente influenciadas por el ambiente de producción como lo afirman (Alejos *et al.*, 2006).

Para los caracteres evaluados en la Tabla 5.2, se observaron diferencias altamente significativas en la fuente de variación de Genotipo en relación con número de plantas, número de mazorcas, rendimiento de campo, número de hojas totales, apariencia general de la planta, número de hileras por mazorca y longitud de mazorca. En la fuente de variación para localidades se observan diferencias altamente significativas para número de plantas y longitud de mazorca. En la fuente de variación para Genotipo x localidad se observan diferencias altamente significativas para rendimiento de campo, número de hileras por mazorca y longitud de mazorca.

Tabla 5.2. Análisis de varianza a través de localidades para número de plantas (NP), número de mazorcas (NM), rendimiento de campo (RC), número de hojas (NHT), Apariencia general de la planta (AGP), número de hileras por mazorca (NHM) y longitud de mazorca (LM).

FV	GL	NP	NM	RC	NHT	AGP	NHM	LM
Bloque	2	79.36	52.39	6.87	2.29	229.62	1.79	0.14
Genotipo (G)	35	119.52**	188.05**	38.74**	3.26**	326.61**	3.42**	2.30**
Localidad (L)	1	1451.85**	852.04	1.74	0.29	29.62	9.54	24.47**
Loc (Bloq)	2	2.64	173.51	0.42	0.29	29.62	2.59	1.00
G X L	35	34.01	35.27	5.87**	0.47	47.72	1.98**	2.48**
Error	140	41.94	56.60	2.03	0.99	99.62	0.67	0.48
Cv(%)	-	39.90	38.10	10.62	14.27	14.27	5.96	4.82

FV = Fuentes de Variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación.

Las fuentes de variación de localidades muestran que la variable número de plantas fue afectada por daños mecánicos, incidencia de plagas y enfermedades, debido a la vulnerabilidad de los materiales o cruza. En cuanto a la variable de longitud de mazorca se vio afectada por menor desarrollo foliar. En maíz, las diferencias de rendimiento entre lotes de producción están ligadas, fundamentalmente, a variaciones en el número de mazorcas por planta y número de granos por mazorca, peso de mazorca entre las variables más importantes; el rendimiento está fuertemente asociado con el número de granos por mazorca. Otros componentes, como la altura de planta, altura de mazorca, número de hileras por mazorca y granos por hilera son características agronómicas sobresalientes (García, 2007).

En la Tabla 5.3, para la fuente de variación se muestran diferencias altamente significativas para Genotipo en las variables diámetro de mazorca, vigor inicial y clorofila. En la fuente de variación de localidades las diferencias altamente significativas se observan en las variables de granos por hilera, diámetro de mazorca, peso electrolítico, peso de mil semillas, vigor inicial y clorofila. En la fuente de variación de Genotipo x localidad las diferencias altamente significativas se observan en las variables de diámetro de mazorca, peso electrolítico, peso de mil semillas y clorofila.

Tabla 5.3. Análisis de varianza a través de localidades para granos por hilera, diámetro de mazorca, peso electrolítico, peso de mil semillas, vigor inicial y clorofila en híbridos de maíz.

FV	GL	GPH	DM	PE	P1000S	VI	CLOR
Bloque	2	0.48	1.68	0.10	35.13	761.15	73.81
Genotipo (G)	35	8.76	37.76**	0.24	8.61	7528.96**	97.83**
Localidad (L)	1	844.98**	1497.99**	14.82**	172.44**	23038.58**	231.36**
Loc (Bloq)	2	0.67	1.24	0.21	40.17	5348.24	1.16
G X L	35	5.87	26.91**	0.20**	13.11**	1680.08	21.92**
Error	140	3.72	3.39	0.04	4.12	1025.71	8.26
Cv(%)	-	11.13	5.18	4.49	2.61	9.57	5.19

FV = Fuentes de Variación; GL= Grados de libertad; CV= Coeficiente de variación.

Luna y Gutiérrez (1993) también observaron que el diámetro de mazorca contribuye a aumentar el número de granos por mazorca y por unidad de superficie y, por tanto, el rendimiento.

Además se ha observado la existencia de una asociación genética entre el contenido en clorofila y el rendimiento (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2000; Reynolds *et al.*, 2000).

Las fuentes de variación Genotipo en el diámetro de la mazorca y el vigor inicial se deben a la adaptabilidad que sufrieron los materiales por el potencial agroclimatológico.

En la fuente de variación para genotipo en cuanto a germinación y envejecimiento acelerado hubo diferencias altamente significativas (Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Cuadrados medios para germinación y envejecimiento acelerado en híbridos de maíz.

FV	GL	Germinación	Envejecimiento acelerado
Genotipo	36	1027.11**	1283.31**
Error	111	23.96	42.75
CV	---	5.37	7.85

En este sentido, Perry (1972) y Moreno *et al.* (1988) mencionan que los principales indicadores de la calidad fisiológica son la germinación y el vigor, que dependen del genotipo y del cuidado de su desarrollo en la producción y del manejo pos cosecha.

En un estudio Pajic *et al.* (1998), encontraron también diferencias en la capacidad de germinación en genotipos de maíz con diferente textura de endospermo y detectaron mayor germinación y emergencia en el maíz dentado, mientras que los menores valores correspondieron a la población de maíz súper dulce.

En la Tabla 5.5, se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias donde observamos que el híbrido más precoz en días a floración femenina es el (CML500 X CML498) (CML247) y el híbrido más precoz en días a floración masculina es el (CML264 X CML311) (CML202), superando al testigo 374-C que es tardío en ambos días a floración. En la localidad de Paso Morelos los híbridos triples se comportaron más precoces que en la localidad de Celaya, debido a las condiciones climatológicas cálidas. Los factores agroclimatológico favorecieron al buen desempeño del híbrido (CML500 X CML498) (CLG2312) en prolificidad. Los testigos (H374-C) y BD-33 superaron la altura de planta, mientras que el híbrido (CML486 X CML451) (CML495) los supero en altura de mazorca. El híbrido con mayor acame de tallo fue el (CML486 X CML451) (CLG2312); sin embargo, el 23.33 % de los híbridos presento alta resistencia al acame.

En la localidad paso Morelos los materiales fueron más precoces, debido a las condiciones climatológicas cálidas. La altura de mazorca fue mayor en Celaya. En altura de planta y acame de tallo no hubo diferencia entre las localidades.

Tabla 5.5 Comparación de medias (Tukey) para floración femenina (FF) y masculina (FM), prolificidad (IP), altura de mazorca (AM), altura de plántula (APL), altura de planta (AP) y acame de tallo (AT) en híbridos de maíz.

Genotipos	DFF (días)	DFM (días)	IP	AM (m)	APL (m)	AP (m)	AT (%)
(CML264 X CML311) (CLG2312)	74.83 <sup>abcd</sup>	76.83 <sup>abcd</sup>	1.34 <sup>ab</sup>	75.83 <sup>ab</sup>	53.60 <sup>abcde</sup>	2.38 <sup>b</sup>	0.66 <sup>abc</sup>
(CML500 X CML498) (CLG2312)	76.83 <sup>ab</sup>	77.50 <sup>abc</sup>	<b>1.59a</b>	73.50	55.73 <sup>abcde</sup>	2.37 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>
(CML486 X CML451) (CLG2312)	74.83 <sup>abcd</sup>	74.83 <sup>abcdef</sup>	1.24 <sup>ab</sup>	71.50 <sup>ab</sup>	45.16 <sup>de</sup>	2.35 <sup>b</sup>	<b>1.66a</b>
(CML264 X CML311) (CML495)	73.16 <sup>abcde</sup>	74.50 <sup>abcdef</sup>	1.21 <sup>ab</sup>	70.16 <sup>ab</sup>	46.92 <sup>cde</sup>	2.05 <sup>b</sup>	1.16 <sup>abc</sup>
(CLG420801 X CML1491) (CML495)	75.33 <sup>abcd</sup>	75.33 <sup>abcdef</sup>	1.57 <sup>ab</sup>	78.50 <sup>ab</sup>	49.99 <sup>bcde</sup>	2.30 <sup>b</sup>	0.16 <sup>c</sup>
(CML500 X CML498) (CML495)	73.66 <sup>abcde</sup>	72.33 <sup>abcdef</sup>	1.22 <sup>ab</sup>	87.50 <sup>ab</sup>	48.89 <sup>bcde</sup>	2.38 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>
(CML486 X CML451) (CML495)	71.16 <sup>cde</sup>	69.16 <sup>ef</sup>	1.29 <sup>ab</sup>	<b>95.33a</b>	51.71 <sup>abcde</sup>	2.23 <sup>b</sup>	1.50 <sup>ab</sup>
(CML264 X CML311) (CML144)	72.00 <sup>bcde</sup>	72.16 <sup>abcdef</sup>	1.23 <sup>ab</sup>	80.50 <sup>ab</sup>	51.98 <sup>abcde</sup>	2.29 <sup>b</sup>	1.16 <sup>abc</sup>
(CML500 X CML498) (CML144)	75.66 <sup>abc</sup>	76.00 <sup>abcde</sup>	1.14 <sup>ab</sup>	75.33 <sup>ab</sup>	47.86 <sup>bcde</sup>	2.21 <sup>b</sup>	1.50 <sup>ab</sup>
(CML486 X CML451) (CML144)	72.33 <sup>abcde</sup>	71.00 <sup>cdef</sup>	1.18 <sup>ab</sup>	82.00 <sup>ab</sup>	58.87 <sup>abcde</sup>	2.39 <sup>b</sup>	0.33 <sup>bc</sup>
(CML264 X CML311) (CML197)	73.00 <sup>abcde</sup>	74.66 <sup>abcdef</sup>	1.25 <sup>ab</sup>	91.66 <sup>ab</sup>	57.75 <sup>abcde</sup>	2.37 <sup>b</sup>	0.50 <sup>abc</sup>
(CML500 X CML498) (CML197)	72.16 <sup>abcde</sup>	72.00 <sup>abcdef</sup>	1.18 <sup>ab</sup>	74.66 <sup>ab</sup>	44.41 <sup>de</sup>	2.19 <sup>b</sup>	0.33 <sup>bc</sup>
(CML486 X CML451) (CML197)	73.00 <sup>abcde</sup>	70.66 <sup>cdef</sup>	1.16 <sup>ab</sup>	90.16 <sup>ab</sup>	54.29 <sup>abcde</sup>	2.32 <sup>b</sup>	1.00 <sup>abc</sup>
(CML264 X CML311)(CML202)	77.00 <sup>ab</sup>	<b>78.66a</b>	1.17 <sup>ab</sup>	81.66 <sup>ab</sup>	53.63 <sup>abcde</sup>	2.39 <sup>b</sup>	1.00 <sup>abc</sup>
(CLG420801 X CML1491)(CML202)	75.50 <sup>abc</sup>	77.33 <sup>abcd</sup>	1.21 <sup>ab</sup>	80.66 <sup>ab</sup>	52.19 <sup>abcde</sup>	2.41 <sup>b</sup>	0.50 <sup>abc</sup>
(CML500 X CML498)(CML202)	75.33 <sup>abcd</sup>	76.50 <sup>abcd</sup>	1.22 <sup>ab</sup>	78.00 <sup>ab</sup>	55.48 <sup>abcde</sup>	2.06 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>
(CML486 X CML451)(CML202)	72.66 <sup>abcde</sup>	71.50 <sup>bcdef</sup>	1.21 <sup>ab</sup>	78.50 <sup>ab</sup>	44.27 <sup>de</sup>	2.31 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>
(CML264 X CML311)(CML247)	77.00 <sup>ab</sup>	78.16 <sup>ab</sup>	1.19 <sup>ab</sup>	77.33 <sup>ab</sup>	50.79 <sup>abcde</sup>	2.34 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>
(CML500 X CML498)(CML247)	<b>77.66a</b>	78.16 <sup>ab</sup>	1.36 <sup>ab</sup>	75.00 <sup>ab</sup>	44.84 <sup>de</sup>	2.36 <sup>b</sup>	1.00 <sup>abc</sup>
(CML486 X CML451)(CML247)	74.00 <sup>abcde</sup>	73.16 <sup>abcdef</sup>	1.18 <sup>ab</sup>	84.50 <sup>ab</sup>	45.42 <sup>cde</sup>	2.42 <sup>b</sup>	0.66 <sup>abc</sup>
(CML264 X CML311)(CML444)	76.00 <sup>abc</sup>	77.00 <sup>abcd</sup>	1.07 <sup>ab</sup>	73.33 <sup>ab</sup>	53.57 <sup>abcde</sup>	2.27 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>
(CML500 X CML498)(CML444)	74.50 <sup>abcd</sup>	78.33 <sup>ab</sup>	1.19 <sup>ab</sup>	<b>97.83a</b>	57.23 <sup>abcde</sup>	2.33 <sup>b</sup>	0.00 <sup>c</sup>
(CML486 X CML451)(CML444)	75.33 <sup>abcd</sup>	75.16 <sup>abcdef</sup>	1.31 <sup>ab</sup>	73.00 <sup>ab</sup>	60.89 <sup>abcd</sup>	2.12 <sup>b</sup>	0.66 <sup>abc</sup>
(CML264 X CML311)(CML448)	74.33 <sup>abcd</sup>	73.50 <sup>abcdef</sup>	1.17 <sup>ab</sup>	75.33 <sup>ab</sup>	51.93 <sup>abcde</sup>	2.30 <sup>b</sup>	0.33 <sup>bc</sup>

(CML500 X CML498)(CML448)	75.66 <sup>abc</sup>	76.33 <sup>abcd</sup>	1.16 <sup>ab</sup>	73.33 <sup>ab</sup>	42.74 <sup>e</sup>	2.26 <sup>b</sup>	0.16 <sup>c</sup>
(CML486 X CML451)(CML448)	69.83 <sup>de</sup>	69.33 <sup>ef</sup>	1.15 <sup>ab</sup>	85.66 <sup>ab</sup>	54.00 <sup>abcde</sup>	2.59 <sup>ab</sup>	0.33 <sup>bc</sup>
(CML264 X CML509) (CML311)	71.50 <sup>bcde</sup>	69.33 <sup>ef</sup>	1.21 <sup>ab</sup>	83.50 <sup>ab</sup>	50.30 <sup>bcde</sup>	2.39 <sup>b</sup>	0.16 <sup>c</sup>
(CML500 X CML498)(CML509)	76.33 <sup>abc</sup>	75.83 <sup>abcdef</sup>	1.40 <sup>ab</sup>	70.50 <sup>ab</sup>	49.34 <sup>bcde</sup>	2.31 <sup>b</sup>	0.50 <sup>abc</sup>
(CML264 X CML311)(CML511)	74.33 <sup>abcd</sup>	74.16 <sup>abcdef</sup>	1.39 <sup>ab</sup>	80.16 <sup>ab</sup>	57.28 <sup>abcde</sup>	2.30 <sup>b</sup>	0.33 <sup>bc</sup>
(CML500 X CML498)(CML511)	75.33 <sup>abcd</sup>	74.16 <sup>abcdef</sup>	1.32 <sup>ab</sup>	78.66 <sup>ab</sup>	52.37 <sup>abcde</sup>	2.29 <sup>b</sup>	0.16 <sup>c</sup>
(CML500 X CML498) (CLG4208801)	75.33 <sup>abcd</sup>	73.00 <sup>abcdef</sup>	1.25 <sup>ab</sup>	70.00 <sup>ab</sup>	46.75 <sup>cde</sup>	2.28 <sup>b</sup>	0.66 <sup>abc</sup>
(CLG4208801) CML2312)(CLG4208801)	75.00 <sup>abcd</sup>	76.66 <sup>abcd</sup>	1.25 <sup>ab</sup>	80.33 <sup>ab</sup>	44.02 <sup>de</sup>	2.31 <sup>b</sup>	1.16 <sup>abc</sup>
(SAN BARTOLO)	75.00 <sup>abcd</sup>	74.50 <sup>abcdef</sup>	1.30 <sup>ab</sup>	78.16 <sup>ab</sup>	56.87 <sup>abcde</sup>	2.41 <sup>b</sup>	1.16 <sup>abc</sup>
(H374-C)	68.66 <sup>e</sup>	69.00 <sup>f</sup>	1.25 <sup>ab</sup>	84.50 <sup>ab</sup>	67.98 <sup>a</sup>	2.36 <sup>b</sup>	0.16 <sup>c</sup>
(CANELO)	72.00 <sup>bcde</sup>	70.50 <sup>def</sup>	1.14 <sup>ab</sup>	65.50 <sup>b</sup>	62.75 <sup>abc</sup>	2.63 <sup>ab</sup>	0.00 <sup>c</sup>
(BD-33)	77.66 <sup>a</sup>	76.66 <sup>abcd</sup>	1.01 <sup>a</sup>	75.33 <sup>ab</sup>	64.89 <sup>ab</sup>	5.4 <sup>a</sup>	0.00 <sup>c</sup>
LOCALIDAD							
Paso Morelos	66.47 <sup>b</sup>	63.08 <sup>b</sup>	1.15 <sup>b</sup>	73.25 <sup>b</sup>	51.44 <sup>a</sup>	2.25 <sup>a</sup>	0.56 <sup>a</sup>
Celaya	82.08 <sup>a</sup>	85.47 <sup>a</sup>	1.33 <sup>b</sup>	84.93 <sup>a</sup>	53.38 <sup>a</sup>	2.57 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>

La altura de planta como el número de hojas totales por planta son parámetros de importancia cuando consideramos a estos materiales con potencial para utilizarse como progenitores de variedades para uso forrajero, debido al comportamiento de la digestibilidad, el valor nutritivo y el contenido de fibra y lignina y nutrientes digestibles totales, que presentan los tallos y hojas, con relación a la mazorca (Reyes 1990, Núñez *et al.*, 2004 y Di Marco y Aello, 2007) y cuando lo relacionamos con la productividad por planta, es elemental la mayor cantidad de hojas arriba de la mazorca, ya que son las que mayormente contribuyen a la acumulación de fotoasimilados a los órganos de reserva, tal como lo señalan Tanaka y Yamaguchi (1972), también Reyes (1990), señala que las hojas arriba de la mazorca y las de la parte media, son las que mayormente abonan al llenado del grano y explica que es debido a la diferencia con que estas interceptan la energía luminosa.

El mayor número de plantas fue en Paso Morelos y corresponde al híbrido (CML500 X CML498)(CML444) con mayor número de mazorcas. El híbrido que obtuvo el mayor



rendimiento de campo es el (CML486 X CML451) (CML247) con 17.86 t/ha<sup>-1</sup>, superando al testigo H 374-C con 17.03 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Comparación de medias (Tukey) para número de plantas (NP), número de mazorcas (NM), rendimiento de campo (RC), número de hojas (NHT), Apariencia general de la planta (AGP), número de hileras por mazorca (NHM) y longitud de mazorca en híbridos de maíz.

Genotipos	NP	NM	RC (t ha <sup>-1</sup> )	NH (no.)	AGP (%)	HP (no.)	LM (cm)
(CML264 X CML311) (CLG2312)	18.00 <sup>abc</sup>	23.50 <sup>ab</sup>	12.35 <sup>fg hijk</sup>	6.33 <sup>abc</sup>	63.33 <sup>abc</sup>	13.50 <sup>abc defg</sup>	14.86 <sup>abc def</sup>
(CML500 X CML498) (CLG2312)	17.66 <sup>abc</sup>	24.66 <sup>ab</sup>	14.32 <sup>bc def</sup>	6.66 <sup>abc</sup>	66.66 <sup>abc</sup>	14.00 <sup>abc defg</sup>	15.36 <sup>ab</sup>
(CML486 X CML451) (CLG2312)	9.83 <sup>bc</sup>	12.50 <sup>bc</sup>	9.00 <sup>lm</sup>	6.00 <sup>bc</sup>	60.00 <sup>bc</sup>	13.16 <sup>bc defg</sup>	13.95 <sup>bc defg</sup>
(CML264 X CML311) (CML495)	12.00 <sup>abc</sup>	14.83 <sup>abc</sup>	12.98 <sup>ef ghij</sup>	5.50 <sup>c</sup>	55.00 <sup>c</sup>	13.33 <sup>bc defg</sup>	13.35 <sup>fg</sup>
(CLG420801 X CML1491) (CML495)	12.83 <sup>abc</sup>	17.00 <sup>abc</sup>	9.13 <sup>klm</sup>	6.66 <sup>abc</sup>	66.66 <sup>abc</sup>	14.16 <sup>abc def</sup>	14.26 <sup>abc defg</sup>
(CML500 X CML498) (CML495)	13.33 <sup>abc</sup>	16.83 <sup>abc</sup>	8.39 <sup>m</sup>	6.00 <sup>bc</sup>	60.0 <sup>bc</sup>	14.50 <sup>abcd</sup>	13.45 <sup>efg</sup>
(CML486 X CML451) (CML495)	11.33 <sup>abc</sup>	13.50 <sup>abc</sup>	9.35 <sup>klm</sup>	6.00 <sup>bc</sup>	60.00 <sup>bc</sup>	12.90 <sup>defg</sup>	14.95 <sup>abc de</sup>
(CML264 X CML311) (CML144)	18.00 <sup>abc</sup>	22.00 <sup>ab</sup>	13.86 <sup>bc defgh</sup>	7.00 <sup>abc</sup>	70.00 <sup>abc</sup>	13.16 <sup>bc defg</sup>	13.81 <sup>bc defg</sup>
(CML500 X CML498) (CML144)	15.33 <sup>abc</sup>	17.16 <sup>abc</sup>	12.70 <sup>fg hij</sup>	6.16 <sup>bc</sup>	61.66 <sup>bc</sup>	12.50 <sup>fg</sup>	15.31 <sup>ab</sup>
(CML486 X CML451) (CML144)	18.33 <sup>ab</sup>	21.16 <sup>ab</sup>	15.38 <sup>abc def</sup>	8.00 <sup>ab</sup>	80.00 <sup>ab</sup>	14.33 <sup>abc def</sup>	14.33 <sup>abc defg</sup>
(CML264 X CML311) (CML197)	17.00 <sup>abc</sup>	22.00 <sup>ab</sup>	13.19 <sup>abc defghij</sup>	6.50 <sup>abc</sup>	65.00 <sup>abc</sup>	13.83 <sup>abc defg</sup>	14.88 <sup>abc def</sup>
(CML500 X CML498) (CML197)	13.33 <sup>abc</sup>	15.50 <sup>abc</sup>	10.35 <sup>ijklm</sup>	6.33 <sup>abc</sup>	63.33 <sup>abc</sup>	12.16 <sup>g</sup>	14.91 <sup>abc def</sup>
(CML486 X CML451) (CML197)	15.50 <sup>abc</sup>	18.00 <sup>abc</sup>	16.22 <sup>abcd</sup>	6.83 <sup>abc</sup>	68.33 <sup>abc</sup>	13.66 <sup>abc defg</sup>	14.18 <sup>abc defg</sup>
(CML264 X CML311)(CML202)	14.83 <sup>abc</sup>	17.00 <sup>abc</sup>	15.84 <sup>abc de</sup>	7.16 <sup>abc</sup>	71.66 <sup>abc</sup>	13.84 <sup>abc defg</sup>	14.41 <sup>abc defg</sup>
(CLG420801 X CML1491)(CML202)	18.33 <sup>ab</sup>	22.16 <sup>ab</sup>	16.30 <sup>abcd</sup>	6.83 <sup>abc</sup>	68.33 <sup>abc</sup>	12.66 <sup>efg</sup>	14.40 <sup>abc defg</sup>
(CML500 X CML498)(CML202)	14.33 <sup>abc</sup>	17.33 <sup>abc</sup>	15.31 <sup>abc def</sup>	7.00 <sup>abc</sup>	70.00 <sup>abc</sup>	13.33 <sup>bc defg</sup>	13.60 <sup>c defg</sup>
(CML486 X CML451)(CML202)	16.83 <sup>abc</sup>	19.83 <sup>abc</sup>	15.85 <sup>abc de</sup>	7.66 <sup>abc</sup>	76.66 <sup>abc</sup>	13.16 <sup>bc defg</sup>	14.38 <sup>abc defg</sup>
(CML264 X CML311)(CML247)	14.33 <sup>abc</sup>	16.83 <sup>abc</sup>	15.59 <sup>abc de</sup>	7.50 <sup>abc</sup>	75.00 <sup>abc</sup>	15.00 <sup>ab</sup>	15.01 <sup>abc de</sup>
(CML500 X CML498)(CML247)	13.00 <sup>abc</sup>	17.00 <sup>abc</sup>	10.61 <sup>ijklm</sup>	6.33 <sup>abc</sup>	63.33 <sup>abc</sup>	14.00 <sup>abc defg</sup>	14.58 <sup>abc defg</sup>
(CML486 X CML451)(CML247)	20.66 <sup>ab</sup>	24.00 <sup>ab</sup>	17.86 <sup>a</sup>	7.66 <sup>ab</sup>	76.66 <sup>abc</sup>	13.83 <sup>abc defg</sup>	15.03 <sup>abcd</sup>
(CML264 X CML311)(CML444)	12.33 <sup>abc</sup>	13.66 <sup>abc</sup>	15.65 <sup>abcd</sup>	6.83 <sup>abc</sup>	68.33 <sup>abc</sup>	13.33 <sup>bc defg</sup>	15.60 <sup>a</sup>
(CML500 X CML498)(CML444)	25.33 <sup>a</sup>	29.83 <sup>a</sup>	14.62 <sup>bc def</sup>	8.00 <sup>ab</sup>	80.00 <sup>ab</sup>	14.00 <sup>abc defg</sup>	14.50 <sup>abc defg</sup>
(CML486 X CML451)(CML444)	21.83 <sup>ab</sup>	27.00 <sup>ab</sup>	13.07 <sup>def ghij</sup>	7.50 <sup>abc</sup>	75.00 <sup>abc</sup>	13.00 <sup>defg</sup>	14.56 <sup>abc defg</sup>
(CML264 X CML311)(CML448)	13.00 <sup>abc</sup>	14.66 <sup>abc</sup>	8.82 <sup>lm</sup>	6.16 <sup>bc</sup>	61.66 <sup>bc</sup>	12.50 <sup>fg</sup>	13.85 <sup>bc defg</sup>

(CML500 X CML498)(CML448)	19.00 <sup>ab</sup>	22.00 <sup>ab</sup>	15.53 <sup>abcdef</sup>	7.83 <sup>ab</sup>	78.33 <sup>ab</sup>	14.00 <sup>abcdefg</sup>	13.58 <sup>cdefg</sup>
(CML486 X CML451)(CML448)	19.83 <sup>ab</sup>	23.00 <sup>ab</sup>	12.86 <sup>ghij</sup>	7.50 <sup>abc</sup>	75.00 <sup>abc</sup>	14.50 <sup>abcd</sup>	13.51 <sup>defg</sup>
(CML264 X CML509) (CML311)	18.33 <sup>ab</sup>	22.00 <sup>ab</sup>	13.86 <sup>bcdefgh</sup>	7.50 <sup>abc</sup>	75.00 <sup>abc</sup>	14.33 <sup>abcdef</sup>	14.03 <sup>abcdefg</sup>
(CML500 X CML498)(CML509)	22.00 <sup>ab</sup>	27.00 <sup>ab</sup>	11.93 <sup>ghijkl</sup>	7.00 <sup>abc</sup>	70.00 <sup>abc</sup>	14.00 <sup>abcdefg</sup>	14.71 <sup>abcdef</sup>
(CML264 X CML311)(CML511)	19.00 <sup>ab</sup>	25.33 <sup>ab</sup>	13.28 <sup>defghij</sup>	7.83 <sup>ab</sup>	78.33 <sup>ab</sup>	15.33 <sup>a</sup>	14.98 <sup>abcde</sup>
(CML500 X CML498)(CML511)	12.50 <sup>abc</sup>	15.50 <sup>abc</sup>	13.20 <sup>defghij</sup>	6.83 <sup>abc</sup>	68.33 <sup>abc</sup>	13.66 <sup>abcdefg</sup>	14.61 <sup>abcdefg</sup>
(CML500 X CML498) (CLG4208801)	19.83 <sup>ab</sup>	24.66 <sup>ab</sup>	10.65 <sup>hijklm</sup>	7.33 <sup>abc</sup>	73.33 <sup>abc</sup>	14.66 <sup>abcd</sup>	13.85 <sup>bcdefg</sup>
(CML495 X CML2312)(CLG4208801)	22.55 <sup>ab</sup>	27.50 <sup>ab</sup>	13.59 <sup>cdefghi</sup>	7.66 <sup>abc</sup>	76.66 <sup>abc</sup>	14.33 <sup>abcdef</sup>	15.11 <sup>abc</sup>
(SAN BARTOLO)	22.66 <sup>ab</sup>	28.33 <sup>ab</sup>	16.59 <sup>abc</sup>	8.50 <sup>a</sup>	85.00 <sup>a</sup>	14.83 <sup>abc</sup>	14.71 <sup>abcdef</sup>
(H374-C)	18.33 <sup>ab</sup>	22.33 <sup>ab</sup>	17.03 <sup>ab</sup>	8.16 <sup>ab</sup>	81.66 <sup>ab</sup>	14.33 <sup>abcdef</sup>	14.51 <sup>abcdefg</sup>
(CANELO)	9.66 <sup>bc</sup>	11.66 <sup>bc</sup>	13.68 <sup>cdefghi</sup>	6.83 <sup>abc</sup>	68.33 <sup>abc</sup>	14.83 <sup>abc</sup>	14.29 <sup>abcdefg</sup>
(BD-33)	3.33 <sup>c</sup>	3.50 <sup>c</sup>	14.10 <sup>bcdef</sup>	6.00 <sup>bc</sup>	60.00 <sup>bc</sup>	13.50 <sup>abcdefg</sup>	13.07 <sup>g</sup>
LOCALIDAD							
Paso Morelos	18.82 <sup>a</sup>	21.73 <sup>a</sup>	13.51 <sup>a</sup>	4.02 <sup>a</sup>	70.27 <sup>a</sup>	13.57 <sup>b</sup>	14.06 <sup>b</sup>
Celaya	13.63 <sup>b</sup>	17.75 <sup>b</sup>	13.33 <sup>b</sup>	6.95 <sup>a</sup>	69.53 <sup>a</sup>	13.99 <sup>a</sup>	14.74 <sup>a</sup>

Luna y Gutiérrez (1993) observaron que la longitud de mazorca contribuyen a aumentar el número de granos por mazorca; de forma similar Andrade *et al.* (2002) consideran que el rendimiento de grano está estrechamente relacionado con el número de granos cosechados.

El híbrido que obtuvo mayor ganancia de peso respecto a su volumen es (CML500 X CML4 (CML444) con 5.08 KI/hl (Tabla 5.7). El mejor vigor lo presentó el testigo

(CANELO con un ligero aumento del 6.82% al 8.4% en comparación con los híbridos (CML486 X CML451) (CML444), (CML264 X CML509) (CML 311) y (CML500 XCML498) (CLG4208801).

Tabla 5.7 Comparación de medias (Tukey) para granos por hilera (GPH), diámetro de mazorca (DM), peso electrolítico (PE), peso de mil semillas (P1000S), vigor inicial (VI) y clorofila (CLOR) en maíz.

Genotipos	GPH	DM	PE	P1000S	VI	CLOR
(CML264 X CML311) (CLG2312)	15.50 <sup>b</sup>	34.10 <sup>efghij</sup>	4.73 <sup>abcdef</sup>	77.16 <sup>ab</sup>	339.83 <sup>abcdef</sup>	54.15 <sup>efghijklm</sup>
(CML500 X CML498) (CLG2312)	17.00 <sup>ab</sup>	35.58 <sup>abcdefg</sup>	4.73 <sup>abcdef</sup>	78.25 <sup>ab</sup>	343.35 <sup>abcdef</sup>	48.78 <sup>n</sup>
(CML486 X CML451) (CLG2312)	16.52 <sup>b</sup>	32.16 <sup>ijk</sup>	4.33 <sup>g</sup>	78.83 <sup>ab</sup>	341.93 <sup>abcdef</sup>	51.66 <sup>klmn</sup>
(CML264 X CML311) (CML495)	16.28 <sup>b</sup>	35.05 <sup>cdefghi</sup>	4.56 <sup>cdefg</sup>	76.50 <sup>ab</sup>	273.76 <sup>f</sup>	60.37 <sup>abcde</sup>
(CLG420801 X CML1491)(CML495)	17.43	35.65 <sup>abcdefg</sup>	4.45 <sup>defg</sup>	76.50 <sup>ab</sup>	286.34 <sup>ef</sup>	52.83 <sup>hijklmn</sup>
(CML500 X CML498) (CML495)	16.85 <sup>ab</sup>	33.83 <sup>ghijk</sup>	4.12 <sup>g</sup>	75.33 <sup>b</sup>	298.77 <sup>def</sup>	50.17 <sup>lmn</sup>
(CML486 X CML451) (CML495)	16.95 <sup>ab</sup>	33.48 <sup>hijk</sup>	4.66 <sup>abcdef</sup>	76.66 <sup>ab</sup>	303.09 <sup>def</sup>	52.47 <sup>ijklmn</sup>
(CML264 X CML311) (CML144)	15.96 <sup>b</sup>	35.15 <sup>bcdefghi</sup>	4.46 <sup>defg</sup>	78.16 <sup>ab</sup>	284.21 <sup>ef</sup>	49.07 <sup>mn</sup>
(CML500 X CML498) (CML144)	16.76 <sup>ab</sup>	34.41 <sup>defghij</sup>	4.71 <sup>abcdef</sup>	77.41 <sup>ab</sup>	274.77 <sup>f</sup>	53.27 <sup>ghijklm</sup>
(CML486 X CML451) (CML144)	15.81 <sup>b</sup>	32.15 <sup>ijk</sup>	4.56 <sup>cdefg</sup>	75.16 <sup>b</sup>	356.05 <sup>abcde</sup>	55.29 <sup>cdefghijklmn</sup>
(CML264 X CML311) (CML197)	17.86 <sup>ab</sup>	36.45 <sup>abcdefg</sup>	4.60 <sup>abcdef</sup>	77.66 <sup>ab</sup>	314.74 <sup>bcdef</sup>	62.88 <sup>ab</sup>
(CML500 X CML498) (CML197)	10.03 <sup>ab</sup>	36.11 <sup>abcdefghi</sup>	4.55 <sup>cdefg</sup>	75.16 <sup>b</sup>	275.43 <sup>f</sup>	55.66 <sup>lmn</sup>
(CML486 X CML451) (CML197)	18.01 <sup>ab</sup>	35.08 <sup>cdefghi</sup>	4.76 <sup>abcdef</sup>	75.00 <sup>b</sup>	284.91 <sup>ef</sup>	51.61 <sup>klmn</sup>
(CML264 X CML311)(CML202)	17.98 <sup>ab</sup>	38.85 <sup>abc</sup>	4.63 <sup>abcdef</sup>	77.50 <sup>ab</sup>	321.43 <sup>bcdef</sup>	60.04 <sup>abcdef</sup>
(CLG420801 X CML1491)(CML202)	19.46 <sup>ab</sup>	39.45 <sup>a</sup>	4.64 <sup>abcdef</sup>	79.00 <sup>ab</sup>	333.67 <sup>bcdef</sup>	59.14 <sup>abcdefghi</sup>
(CML500 X CML498)(CML202)	16.39 <sup>b</sup>	32.06 <sup>ijk</sup>	4.53 <sup>cdefg</sup>	77.33 <sup>ab</sup>	304.21 <sup>cdef</sup>	51.52 <sup>klmn</sup>
(CML486 X CML451)(CML202)	16.56 <sup>b</sup>	33.46 <sup>hijk</sup>	4.88 <sup>abcd</sup>	77.66 <sup>ab</sup>	299.28 <sup>def</sup>	59.76 <sup>abcdefg</sup>
(CML264 X CML311)(CML247)	21.06 <sup>a</sup>	36.38 <sup>abcdefg</sup>	4.89 <sup>abcd</sup>	77.50 <sup>ab</sup>	366.34 <sup>abcd</sup>	53.63 <sup>fghijklmn</sup>
(CML500 X CML498)(CML247)	16.03 <sup>b</sup>	32.16 <sup>ijk</sup>	4.57 <sup>bcdefg</sup>	77.00 <sup>ab</sup>	326.49 <sup>bcdef</sup>	54.62 <sup>efghijklmn</sup>
(CML486 X CML451)(CML247)	16.39 <sup>b</sup>	33.68 <sup>ghijk</sup>	4.66 <sup>abcdef</sup>	79.00 <sup>ab</sup>	361.06 <sup>abcd</sup>	60.79 <sup>abc</sup>
(CML264 X CML311)(CML444)	17.90 <sup>ab</sup>	37.86 <sup>abcdef</sup>	5.04 <sup>ab</sup>	76.83 <sup>ab</sup>	346.19 <sup>abcdef</sup>	59.30 <sup>abcdefg</sup>
(CML500 X CML498)(CML444)	19.71 <sup>ab</sup>	39.28 <sup>ab</sup>	5.08 <sup>a</sup>	78.33 <sup>ab</sup>	332.01 <sup>bcdef</sup>	56.41 <sup>cdefghijkl</sup>
(CML486 X CML451)(CML444)	18.10 <sup>ab</sup>	38.21 <sup>abcde</sup>	4.81 <sup>abcdef</sup>	78.66 <sup>ab</sup>	383.90 <sup>ab</sup>	64.49 <sup>a</sup>
(CML264 X CML311)(CML448)	16.41 <sup>b</sup>	36.43 <sup>abcdefg</sup>	4.58 <sup>bcdefg</sup>	77.16 <sup>ab</sup>	344.93 <sup>abcdef</sup>	58.56 <sup>abcdefg</sup>

(CML500 X CML498)(CML448)	17.19 <sup>ab</sup>	36.80 <sup>abcdefgh</sup>	4.37 <sup>efg</sup>	78.25 <sup>ab</sup>	316.60 <sup>bcdef</sup>	56.43 <sup>bcdefghijkl</sup>
(CML486 X CML451)(CML448)	17.06 <sup>ab</sup>	35.70 <sup>abcdefghi</sup>	4.61 <sup>abcdef</sup>	77.33 <sup>ab</sup>	376.07 <sup>abc</sup>	61.23 <sup>abc</sup>
(CML264 X CML509)(CML311)	17.78 <sup>ab</sup>	34.96 <sup>cdefghi</sup>	4.88 <sup>abcd</sup>	78.26 <sup>ab</sup>	377.00 <sup>ab</sup>	51.99 <sup>klmn</sup>
(CML500 X CML498)(CML509)	17.23 <sup>ab</sup>	38.36 <sup>abcd</sup>	4.88 <sup>abcd</sup>	78.00 <sup>ab</sup>	364.66 <sup>abcd</sup>	57.56 <sup>bcdefghijk</sup>
(CML264 X CML311)(CML511)	15.81 <sup>b</sup>	30.58 <sup>jk</sup>	4.75 <sup>abcdef</sup>	80.00 <sup>a</sup>	361.03 <sup>abcd</sup>	53.55 <sup>ghijklmn</sup>
(CML500 X CML498)(CML511)	15.65 <sup>b</sup>	29.75 <sup>k</sup>	4.69 <sup>abcdef</sup>	78.50 <sup>ab</sup>	354.67 <sup>abcde</sup>	52.90 <sup>hijklmn</sup>
(CML500 X CML498)(CLG4208801)	17.91 <sup>ab</sup>	37.85 <sup>abcdefg</sup>	4.77 <sup>abcdef</sup>	78.66 <sup>ab</sup>	378.70 <sup>ab</sup>	53.19 <sup>hijklmn</sup>
(CML495 X CML2312)(CLG4208801)	17.50 <sup>ab</sup>	35.86 <sup>abcdefghi</sup>	4.70 <sup>abcdef</sup>	78.00 <sup>ab</sup>	333.56 <sup>bcdef</sup>	54.74 <sup>ijklmn</sup>
(SAN BARTOLO)	18.43 <sup>ab</sup>	38.68 <sup>abc</sup>	4.94 <sup>abc</sup>	77.66 <sup>ab</sup>	366.53 <sup>abcd</sup>	57.83 <sup>bcdefghijk</sup>
(H374-C)	18.03 <sup>ab</sup>	38.45 <sup>abcd</sup>	4.81 <sup>abcde</sup>	78.33 <sup>ab</sup>	363.46 <sup>abcd</sup>	52.19 <sup>ijklmn</sup>
(CANELO)	18.78 <sup>ab</sup>	38.01 <sup>abcde</sup>	4.93 <sup>abcd</sup>	77.66 <sup>ab</sup>	412.08 <sup>a</sup>	55.54 <sup>cdefghijklm</sup>
(BD-33)	17.10 <sup>ab</sup>	36.83 <sup>abcdefgh</sup>	4.85 <sup>abcd</sup>	78.58 <sup>ab</sup>	341.29 <sup>abcdef</sup>	57.70 <sup>bcdefghijk</sup>
LOCALIDAD						
Paso Morelos	15.34 <sup>b</sup>	32.89 <sup>b</sup>	4.42 <sup>b</sup>	78.42 <sup>a</sup>	324.29 <sup>b</sup>	50.55 <sup>a</sup>
Celaya	19.30 <sup>a</sup>	38.16 <sup>a</sup>	4.95 <sup>a</sup>	76.73 <sup>b</sup>	344.94 <sup>a</sup>	63.70 <sup>a</sup>

Según López (1990), la distribución foliar constituye un aspecto importante en la estructura del sistema aéreo de los cereales; la disposición espacial de las hojas y de los tallos, así como su orientación e inclinación, afectan la penetración de la radiación solar a través del dosel del cultivo, e influye en la fotosíntesis y rendimiento.

Estos contenidos de clorofila coinciden con lo reportado por Novoa y Villagrán (2002), Sainz y Echeverría (1998), quienes determinaron que un valor adecuado de clorofila para un buen rendimiento de grano de maíz debe ser superior a las 51 unidades SPAD.

El híbrido con mayor porcentaje germinativo es el (CML264 X CML311) (CML511) con un 100% y el (CML500 X CML498) (CML197) con un 99%, mientras que en la prueba de envejecimiento acelerado el híbrido con mayor porcentaje germinativo fue el (CLG420801 X CML1491) (CML495) con un 100% a pesar de haber estado sometido a estrés por altas temperatura y alta humedad relativa (Tabla 5.8).

Tabla 5.8 Comparación de medias (Tukey) para germinación (GE) y Envejecimiento acelerado (AE) en maíz.

Genotipos	Germinación (%)	Envejecimiento acelerado (%)
-----------	-----------------	------------------------------

(CML264 X CML311) (CLG2312)	98.00 <sup>ab</sup>	94.00 <sup>abcd</sup>
(CML500 X CML498) (CLG2312)	98.00 <sup>ab</sup>	86.50 <sup>abcde fgh</sup>
(CML486 X CML451) (CLG2312)	98.50 <sup>ab</sup>	94.00 <sup>abcd</sup>
(CML264 X CML311) (CML495)	94.50 <sup>ab</sup>	92.50 <sup>abcde</sup>
(CLG420801 X CML1491) (CML495)	90.50 <sup>abc</sup>	100.00 <sup>a</sup>
(CML500 X CML498) (CML495)	97.50 <sup>ab</sup>	95.00 <sup>abcd</sup>
(CML486 X CML451) (CML495)	98.00 <sup>ab</sup>	95.50 <sup>abc</sup>
(CML264 X CML311) (CML144)	93.50 <sup>ab</sup>	75.50 <sup>efgh</sup>
(CML420801 X 1491)) (CML144)	91.50 <sup>abc</sup>	85.50 <sup>abcde fgh</sup>
(CML500 X CML498) (CML144)	98.00 <sup>c</sup>	94.50 <sup>abcd</sup>
(CML486 X CML451) (CML144)	85.00 <sup>bc</sup>	83.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML264 X CML311) (CML197)	94.00 <sup>ab</sup>	72.50 <sup>h</sup>
(CML500 X CML498) (CML197)	99.00 <sup>a</sup>	91.00 <sup>abcde fg</sup>
(CML486 X CML451) (CML197)	85.00 <sup>bc</sup>	80.50 <sup>de fgh</sup>
(CML264 X CML311)(CML202)	96.50 <sup>ab</sup>	79.00 <sup>de fgh</sup>
(CLG420801 X CML1491)(CML202)	93.50 <sup>ab</sup>	94.50 <sup>abcd</sup>
(CML500 X CML498)(CML202)	92.00 <sup>ab</sup>	95.00 <sup>abcd</sup>
(CML486 X CML451)(CML202)	93.50 <sup>ab</sup>	73.50 <sup>gh</sup>
(CML264 X CML311)(CML247)	96.00 <sup>ab</sup>	81.50 <sup>bcde fgh</sup>
(CML500 X CML498)(CML247)	93.50 <sup>ab</sup>	86.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML486 X CML451)(CML247)	94.50 <sup>ab</sup>	79.50 <sup>cde fgh</sup>
(CML264 X CML311)(CML444)	94.50 <sup>ab</sup>	88.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML500 X CML498)(CML444)	92.50 <sup>ab</sup>	91.00 <sup>abcde fg</sup>
(CML486 X CML451)(CML444)	91.00 <sup>abc</sup>	86.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML264 X CML311)(CML448)	91.50 <sup>abc</sup>	87.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML500 X CML498)(CML448)	96.50 <sup>ab</sup>	87.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML486 X CML451)(CML448)	96.00 <sup>ab</sup>	92.00 <sup>abcde f</sup>
(CML264 X CML509)	97.00 <sup>ab</sup>	83.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML500 X CML498)(CML509)	93.50 <sup>ab</sup>	86.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML264 X CML311)(CML511)	100.00 <sup>a</sup>	89.00 <sup>abcde fgh</sup>
(CML500 X CML498)(CML511)	92.50 <sup>ab</sup>	77.00 <sup>de fgh</sup>
(CML500 X CML498) (CLG4208801)	90.50 <sup>abc</sup>	93.50 <sup>abcde</sup>
(CML495 X CML2312)(CLG4208801)	97.50 <sup>ab</sup>	99.00 <sup>ab</sup>
(CINCINATY)	96.00 <sup>ab</sup>	83.50 <sup>abcde fgh</sup>
(INIFAP H-374-C)	98.00 <sup>ab</sup>	74.00 <sup>gh</sup>
(RICA)	87.50 <sup>abc</sup>	36.00 <sup>h</sup>
(BIDA)	0.00 <sup>d</sup>	0.00 <sup>i</sup>

La certificación de la calidad fisiológica de semillas está basada en la prueba de germinación estándar, que se lleva a cabo en laboratorio bajo condiciones favorables de temperatura, humedad y sanidad, de tal modo que los resultados de la misma semilla ocasionalmente son menores a los porcentajes reportados por dicha evaluación (Hyatt y Tekrony, 2008).

## VI. CONCLUSIONES

- 1) Hubo efecto estadístico significativo entre genotipos para la mayoría de las variables agronómicas registradas a través de análisis combinado por localidad.
- 2) El efecto de localidad solo se presentó para días a floración masculina y femenina, altura de mazorca, prolificidad y longitud de mazorca.
- 3) Hubo efecto genotipo-ambiente para días a floración masculina y femenina, rendimiento de campo, número de hileras por mazorca y longitud de mazorca.
- 4) De los 36 materiales, 3 genotipos superaron 51 unidades SPAD, lo cual se concluye que estos genotipos tendrán un alto potencial para rendimiento de campo.
- 5) Con respecto a la calidad de semilla; el 98 % de los genotipos superaron el porcentaje de germinación de 85 % establecido por SNICS, se considera que estos materiales son de alta calidad.
- 6) Finalmente, en la prueba de envejecimiento acelerado de los 37 materiales evaluados, 28 genotipos se consideran de alto vigor ya que superaron el 80 % de plántulas normales después de ser sometidos a estrés por alta humedad relativa y alta temperatura.

## VII. LITERATURA CITADA

- Alejos, G.; Monasterio, P. y Rea, R. 2006. Análisis de la interacción genotipoambiente para el rendimiento de maíz en la región maicera del estado de Yaracuy, Venezuela. *Agron. Trop.* 56(3):369-384.
- American Association for the advancement of science. Pp 6.
- Andrade F H, L Echarte, R Rizzalli, A Della Maggiora, M Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42:1173-1179.
- Ávila, G. 1985. Using temperate germplasm in tropical maize improvement in Bolivia. In A. Brandolini & F. Salamani, eds. *Breeding strategies for maize production improvement in the tropics*, p. 133-141. Rome, FAO, Florence, Italy, Istituto Agronomico per L'Oltremare.
- Azofeira, J.G. & Jiménez, K.M. 1988. Evaluación de híbridos dobles y triples de maíz en ocho localidades de Costa Rica. In *Proc. 35 Reunión PCCMCA*, San Pedro Sula, Honduras, Apr. 1988. PCCMCA.
- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications.
- Bauman, L.F. 1981. Review of methods used by breeders to develop superior corn inbreds. In *Proc. 36th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.*, p. 199-208. Chicago, IL, USA, ASTA.
- Beal, W.J. 1880. Indian corn. *Mich. State Board Agr. Ann. Rpt.*, 19: 279-289.
- Beck, D.L., Vasal, S.K. & Crossa, J. 1990. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical early and intermediate maturity maize (*Zea mays* L.) germplasm. *Maydica*, 35: 279-285.
- Bewley, J. D.; Black, M. 1994. *Seeds: Physiology of development and germination.* Plenum Press, New York. p. 445.
- Bewley, J. D.; Black, M. 2006. *Seeds: Physiology of development and germination.* Plenum Press, New York. p. 445.
- Boletín de prensa núm. 328/15. Aguascalientes, AGS. Página 1/2. [En línea] Available at: [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015\\_08\\_8.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_08_8.pdf). [Último acceso: 24 mayo 2016].
- Borlaug, N. 1983. *Mejoramiento de Plantas y Producción Mundial de Alimentos.* S. I. Breeding. 3<sup>rd</sup> ed. Springer-Verlag New York Inc. 680 p.

- Brewbaker, J.L. 1974. Continuous genetic conversions and breeding of corn in a neutral environment. In *Proc. 29th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.*, p. 118-133. Washington, DC, ASTA.
- Brewbaker, J.L. 1984. Genotype-environment interactions and agrotechnology transfer. In G. Uehara, ed. *A multidisciplinary approach to agrotechnology transfer*, p. 29-42. Hawaii Inst. Trop. Agric. Res. Ext. Ser. 26.
- Brown, W.L. & Goodman, M.M. 1977. Races of corn. In G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, p. 49-88. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Castañón, G., Cruz, R., del Pino, R., Panzo, E., Montiel, M., Filobello, L. 2000. Selección de líneas de maíz para resistencia a sequía. *Agronomía Mesoamericana*. 11: 163-169.
- Chase, S.S. 1952. Production of homozygous diploids of maize from monoplastoids. *Agron. J.*, 44: 263-267.
- Chávez, A. J. L. 1995. Mejoramiento de plantas 2. Edit. Trillas. Ed. 1. Méx. D.F.
- Chávez, A.L. 1993. Mejoramiento de plantas 1. 2ª edición. Ed. Trillas. México, D.F. 73-74p.
- Cockerham, C.C. 1961. Implications of genetic variances in a hybrid breeding program. *Crop Sci.*, 1: 47-52.
- Córdova, H.S. 1984. *Formación de híbridos dobles y triples de maíz en base a familias de hermanos completos y sus implicaciones en la producción de semilla comercial*. Paper presented at the 15th National Maize and Sorghum Meetings, Maceio, Brazil, Jul. 1984.
- Córdova, H.S. 1990. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centro América. In *Proc. 36 Reunión PCCMCA*, San Salvador, El Salvador, Mar. 1990.
- Córdova, H.S., Mickelson, H. & López, R. 1996. *Annual research report 1995. Subtropical maize program*. Mexico, DF, CIMMYT.
- Crossa, J., Taba, S. & Wellhausen, E.J. 1990. Heterotic patterns among Mexican access of maize. *Crop Sci.*, 30: 1182-1190.
- Crossa, J., Vasal, S.K. & Beck, D.L. 1990. Combining ability estimates of CIMMYT's tropical late yellow maize germplasm. *Maydica*, 35: 273-278.



- Cuevas, C. 1996. Análisis de la calidad física de semillas forestales. In: Primer seminario Nacional sobre mejoramiento Genético y Semillas Forestales. Memorias. Mesen, F.; Rodriguez, Y.; Sanchez, A. Ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. p. 60.
- Darrah, L.L. 1986. Evaluation of population improvement in the Kenya maize breeding methods study. In B. Gelaw, ed. *To Feed Ourselves. Proc. 1st Eastern, Central and Southern Africa Reg. Maize Workshop*, p. 160-176. Mexico, DF, CIMMYT.
- Darrah, L.L., Eberhart, S.A. & Penny, L.H. 1972. A maize breeding methods study in Kenya. *Crop Sci.*, 12: 605-608.
- Darrah, L.L., Eberhart, S.A. and Penny, L.H. 1978. Six years of maize selection in Kitale Synthetic II, Ecuador 573, and Kitale Composite A using methods of the comprehensive breeding system. *Euphytica*, 27: 191-204.
- Darrah, L.L., Zuber, M.S. & Lillehoj, E.B. 1987. Yield and genetic control of aflatoxin in maize. In M.S. Zuber, E.B. Lillehoj & B.L. Renfro, eds. *Aflatoxin in maize*, p. 236-245. Mexico, DF, CIMMYT.
- Davis, R.L. 1927. Report of the plant breeder. In *Puerto Rico Agric. Exp. Sta. Ann. Rpt. 1927*, p. 14-15.
- Devlin, R. M. 1982. Fisiología vegetal. Ed. Omega, S.A. Barcelona. pp. 56-324.
- Di Marco, O.N., Llarregui, L., Aello, M.S., Arias, S. Y Gutierrez, L. 2007. Calidad nutritiva de silajes de sorgo silero normal y nevadura marrón. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 27: 1-10.
- Duvick, D.N. 1996. Plant breeding, an evolutionary concept. *Crop Sci.*, 36: 539-548.
- East, E.M. 1908. Inbreeding in corn. In *Connecticut Agric. Exp. Sta. Rpt. 1907*, p. 419-428.
- East, E.M. 1936. Heterosis. *Genetics*, 21: 375-397.
- Eberhart, S.A. & Russell, W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6: 36-40.
- Eberhart, S.A. 1969. Yield stability of single-cross genotypes. In *Proc. 24th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.*, p. 22-35. Chicago, IL, USA, ASTA.

- Eberhart, S.A., Salhuana, W., Sevilla, R. & Taba, S. 1995. Principles for tropical maize breeding. *Maydica*, 40: 339-355.
- Efron, Y. 1985. Use of temperate and tropical germplasm for maize breeding in the tropical area of Africa. In A. Brandolini & F. Salamani, eds. *Breeding strategies for maize production improvement in the tropics*, p. 105-131. Rome, FAO, Florence, Italy, Istituto Agronomico per L'Oltremare.
- FAO, Organización de las Naciones unidas para la alimentación y la agricultura. 2016. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s13.htm#TopOfPage>. [Ultimo acceso: 25 mayo 2016].
- García, E. 1988, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México, Offset Larios, 217 p.
- Giraldo, G, Méndez, M. & Franco, J.B. 2000. Manual para el manejo pre y post cosecha de semilla producida de manera artesanal bajo los modelos de pequeñas empresas de semillas, Tegucigalpa, Honduras: Graficentro. p 59.
- Goodman, M.M. & Brown, W.L. 1988. Races of corn. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, p. 39-80. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Goodman, M.M. 1985. Exotic maize germoplasm: status, prospects and remedies. *Iowa State J. Res.*, 59: 497-527.
- Goodman, M.M. 1992. Choosing and using tropical corn germoplasm. In *Proc. 47th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.* Chicago, IL, USA, ASTA.
- Gutiérrez del R., E., Espinoza B., A., Palomo G., A., Lozano G., J.J., Antuna G, O. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27 (Núm. Especial 1):7-11
- Gutiérrez-Rodríguez M, Reynolds MP, Larque-Saavedra A. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. II. Traits associated with genetic gains in yield. *Field Crops Research* 66:51-62.
- Hallauer A R, M J Carena, J B Miranda. 2010. Quantitative Genetics in Maize
- Hallauer A R, M J Carena, J B Miranda. 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 3rd ed. Springer-Verlag New York Inc. 680 p.

- Hallauer, A.R. & Miranda, J.B. 1988. *Quantitative genetics in maize breeding*, 2nd ed. Ames, IA, USA, Iowa State University Press.
- Hallauer, A.R. and Miranda, J.B. 1981. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 468 p.
- Hallauer, A.R. 1970. Zygote selection for the development of single-cross hybrids in maize. *Adv. Front. Plant Sci.*, 25: 75-81.
- Hallauer, A.R. 1975. Relation of gene action and type of testers in maize breeding procedures. In *Proc. 30th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.*, p. 150-165. Chicago, IL, USA, ASTA.
- Hallauer, A.R. 1990. Germplasm sources and breeding strategies for line development in the 1990s. In *Proc. 45th Ann. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.*, p. 64-79. Chicago, IL, USA, ASTA.
- Hallauer, A.R. 1992. Recurrent selection in maize. *Plant Breed. Rev.*, 9: 115-179.
- Hallauer, A.R., Russell, W.A. & Lamkey, K.R. 1988. Corn breeding. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, p. 463-564. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Han, G.C., Vasal, S.K., Beck, D.L. & Elias, E. 1991. Combining ability of inbred lines derived from CIMMYT maize (*Zea mays* L.) germplasm. *Maydica*, 36: 57-64.
- Heisey, P.W. & Smale, M. 1995. *Maize technology in Malawi: a green revolution in the making*. CIMMYT Research Report No. 4. Mexico, DF, CIMMYT.
- Horner, E.S., Lutrick, M.C., Chapman, W.H. & Martin, F.G. 1976. Effect of recurrent selection for combining ability with a single cross tester in maize. *Crop Sci.*, 16: 5-8.
- Hull, F.H. 1945. Recurrent selection and specific combining ability in corn. *J. Am. Soc. Agron.*, 37: 134-145.
- Hyatt, J. E., Tekrony, D. M. 2008. Factors influencing the saturated salt accelerated aging test in tomato and onion. *Seed Science and Technology*. 36(3): 534-545.
- INEGI, 2012. Censo de Población y Vivienda. [En línea] Available at: <http://www.inegi.org.mx> [Último acceso: 25 mayo 2016].

- Inghelandt, D., A. Melchinger, C. Lebreton, and B. Stich. 2010. Population structure and genetic diversity in a commercial maize breeding program assessed with SSR and SNP markers. *Theoretical & Appl. Genet.* 120:1289-1299.
- ISTA, International Seed Testing Association 1991. En: *Tree and Shrub Seed Handbook*. Zurich, Switzerland, p. 180.
- ISTA, International Seed Testing Association. 2005. *International Rules for Seed Testing*. Zurich, Switzerland, p. 243.
- ISTA, International Seed Testing Association. 2005. *International Rules for Seed Testing*. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.
- ISTA, International Seed Testing Association. 2012. *Tree and Shrub Seed Handbook*. En: International Seed Testing Association.
- Jenkins, M.T. 1934. Methods of estimating the performance of double crosses in corn. *J. Am. Soc. Agron.*, 26: 199-204.
- Jenkins, M.T. 1935. The effects of inbreeding and of selection within inbred lines of maize upon the hybrids made after successive generations of selfing. *Iowa State Coll. J. Sci.*, 9: 429-450.
- Jenkins, M.T. 1978. Maize breeding during the development and early years of hybrid maize. In D.B. Walden, ed. *Maize breeding and genetics*, p. 13-28. New York, NY, USA, J. Wiley and Sons.
- Jones, D.F. 1918. The effects of inbreeding and cross-breeding upon development. *Conn. Agric. Exp. Sta. Bull.*, 207: 5-100.
- Jugenheimer, R. W., 1988. *Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción*
- Jugenheimer, R.W. 1985. *Corn improvement, seed production and uses*. Malabar, FL, USA, Robert E. Krieger Publishing.
- Khehra, A.S., Dhillon, B.S., Saxena, V.K., Kapoor, W.R., Malhotra, V.V., Pal, S.S., Dey, S.K. & Malhi, N.S. 1986. Breeding maize for adaptation in winter season. In B. Napomopeth & S. Subhadrabandu, eds. *New Frontiers in Breeding Researches, Int. SABRAO Cong.*, p. 319-330. Bangkok, Kasetsart University.
- Kim, S.K. & Ajala, S.O. 1996a. Combining ability of tropical maize germplasm in West Africa I. Open pollinated varieties. *Maydica*, 41: 127-134.

- Kim, S.K. & Ajala, S.O. 1996b. Combining ability of tropical maize germplasm in West Africa II. Tropical versus temperate x tropical origins. *Maydica*, 41: 135-141.
- Kim, S.K. 1990. Breeding of temperate maize germplasm for tropical adaptation. In C. De Leon, G. Granados & M.D. Read, eds. *Proc. 4th Asian Reg. Maize Workshop*, p. 208-227. Islamabad, PARC, Bangkok, CIMMYT-ARMP.
- Krug, C.A., Viegas, C.P. & Paolieri, L. 1954. Híbridos comerciais de milho. *Bragantia*, 3: 357.
- Lee, M. 1994. Inbred lines of maize and their molecular markers. In M. Freeling & V. Walbot, eds. *The maize handbook*, p. 423-432. New York, NY, USA, Springer-Verlag.
- Lima, M., Miranda, J.B. & Boller Gallo, P. 1984. Inbreeding depression in Brazilian populations of maize (*Zea mays*L.). *Maydica*, 29: 203-215.
- Lonnquist, J.H. & Gardner, C.O. 1961. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implications in breeding procedures. *Crop Sci.*, 1: 179-183.
- López B. L. 1990. Cultivos Herbáceos. Vol. 1 cereales. Ed. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 539p.
- Luna F M, R Gutiérrez S. 1993. Efectos de la selección familiar sobre la floración y componentes de rendimiento en maíz. *Rev. Fito-tec. Mex.* 16:151-160.
- Miranda, J.B. & Vencovsky, R. 1984. Analysis of a diallel cross among open-pollinated varieties of maize (*Zea mays*L.). *Maydica*, 29: 217-234.
- Moll, R.H., Salhuana, W.S. & Robinson, H.F. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.*, 2: 197-198.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3ra. ed. UNAM. México, D. F. 393 p.
- Moreno, M. E., G. J. Ramírez, R. M. Mendoza, and R. G. Valencia. 1988. Comparison of mexican maize races stored under adverse humidity and temperature. In: Recent Advances in the Conservation of Genetic Resources. Proc. The Global Germplasm Workshop. CIMMYT. El Batán. México. pp: 95-98
- Naspolini Filho, V., Gómes e Gama, E.E., Vianna, R.T. & Moro, J.R. 1981. General and specific combining ability for yield in a diallel cross among 18 maize populations (*Zea mays* L.). *Braz. J. Genet.*, 4: 571-577.

- Novoa R, Villagran A. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica* 62 (1):165-171
- Núñez, H. G., G.F. Contreras y C.R. Faz. 2004. Producción, composición química y digestibilidad in vitro de híbridos de maíz de origen tropical y templado en la región árida de México. *Revista de Investigación, Difusión Científica y Agropecuaria. AIA.* 8(1):63-72.
- Ortiz, C. J. 1993 El fitomejoramiento como disciplina científica. *Ciencia. Rev. Academia de la investigación científica.* México. Vol 444. Pp. 85-94.
- Ospina, M. J. E. 2002. Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Unidad de publicaciones de la facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. p. 230.
- Pajic, Z., Popovic, R., and, Sataric, I. 1998. Effect of endosperm type on seed germination in maize (*Zea mays* L.). *Selekcija i Semearstvo.* 5:69-72.
- Paliwal, R.L. & Sprague, E.W. 1981. Improving adaptation and yield dependability in maize in the developing world. Mexico, DF, CIMMYT.
- Paliwal, R.L. 1986. CIMMYT's expanded maize improvement program. *In* R.N. Wedderburn & C. De Leon, eds. *Proc. 2nd Asian Reg. Maize Workshop*, Indonesia, p. 125-140. Mexico, DF, CIMMYT.
- Pandey, S. & Gardner, C.O. 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron.*, 48: 1-87.
- Paterniani, E. & Lonquist, J.H. 1963. Heterosis in interracial crosses of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, 504-507.
- Paterniani, E. 1985. State of maize breeding in tropical areas of South America. *In* A. Brandolini & F. Salamani (eds). *Breeding strategies for maize production improvement in the tropics*, p. 329-339. Rome, FAO, Florence, Italy, Istituto Agronomico per L'Oltremare.
- Paterniani, E. 1990. Maize breeding in the tropics. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 9: 125-154.
- Perry, D. A. 1972. Seed vigour and field establishment. *Hort. Abstr.* 42:334-342.
- Poehlman, J.M. 1987. *Breeding field crops*, 3rd ed. Westport, CT, USA, AVI Publishing Company.

- Rawlings, J.O. & Thompson, D.L. 1962. Performance level as the criterion for the choice of maize testers. *Crop Sci.*, 2: 217-220.
- Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. A. G. T. Editor, S. A. México, D.F. 460 p.
- Reynolds MP, Delgado MI, Gutiérrez-Rodríguez M, Larque-Saavedra A. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research* 66: 37-50.
- Russell, W.A. & Eberhart, S.A. 1975. Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent and testcross selection programs. *Crop Sci.*, 15: 1-4.
- Russell, W.A., Eberhart, S.A. & Vega, U.A. 1973. Recurrent selection for specific combining ability in two maize populations. *Crop Sci.*, 13: 257-261.
- SAGARPA, 2015. Encuesta nacional agropecuaria (ENA) 2014 información relevante
- SAGARPA. 2007. Ley sobre producción, certificación y comercio de semillas. [En línea] Available at: <http://snics.sagarpa.gob.mx/somos/documents/ley%20de%20semillas.pdf>. [Ultimo acceso 25 mayo 2016].
- Sainz R.H., Echeverria H.E. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento del grano. *Revista de la Facultad de Agronomía* 103(1): 37-44.
- Salhuana, W. & Sevilla, R., eds. 1995. *Latin American Maize Project (LAMP), stage 4 results from homologous areas 1 and 5*. ARS Special Publication. Beltsville, MD, USA.
- Sánchez, G. & Goodman, M.M. 1992. Relationship among Mexican and some North American and South American races of maize. *Maydica*, 37: 41-51.
- Shull, G.H. 1908. The composition of a field of maize. *Am. Breed. Assoc. Rep.*, 4: 296-301.
- Shull, G.H. 1909. A pure-line method of corn breeding. *Am. Breed. Assoc. Rep.*, 5: 51-59.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2014. Agricultura Producción Anual. [En línea] Available at: <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>. [Ultimo acceso: 25 mayo 2016].

- Singh, J. 1986. Country reports. India maize production and research. *In* R.N. Wedderburn & C. De Leon, eds. *Proc. 2nd Asian Reg. Maize Workshp*, Indonesia, p. 48-69. Mexico, DF, CIMMYT.
- Singh, N.N. 1995. Hybrid maize research and development in India. *In* M. Rai & S. Mauria, eds. *Hybrid research and development*, p. 37-44. New Delhi, Indian Society of Seed Technology, IARI.
- Smith, J.S.C., Smith, O.S., Wright, S., Wall, S.J. & Walton, M. 1992. Diversity of US hybrid maize germplasm as revealed by restriction fragment length polymorphism. *Crop Sci.*, 32: 598-604.
- Sprague, G.F. & Eberhart, S.A. 1977. Corn breeding. *In* G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, p. 305-362. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Sprague, G.F. & Federer, W.T. 1951. A comparison of variance components in corn yield trials: II error, year x variety, location x variety, and variety components. *Agron. J.*, 43: 535-541.
- Sprague, G.F. & Tatum, L.A. 1942. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.*, 34: 923-932.
- Sprague, G.F. 1946. Early testing of inbred lines of corn. *J. Am. Soc. Agron.*, 38: 108-117.
- Sprague, G.F. 1955. Corn breeding. *In* G.F. Sprague, ed. *Corn and corn improvement*, p. 221-292. New York, NY, USA, Academic Press.
- Stadler, L.J. 1944. Gamete selection in corn breeding. *J. Am. Soc. Agron.*, 36: 988-989.
- Stringfield, G.H. 1974. *Developing heterozygous parent stocks for maize hybrids*. DeKalb, IL, USA, DeKalb Ag. Research.
- Stuber, C.W. 1992. Biochemical and molecular markers in plant breeding. *Plant Breed. Rev.*, 9: 37-61.
- Taba, S.;Díaz, J.; Aragón, C.F., Rincón, S.F.; Hernández, C.J.M. y Krakowsky, M. 2006. Evaluation of Zapalote Chico accessions for conservation and enhancement. *Maydica*. 51: 209-218.



- Tanaka, A. y Yamaguchi. 1972. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. 124 p.
- Tanksley, S.D. & Nelson, J.C. 1996. Advanced backcross QTL analysis: a method for the simultaneous discovery and transfer of valuable QTLs from unadapted germplasm into elite breeding lines. *Theor. Appl. Genet.*, 92: 191-203.
- Terenti O. 2004. Calidad de semilla que implica y como evaluarla EE.A. INTA San Luis, informativo Rural 1(2). [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar).
- USDA, United States Department of agriculture. 2001. *Forest Service Data and information Systems*. [En línea] Available at: <http://www.lanacion.com.ar/1884993-se-desplomo-en-chicago-el-maiz-por-el-informe-del-usda>. [Ultimo acceso: 24 mayo 2016].
- USDA, United States Department of agriculture. 2015. *Forest Service Data and information Systems*. [En línea] Available at: <http://www.lanacion.com.ar/1884993-se-desplomo-en-chicago-el-maiz-por-el-informe-del-usda>. [Ultimo acceso: 24 mayo 2016].
- Vasal, S.K. & De León, C. 1994. Current status and strategy for promoting hybrid maize technology. In R.S. Paroda & M. Rai, eds. *Hybrid research and development needs in major cereals in the Asia-Pacific region*, p. 31-45. Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Vasal, S.K. 1986. Approaches and methodology in the development of QPM hybrids. In *Anais do 15 Congresso Nacional de Milho e Sorgo*, Brasilia, p. 419-430. Documentos 5. Brasilia, EMBRAPA-CNPMS.
- Vasal, S.K., Beck, D.L. & Crossa, J. 1987. *CIMMYT research highlights 1986*. Mexico, DF, CIMMYT.
- Vasal, S.K., Dhillon, B.S. & Srinivasan, G. 1995. Changing scenario of hybrid maize breeding and research strategies to develop two-parent hybrids. In M. Rai & S. Mauria, eds. *Hybrid research and development*, p. 19-36. New Delhi, Indian Society of Seed Technology, IARI.
- Vasal, S.K., Dhillon, B.S. & Zhang, S.H. 1995. Improvement in selfed and random-mated generations of four subtropical maize populations through S3 recurrent selection. *Euphytica*, 83: 1-8.

- Vasal, S.K., Dhillon, B.S., Srinivasan, G., McLean, S.D., Crossa, J. & Zhang, S.H. 1995a. Effect of S3 recurrent selection in four tropical maize populations on their selfed and randomly mated generations. *Crop Sci.*, 35: 697-702.
- Vasal, S.K., Dhillon, B.S., Srinivasan, G., Zhang, S.H. & McLean, S.D. 1995b. Recurrent selection for inbreeding-stress tolerance in four intermediate-maturity maize populations. *Maydica*, 40: 159-164.
- Vasal, S.K., Srinivasan, G., Han, G.C. & González, F.C. 1992a. Heterotic patterns of eighty-eight white subtropical CIMMYT maize lines. *Maydica*, 37: 319-327.
- Vasal, S.K., Srinivasan, G., Pandey, S., Córdova, H.S., Han, G.C. & González, F. 1992b. Heterotic patterns of ninety-two white tropical CIMMYT maize lines. *Maydica*, 37: 259-270.
- Vianna, R.T., Gama, E.E.G., Napolini Filho, V., Moro, J.R. & Vencovsky, R. 1982. Inbreeding depression of several introduced populations of maize (*Zea mays* L.). *Maydica*, 27: 151-157.
- Villena, D.W. 1975. *Summary of results 1974 PCCMCA cooperative yield trials*. Mexico, DF, CIMMYT.
- Wellhausen, E.J. 1978. Recent developments in maize breeding in the tropics. In D.B. Walden, ed. *Maize breeding and genetics*, p. 59-84. New York, NY, USA, J. Wiley & Sons.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CARGA POBLACIONAL DE TRIPS (*Frankliniella occidentalis* Pergande) Y SU  
CORRELACION CON CARACTERES AGRONOMICOS EN GENOTIPOS DE MAÍZ**

**QUE PRESENTA**

**HUGO DANIEL CABRERA LEÓN**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: M.C. LUIS PATRICIO GUEVARA ACEVEDO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO DE 2017**

La tesis “Carga poblacional de trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) y su correlación con caracteres agronómicos en genotipos de maíz”, fue realizada por el alumno **HUGO DANIEL CABRERA LEÓN**, bajo la dirección del Dr. Mariano Mendoza Elos y Co-dirección del M.C. Luis Patricio Guevara Acevedo y asesoría del Dr. Francisco Cervantes Ortiz, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Mariano Mendoza Elos**

**Cédula: 3998828**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_

**M.C. Luis Patricio Guevara Acevedo**

**Cédula: 08766006**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez**

**Cédula: 8612050**

## **Dedicatoria**

En especial a Dios, por darme la vida y brindarme todos los medios necesarios para concluir esta etapa de mi vida y por la fortaleza que me brindo para poder sacar adelante mis estudios.

### **A MIS PADRES:**

Artemio Cabrera Castillo

Celina León Peña

Por todo el apoyo moral y económico que me brindaron a lo largo de todos mis estudios a pesar de todos los momentos difíciles que he pasado en la vida, por toda su comprensión y paciencia que me dieron cuando los necesite. Por creer en mí, por ser esa fortaleza en mi vida y ser el motivo de mi superación; les dedico este trabajo.

### **A MIS HERMANOS:**

Israel Cabrera León

Elena Guadalupe Cabrera León

Anahí Cabrera León

Por apoyarme en todo momento y situaciones difíciles de la vida, gracias a todos.

## **AGRADECIMIENTOS**

AL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE y CONACyT:

Por darme todas las herramientas necesarias y posibles para mi formación y así poder culminar mis estudios de Maestría en Ciencias, para así lograr ser un profesional comprometido y competitivo ante el campo laboral. Gracias a todo el personal del ITR por darme la mano y brindarme su confianza incondicional.

A MI DIRECTOR Y ASESORES:

Gracias por darme todo su apoyo incondicional para poder llevar a cabo este trabajo de investigación, a ellos gracias por todas las atenciones que necesite durante toda mi carrera y así poder llegar a ser un profesional con los conocimientos necesarios en el campo laboral. Gracias por sus consejos que me sirvieron de mucho en mi desarrollo personal y académico. Gracias por ser mis amigos a todos.

Dr. Mariano Mendoza Elos

Dr. Luis Patricio Guevara Acevedo

Dr. Francisco Cervantes Ortiz

Dr. Gilberto Rodríguez Pérez

A todos mis compañeros del Instituto Tecnológico de Roque y amigos que de una u otra forma me han apoyado en la realización de este trabajo siempre estaré agradecido por el apoyo que me brindaron, gracias.

## ÍNDICE

Índice	i
Índice de tablas	iii
Índice de figuras	v
Resumen	vi
Summary	viii
Capítulo I. Introducción general	1
1.1. Objetivos	6
1.1.1 Objetivo general	6
1.1.2 Objetivos específicos	6
1.2 Hipótesis	6
Capítulo II. Fluctuación poblacional de trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> pergande) en genotipos de maíz	7
2.1 Introducción	11
2.2 Materiales y métodos	14
2.3 Resultados y discusión	15
2.4 Conclusiones	28
2.5 Literatura citada	29
Capítulo III. Fluctuación poblacional de trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> pergande) y su correlación con caracteres de rendimiento en genotipos de maíz	34

3.1 Introducción	38
3.2 Materiales y métodos	39
3.3 Resultados y discusión	42
3.4 Conclusiones	53
3.5 Literatura citada	54
IV. Conclusiones generales	57
V. Literatura citada	59



## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPITULO II

		Pág.
Tabla 2.1	Genotipos de maíz utilizados en la investigación. Roque, Celaya, Gto.	14
Tabla 2.2	Matriz de coeficientes de correlación entre las variables temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), precipitación acumulada (mm) y densidad de población de trips por planta en maíz	17

### CAPITULO III

Tabla 3.1	Genotipos de maíz utilizados en la investigación. Roque, Celaya, Gto.	40
Tabla 3.2	Cuadrados medios para la fluctuación de trips en maíz. Roque, Celaya, Gto.	43
Tabla 3.3	Comparación de medias para la fluctuación de trips en maíz. Roque, Celaya, Gto. 2015.	44
Tabla 3.4	Comparación de medias para densidad de trips en diferentes muestreos. Roque, Celaya, Gto.	45
Tabla 3.5	Análisis combinado a través de fechas de siembra para rendimiento de campo y sus componentes en genotipos de maíz. Roque, Celaya, Gto	46
Tabla 3.6	Cuadrados medios del análisis combinado para rendimiento y sus componentes en genotipos de maíz. Roque, Celaya, Gto.	47
Tabla 3.7	Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en genotipos de maíz. Roque, Celaya, Gto.	49

Tabla 3.8	Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en genotipos de maíz. Roque, Celaya, Gto.	50
Tabla 3.9	Comparación de medias para fechas en sus componentes de rendimiento en genotipos de maíz. Roque, Celaya, Gto.	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO II.

		Pág
		.
<b>Figura 2.1</b>	Fluctuación poblacional de trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ) en el cultivo de maíz relacionado con las condiciones climatológicas del ciclo primavera-verano 2015. Roque, Celaya, Gto.	19
<b>Figura 2.2</b>	Fluctuación poblacional de trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ) en el cultivo de maíz relacionado con las condiciones climatológicas de los ciclo verano-otoño 2015. Roque, Celaya, Gto.	21
<b>Figura 2.3</b>	Fluctuación poblacional de trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ) en el cultivo de maíz relacionado con las condiciones climatológicas de los ciclo primavera-verano 2016. Roque, Celaya, Gto.	24
<b>Figura 2.4</b>	Fluctuación poblacional de trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> ) en el cultivo de maíz relacionado con las condiciones climatológicas de los ciclo verano-otoño 2016. Roque, Celaya, Gto.	27

### CAPITULO III.

<b>Figura 3.1</b>	Incidencia de trips ( <i>Frankliniella occidentalis</i> pergande) relacionado con el rendimiento en genotipos de maíz en primavera-verano 2015 y 2016. Roque, Celaya, Gto.	52
-------------------	--	----

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la fluctuación poblacional de trips y correlacionar los con el de rendimiento y sus componentes en genotipos de Maíz para el Bajío de México, durante los años 2015 y 2016, se estableció un trabajo en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, donde se utilizó un diseño bloques completos al azar con 10 tratamientos (8 líneas S4, 1 testigo comercial 30P16 Pioneer<sup>®</sup> y un criollo Tuxpeño), con 4 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por 4 surcos de 5 m de longitud y separados a 0.75 m y la parcela útil fueron los dos surcos centrales. Para evaluar la incidencia de trips se realizaron muestreos desde la emergencia del cultivo y hasta los 40 d de edad de la planta, estos se realizaron 3 veces por semana mediante un aspirador manual y se contabilizaron con ayuda de un estereoscopio. Por otro lado, se determinaron caracteres agronómicos y de rendimiento en los genotipos evaluados. Se realizó un análisis de correlación para las variables de temperatura, precipitación y densidad de trips y un análisis de varianza para el resto de los caracteres. Los resultados mostraron que existe una fuerte variación en la densidad poblacional de *Frankliniella occidentalis* entre los genotipos evaluados; El material genético que menor incidencia presentó para el año 2015 para los ciclos de siembra P/V y V/O fue la línea TNM 87 con un promedio de 4 y 2 trips por planta respectivamente. Por otro lado en 2016 los materiales que mostraron menor incidencia para el ciclo P/V fueron las líneas TNM 120, TNM 106 y TNM 35 con un promedio de 3.5 trips por planta, mientras que en el ciclo V/O la línea TNM 43 y el híbrido 30P16 Pioneer<sup>®</sup> fueron los más resistentes a la presencia de trips con un promedio de 2.5 trips por planta. Mientras que el análisis de correlación entre las variables temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y la densidad de población de trips en los 10 genotipos de maíz para los ciclos estudiados (P/V), (V/O) 2015 y (P/V), (V/O) 2016; no se observó relación entre las variables en estudio con la densidad de *F. occidentalis*. Finalmente, para el año 2015 la línea TNM 87 y el híbrido 30P16 Pioneer<sup>®</sup> presentaron los valores más bajos de incidencia con un promedio de 2.09 trips, siendo estos los más resistentes a la

presencia de trips, El híbrido 30P16 Pioneer® y el criollo Tuxpeño, presentaron el mejor comportamiento agronómico aunque la carga poblacional de trips fue alta.

**Palabras clave.** *Zea mays, incidencia de trips, fluctuación poblacional, caracteres agronómicos, humedad relativa, temperatura, precipitación.*

## SUMMARY

With the objective of evaluate the population fluctuation of trips and to correlate them with that of yield and its components in maize genotypes for the Bajío de México, during the years 2015 and 2016, the experiment was established in the experimental field of the Technological Institute of Roque, where a randomized complete block design was used with 10 treatments (8 S4 lines, 1 commercial Pioneer® 30P16 and one native criollo Tuxpeño) with 4 replicates, each experimental unit consisted of 4 rows of 5 m in length and separated to 0.75 m and the useful plot were the two central row. To evaluate the incidence of trips, samples were taken from the emergence of the crop and up to 40 d of plant age, which were performed 3 times a week by a hand aspirator and counted with the help of a stereoscope. On the other hand, agronomic and yield characteristics were determined in the evaluated genotypes. A correlation analysis was performed for the variables of temperature, precipitation and trips density and an analysis of variance for the rest of the characters. The results showed that there is a strong variation in the population density of *Frankliniella occidentalis* among the evaluated genotypes; The genetic material that presented the lowest incidence for the year 2015 for the P/V and V/O planting cycle was the TNM 87 line with an average of 4 and 2 trips per plant respectively. On the other hand, in 2016 the materials that showed the lowest incidence for the P/V cycle were the lines TNM 120, TNM 106 and TNM 35 with an average of 3.5 trips per plant, while in the V/O cycle the TNM 43 and the Pioneer 30P16 hybrid were the most resistant to the presence of trips with an average of 2.5 trips per plant. While the correlation analysis between the variables maximum temperature, minimum temperature, precipitation and population density of trips in the 10 maize genotypes for the cycles studied (P/V), (V/O) 2015 and (P/V ), (V/O) 2016; no relationship was observed between the variables under study with the density of *F. occidentalis*. Finally, for the year 2015 the line TNM 87 and the hybrid 30P16 Pioneer® presented the lowest values of incidence with an average of 2.09 trips, being these the most resistant to the presence of trips, the hybrid 30P16

Pioneer® and the native criollo Tuxpeño , presented the best agronomic behavior although the population burden of trips was high.

**Keywords:** *Zea mays, incidence of thrips, population fluctuation, agronomic characteristics, relative humidity, temperature, precipitation.*

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz es el cereal más importante en el mundo y el principal grano que se utiliza como alimento en los países de México, Centroamérica, región Andina, Este y Sur de África y China. La Producción Mundial de Maíz del año pasado fue de 968.06 millones de toneladas. Los 1065.11 millones de toneladas estimados este año podrían significar un incremento de 97.06 millones de toneladas en la producción de maíz alrededor del mundo (Producción mundial maíz, 2017).

El maíz (*Zea mays* L.) en México es el cultivo más importante, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social. Anualmente se producen poco más de 23 millones de toneladas de maíz y ocupa el octavo lugar en su producción mundial y de acuerdo con el SIAP, México ha incrementado ligeramente su producción (SIAP, 2015), con un rendimiento de las 3.2 t ha<sup>-1</sup>, siendo el rendimiento de temporal de 2.2 t ha<sup>-1</sup> y el de riego de 7.5 t ha<sup>-1</sup> (Financiera rural, 2014). Este grano se produce en dos ciclos agrícolas; Primavera-Verano con 6.5 millones de hectáreas que representan 86.84 % y otoño-invierno con un millón de hectáreas que representa 13.15 % de la superficie maicera, con más de 7.5 millones de hectáreas de las cuales el 82.91 % son en condiciones de temporal y el 17.08 % en condiciones de riego que representan 39 % de la superficie agrícola nacional y 63 % de la superficie sembrada con granos y oleaginosas; contribuye con el 8 % del producto interno de la agricultura y es el cultivo que más fuerza de trabajo ocupa (SIAP, 2014).

Adicionalmente, alrededor del 90 % de la producción es de maíz blanco y se destina al consumo humano, desde 2009, los precios de los granos básicos, particularmente el maíz, registran aumentos a nivel de consumidor final, principalmente en la tortilla. La población mexicana, en general el 47 % de su energía diaria proviene de la tortilla, se consumen 250 kg de maíz per cápita al año (Miramontes, 2012). En los últimos años la producción de este grano ha apoyado el abasto de alimentos; sin



embargo, la producción-consumo es deficitaria y colocan a México en una situación vulnerable (SIAP, 2011).

Los principales estados productores son: Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Chiapas, Guerrero y Veracruz (SIAP-SAGARPA, 2014). En el estado de Guanajuato en el ciclo Primavera-Verano 2014 se sembraron 112,561.66 hectáreas bajo riego y 263,489.00 hectáreas en temporal; con una producción de 990,924.99 y 427,587.47 toneladas, respectivamente (SIAP, 2015).

Los factores que afectan la producción de maíz son la poca o nula tecnología, deficiencias nutricionales, control de plagas y enfermedades entre otras. En el Estado de Guanajuato una de las principales plagas que afectan la producción de maíz son los trips (*Frankliniella occidentalis*) y el gusano cogollero (*Spodoptera fugiperda*) con daños de hasta 60% de la producción.

Por otro lado, para las épocas de siembra del ciclo Primavera-Verano que es el ciclo de mayor superficie de siembra; las condiciones ambientales de los meses de abril, mayo y junio se caracterizan por períodos largos de sequía y altas temperaturas, lo que hacen del trips (*Frankliniella occidentalis*) la plaga de mayor importancia en el cultivo de maíz (Castresona *et al.*, 2008).

Los daños provocados consisten en el raspado del tejido epitelial, haciendo aflorar jugos del vegetal que posteriormente succionan para alimentarse. Producto de estas raspaduras se producen finas "cicatrices" blanquecinas, que al aumentar en cantidad hacen variar el color de los folíolos y/o cotiledones del verde al plomizo, ceniciento o plateado. Esta sintomatología le da al cultivo una apariencia plateada, la cual puede apreciarse desde lejos, sobre todo cuando se da la presencia de una alta población de individuos. Los ataques y los daños suelen ser muy rápidos, y cuando los cultivos

no son adecuadamente observados después de su emergencia la evidencia de mala implantación de los mismos normalmente se adjudican a otros factores, como problemas de semilla, terreno, sembradora, falta de humedad, etc. Aun cuando se disponga originalmente de un exceso de semillas a la siembra, también el ataque reviste gravedad por la detención del crecimiento provocado en las plántulas que no llegaron a morir (Cesaveg, 2007).

El control químico se ha utilizado ampliamente para el control de estas plagas, sin embargo ésta práctica tiene entre sus principales desventajas, la destrucción de la fauna benéfica y el desarrollo de resistencia a los químicos utilizados. Además para su manejo se han utilizado diversos enemigos naturales con excelentes resultados. Otra herramienta que puede ser utilizada es el uso de variedades de plantas resistentes, las que pueden reducir la velocidad de la tasa de incremento de las poblaciones de estas plagas o incrementar la habilidad de la planta para tolerar el ataque de estas (Bielza *et al.*, 1997).

Una de las herramientas útiles para el control de plagas es determinar la fluctuación población, mediante muestreos durante los periodos críticos del cultivo, esto ayuda para tomar una decisión de que control utilizar para combatir la plaga ya sea que existan niveles bajos y se utilice un control biológico o si la población ya sobrepaso el umbral económico proceder a utilizar un control químico; otro factor son las condiciones ambientales como la temperatura, la humedad y la precipitación, ya que favorecen o disminuyen la población de la plaga.

En México la generación de cultivares mejorados se ha desarrollado principalmente mediante selección, cruza y retrocruza limitada de maíces criollos en los campos experimentales de los centros de investigación (Márquez *et al.*, 2000).

Aun cuando en el maíz hay una gran diversidad genética, el número de genotipos identificados como posibles fuentes de resistencia a los insectos de importancia económica, no es muy grande. Por lo tanto, la búsqueda de genotipos resistentes debe ser conducida de manera secuencial y sistemática, en la cual el primer germoplasma a ser evaluado debería ser el más selecto, de altos rendimientos, agrónomicamente deseable y ampliamente adaptado. Si después de seleccionado este germoplasma no se encuentran fuentes de resistencia, se deberán evaluar materiales no mejorados. Esto debería incluir variedades locales de maíces *criollos*, colecciones de bancos de germoplasma, germoplasma de otros programas de mejoramiento y aún de cultivares no adaptados.

La transformación exitosa para resistencia a los insectos se basó en el gen de la toxina *Bt* del *Bacillus thuringiensis*, una bacteria que ocurre comúnmente en el suelo y que produce una serie de endotoxinas tóxicas a un amplio grupo de especies de insectos, incluyendo varios barrenadores del maíz. Estas toxinas son denominadas proteínas *Cry* y están codificadas por el gen *Bt* presente en la bacteria. Este gen produce una variedad de toxinas, cada una de las cuales tiene límites específicos de toxicidad que pueden ser utilizados contra insectos definidos. Aún antes del desarrollo de las técnicas de transformación del maíz, las proteínas *Cry* de los genes *Bt*, aplicadas como bacterias intactas, eran conocidas por su acción insecticida (Gould, 1997).

Uno de los componentes a evaluar en la resistencia de materiales al ataque de plagas, lo constituye el rendimiento que es determinado por la manera con que el cultivo particiona la biomasa acumulada durante su crecimiento entre los órganos de cosecha y el resto de la planta. A su vez, el crecimiento de un cultivo depende de la radiación interceptada, de la capacidad de canopeo para interceptarla y de la eficiencia con que el cultivo transforme la radiación interceptada en materia seca (Andrade, 1996).

El rendimiento está limitado o condicionado debido a varios factores como son el suelo, la nutrición, las temperaturas, la precipitación, la humedad, las plagas y enfermedades esto influye en los bajos rendimientos que se obtienen del maíz por lo que se debe realizar una caracterización varietal tomando las diferentes variables como lo son la altura de planta, y mazorca, numero de hojas, peso de mazorcas, peso de grano, peso volumétrico y concentración de clorofila, entre muchas más.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Determinar la fluctuación poblacional de trips (*Frankliniella occidentalis* pergande) y su correlación con caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz para el bajo guanajuatense.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Determinar la fluctuación poblacional de trips (*Frankliniella occidentalis* pergande) en 10 genotipos de maíz (8 líneas S4, un híbrido 30P16 Pioneer® y un criollo Tuxpeño).
2. Determinar la carga poblacional de trips (*Frankliniella occidentalis* pergande) y su correlación con caracteres de rendimiento en 10 genotipos de maíz (8 líneas S4, un híbrido 30P16 Pioneer® y un criollo Tuxpeño).

## 1.2 Hipótesis

La carga poblacional de trips varía con las condiciones ambientales y presenta efectos negativos en el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz.

## CAPITULO II. FLUCTUACION POBLACIONAL DE TRIPS (*Frankliniella occidentalis* Pergande) EN GENOTIPOS DE MAÍZ

### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la fluctuación poblacional de trips en genotipos de maíz para el Bajío de México, se realizaron siembras en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, en los ciclos agrícola de P/V 2015: (2 de Mayo), V/O (10 de Junio) y de 2016: P/V (14 de Abril) y V/O (16 de Junio). Se utilizó un diseño bloques completos al azar con 4 repeticiones, 10 genotipos (tratamientos): 8 líneas s4, 1 testigo comercial (30P16 Pioneer®) y un criollo (Tuxpeño). Cada unidad experimental estuvo constituida por 4 surcos de 5 m de longitud y separados a 0.75 m, y la parcela útil fueron los dos surcos centrales. Se etiquetaron 5 plantas al azar, se realizaron muestreos 3 veces por semana desde la emergencia hasta los 40 d posteriores a la siembra. Los muestreos se realizaron con un aspirador manual, realizando un barrido de la planta y se contabilizaron el número de especímenes con ayuda de un estereoscopio. Se realizó un análisis de correlación para las variables de temperatura, precipitación y densidad de trips. Los resultados mostraron que existe una fuerte variación en la densidad poblacional de *Frankliniella occidentalis* entre los genotipos evaluados, esto debido probablemente a la constitución genética de la cual provienen cada uno de los materiales. El material genético que menor incidencia presentó para el año 2015 para los ciclos de siembra P/V y V/O fue la línea TNM 87 con un promedio de 4 y 2 trips por planta respectivamente. Por otro lado, en 2016 los materiales que mostraron menor incidencia para el ciclo P/V fueron las líneas TNM 120, TNM 106 y TNM 35 con un promedio de 3.5 trips por planta, mientras que en el ciclo V/O la línea TNM 43 y el híbrido (30P16 Pioneer®) fueron los más resistentes a la presencia de trips con un promedio de 2.5 trips por planta. Mientras que el análisis de correlación entre las variables temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y la densidad de población de trips en los 10

genotipos de maíz para los ciclos estudiados (P/V), (V/O) 2015 y (P/V), (V/O) 2016; no se observó relación entre las variables en estudio con la densidad de *F. occidentalis* en estos genotipos.

**Palabras clave:** *Fluctuación poblacional, Zea mays, muestreos, trips, genotipos.*

## POPULATION FLUCTUATION OF TRIPS (*Frankliniella occidentalis* Pergande) IN CORN GENOTYPES

### SUMMARY

In order to evaluate the population fluctuation of trips in maize genotypes for the Bajío de México, sowings were made in the experimental field of the Technological Institute of Roque, in the agricultural cycles of P / V 2015: (May 2), V/O (June 10) and 2016: P/V (April 14) and V/O (June 16). A randomized complete block design was used with 4 replicates, 10 genotypes (treatments): 8 s4 lines, 1 commercial control (30P16 Pioneer®) and 1 criollo (Tuxpeño). Each experimental unit consisted of 4 furrows of 5 m in length and separated to 0.75 m, and the useful plot were the two central furrows. Five plants were randomly, samples were taken 3 times per week from emergence to 40 d after sowing. Sampling was performed with a manual vacuum cleaner, scanning the plant and counting the number of specimens with the aid of a stereoscope. A correlation analysis was performed for the variables of temperature, precipitation and trips density. The results showed that there is a strong variation in the population density of *Frankliniella occidentalis* among the evaluated genotypes, probably due to the genetic constitution of each of the materials. The genetic material that presented the lowest incidence for the year 2015 for the P / V and V / O seed cycles was the TNM 87 line with an average of 4 and 2 trips per plant respectively. On the other hand, in 2016 the materials that showed the lowest incidence for the P / V cycle were the lines TNM 120, TNM 106 and TNM 35 with an average of 3.5 trips per plant, while in the V / O cycle the TNM 43 and the hybrid (30P16 Pioneer®) were the most resistant to the presence of trips with an average of 2.5 trips per plant. While the correlation analysis between the variables maximum temperature, minimum temperature, precipitation and population density of trips in the 10 maize genotypes for the cycles studied (P / V), (V / O) 2015 and (P / V), (V / O) 2016; No relationship



was observed between the variables under study with the density of *F. occidentalis* in these genotypes.

**Key words:** *Population fluctuation, Zea mays, sampling, trips, genotypes.*

## 2.1 INTRODUCCIÓN

El Estado de Guanajuato ocupa el octavo lugar en producción de maíz a nivel nacional, en el ciclo Primavera-Verano (P/V) de 2014 se sembraron 112,561.66 ha bajo riego y 263,489.00 ha en temporal; con una producción de 990,924.99 y 427,587.47 toneladas, respectivamente (SIAP, 2015). El ciclo P/V es el que mayor superficie se siembra; por lo que las condiciones ambientales de los meses de abril, mayo y junio se caracterizan por períodos largos de sequía y altas temperaturas, lo que hacen del trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) la plaga de mayor importancia en el cultivo de maíz (Castresona *et al.*, 2008).

El daño empieza durante los primeros 20 a 25 d, desde que la planta emerge, en algunos casos el daño puede ser tan severo que la planta puede presentar el síntoma de falta de humedad, de esta forma los trips causan su daño más severo en plántulas jóvenes y durante la formación de la mazorca permitiendo la entrada de patógenos como *Fusarium* spp. (CESAVEG, 2014). Los daños provocados consisten en el raspado del tejido epitelial, haciendo aflorar jugos del vegetal que posteriormente succionan para alimentarse. A consecuencia de estas raspaduras se ocasionan finas "cicatrices" blanquecinas, que al aumentar en cantidad hacen variar el color de los folíolos y/o cotiledones del verde al plumizo, ceniciento o plateado. Esta sintomatología le da al cultivo una apariencia plateada, la cual puede apreciarse desde lejos, sobre todo cuando se da la presencia de una alta población de individuos (CESAVEG, 2007). Cuando la poblaciones son altas se puede tener pérdidas de hasta el 40% en la producción (Unisem, 2013).

Una de las formas de control de esta plaga es por medio de insecticidas que se han utilizado ampliamente, presentando dificultades en su control debido a su comportamiento, ya que las ninfas se encuentran refugiadas en el follaje, las pupas en el suelo, y el adulto tiene una gran movilidad (Lopes da Silva *et al.*, 2003; Helyer y

Brobyn, 2008). La alta presión a insecticidas ha llevado al desarrollo de la resistencia a los principales grupos de insecticidas: organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides (Zhang *et al.*, 2008). Desde a mediados de la década de 1980 la resistencia en poblaciones de *F. occidentalis* ha sido tema de investigación; después de su establecimiento y propagación en invernaderos y producción al aire libre (Lewis, 1997; Bielza *et al.*, 2007). Esto exige frecuentemente, el empleo de productos químicos con un impacto negativo en el ambiente (Maluf *et al.*, 2010), la aparición de poblaciones resistentes del insecto, nuevas plagas y desequilibrios biológicos que afectan al hombre y a los enemigos naturales del insecto plaga (Brunherotto y Vendramim, 2001).

En la actualidad, se ha incentivado la creación de formas alternativas de control; el biológico, con menor perjuicio que el químico para el medio ambiente, ya que utiliza organismos patógenos o depredadores del insecto y plantas insecticidas; no obstante, a pesar de ejemplos de control efectivo por esta vía, en ocasiones, no es efectivo. Otra estrategia para el control de las plagas sería el empleo de cultivares resistentes, por su durabilidad e inocuidad. Esta ha estado limitada porque la mayoría de los cultivares no poseen un alto nivel de resistencia como para permitir una reducción significativa de químicos, disponiéndose de muy pocos cultivares comerciales con resistencia específica a insectos (Foolad, 2007).

Por esta razón se ha inducido a realizar técnicas de mejoramiento genético aun cuando en el maíz hay una gran diversidad genética, el número de genotipos identificados como posibles fuentes de resistencia a los insectos de importancia económica, no es muy grande. Por lo tanto, la búsqueda de genotipos resistentes debe ser conducida en manera secuencial y sistemática, en la cual el primer germoplasma a ser evaluado debería ser el más selecto, de altos rendimientos, agronómicamente deseable y ampliamente adaptado. Si después de seleccionado este germoplasma no se encuentran fuentes de resistencia, se deberán evaluar

materiales no mejorados. Esto debería incluir variedades locales de maíces *criollos*, colecciones de bancos de germoplasma, germoplasma de otros programas de mejoramiento y aún de cultivares no adaptados (Painter, 1951).

Esto ha creado en los cultivos, que la estructura química, el ambiente, y el microclima sean factores que pueden desempeñar un papel en la supresión de plagas y son componentes de la resistencia asociada (Ramert *et al.*, 2002). Efectos del cultivo intercalado en las infestaciones de trips se han evaluado en varios sistemas, como en la asociación de diferentes cultivos (González-Zamora *et al.*, 1994). Por otro lado, Ascensión (2000), señala que temperaturas altas y ausencia de lluvias favorecen el incremento en la densidad poblacional de trips. La fluctuación poblacional de insectos se afecta por factores bióticos y abióticos, el conocimiento de la respuesta de esos individuos a estos factores ofrece una visión amplia del funcionamiento de una comunidad constituida por varias especies, que ocurren juntas en el espacio y en el tiempo (Begon *et al.*, 1996).

La disponibilidad de alimento se considera uno de los factores bióticos más importantes en la fluctuación de los insectos (House 1977) y entre los factores abióticos, los componentes del clima determinan los límites de la distribución y abundancia de los mismos (Andrewartha, 1971). El tamaño de una población y sus variaciones a lo largo del tiempo pueden ser representadas por curvas, indicando la densidad de las especies en función del tiempo. Estas variables son importantes para la ecología, pues posibilitan la determinación de las épocas de aumento o disminución poblacional, indispensables para el éxito del manejo integrado de plagas (Silveira Neto, 1972, Rabinovich, 1978). Por tal motivo el objetivo de esta investigación fue determinar la fluctuación poblacional de trips (*F. occidentalis*) en genotipos de maíz y determinar los índices de correlación de T°, humedad y trips.

## 2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) ubicado en el Municipio de Celaya, Gto., cuyas coordenadas están entre los paralelos 20°58' de Latitud Norte; los meridianos 100°82' de Longitud Oeste; y a una altura de 1765 msnm (google maps, 2016). La siembra se realizó en los ciclos agrícolas P/V (2 de Mayo), V/O (10 de Junio) de 2015 y P/V (14 de Abril) y V/O (16 de Junio) de 2016. Para ello se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 10 genotipos; 8 líneas (S4), 1 testigo comercial (30P16 Pioneer®) y un criollo (Tuxpeño) (Tabla 2.1), con 4 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 5 m de longitud y separados a 0.75 m con calles de 1 m, considerando los dos surcos centrales como parcela útil. Se depositó una semilla por golpe a una distancia de 17 cm para tener una densidad de población de 80 mil plantas por hectárea.

Tabla 2.1 Genotipos de maíz utilizados en la investigación. Roque, Celaya, Gto.

Genotipo	Nombre	Procedencia	Nivel de endogamia
1	TNM 78	DK2042 F2	S4
2	TNM 112	DK2042 F2	S4
3	TNM 92	Pioneer 30P16 F2	S4
4	TNM 120	Pioneer 30P16 F2	S4
5	TNM 87	Caiman F2	S4
6	TNM 106	Caimán F2	S4
7	TNM 35	Roque	S4
8	TNM 43	Roque	S4
9	(30P16 Pioneer®)	Hibrido	-
10	Tuxpeño	Criollo	-

TNM= Tecnológico Nacional de México, Procedencia Población F2

La preparación del terreno consistió de dos pasos de rastra, una a lo largo del terreno y la otra de forma cruzada; posteriormente, se realizó un surcado de manera mecánica a una distancia de 0.75 m entre surcos. La siembra fue en seco para los cuatro ciclos y se aplicó un riego de nacencia a los 35 d se dio un riego de auxilio; cuando el cultivo se encontraba en etapa vegetativa (V3) se realizó una escarda de forma mecánica y en la etapa V6 se dio una segunda escarda. Se fertilizó de forma manual con la dosis 240-60-00, aplicando el 50% del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra, el resto del nitrógeno a los 40 d después de la siembra; como fuente de fertilizante se empleó urea (46-00-00) y DAP (18-46-00).

Los muestreos de trips se realizaron tres veces por semana desde la emergencia hasta los 40 d después de la siembra, en cinco plantas etiquetadas al azar de los dos surcos centrales de la parcela útil de cada unidad experimental esto se realizó mediante un aspirador manual, realizando un barrido a toda planta, desde el cuello, haz, envés y cogollo. Todos los insectos recolectados se depositaron en frascos de plástico transparente de 200 mL de agua, etiquetándolos con los datos del tratamiento, repetición y fecha de y para su identificación se realizó mediante las claves taxonómicas de Mound y Marullo (1996).

Los datos climáticos de temperatura máxima y mínima, así como la precipitación pluvial acumulada se obtuvo de la página de fundación Guanajuato produce generados de la estación meteorológica INIFAP-CEBAJ para 2015 y 2016.

### **2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El análisis de correlación entre las variables temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y la densidad de población de trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) en 10 genotipos de maíz para los ciclos estudiados (Primavera/Verano

2015 (P/V), Verano/Otoño 2015 (V/O), P/V 2016 y V/O 2016) no se observó relación entre las variables en estudio con la densidad de *F. occidentalis* en estos genotipos (Tabla 2.2). Estos resultados son similares a los reportados por Castañeda-González *et al.* (2011) quienes no encontraron relación entre la temperatura, precipitación y humedad relativa con la densidad poblacional de los trips en trampas amarillas pegajosas en aguacate. También Aguirre *et al.* (2013) reportaron valores similares a los observados en esta investigación con un coeficiente de correlación bajo entre las poblaciones de trips con las variables de precipitación y temperatura, lo que indican nula influencia de las variables climáticas sobre la población de trips en mango. Únicamente en este Ascensión en (2000) señala que temperaturas altas favorecen el incremento en la densidad poblacional de trips.

Es importante mencionar que la precipitación pluvial presentó coeficientes de correlación negativos con la densidad de trips en ambos años de evaluación. Estos resultados concuerdan con los reportados por Castañeda-González *et al.* (2011), quienes reportaron valores negativos para el efecto de la precipitación en la densidad de trips en cuatro cultivares de aguacate.

La baja correlación determinada entre la fluctuación poblacional de *F. occidentalis* y la fluctuación de la temperatura y precipitación podría indicar que ambos factores climáticos tienen poca relación con los cambios poblacionales de este insecto, sin embargo, hay que tomar en cuenta que este es un resultado general y es probable que en determinado tiempo la precipitación, la temperatura o el material genético si tengan una correlación mayor en el aumento o disminución de la población de *F. occidentalis*.

Tabla 2.2 Matriz de coeficientes de correlación entre las variables temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), precipitación acumulada (mm) y densidad de población de trips por planta en maíz.

	Ciclo	°T max	°T min	PP <sup>1</sup>	Densidad
T max°	P/V 2015	1	0.11269	-0.28840	0.13874
	V/O 2015	1	-0.20149	-0.39744	-0.18180
	P/V 2016	1	0.06225	-0.32482	0.11028
	V/O 2016	1	0.07665	-0.57728	0.14293
T min°	P/V 2015		1	0.10587	-0.04430
	V/O 2015		1	0.50805	-0.05574
	P/V 2016		1	0.28508	-0.18350
	V/O 2016		1	-0.24539	0.03220
PP <sup>1</sup>	P/V 2015			1	-0.34510
	V/O 2015			1	-0.30102
	P/V 2016			1	-0.12154
	V/O 2016			1	-0.11689
Densidad	P/V 2015				1
	V/O 2015				1
	P/V 2016				1
	V/O 2016				1

<sup>1</sup>Precipitación pluvial, P/V Primavera-Verano, V/O Verano-Otoño

Por otro lado, en las figuras 1, 2, 3 y 4 se ilustra los niveles de correlación entre las variables antes mencionadas en donde se observa que para el año 2015 en los dos ciclos de siembra la temperatura máxima y mínima no rebazó los 32 y 15 °C, respectivamente, además se presentaron dos picos en el aumento de la precipitación; mientras que, para el ciclo P/V 2016 la temperatura máxima superó los 34 °C, la temperatura mínima tuvo tendencia a aumentar durante las fechas de muestreo y la precipitación presentó un marcado aumento en el último muestreo. Para el ciclo V/O 2016 la temperatura máxima no rebazó los 30 °C, la temperatura mínima se mantuvo estable y la precipitación presentó dos picos.

En la Figura 2.1, se muestra el efecto de los factores abióticos en la densidad de trips en los 10 genotipos de maíz evaluados, se observa que la presencia de trips se

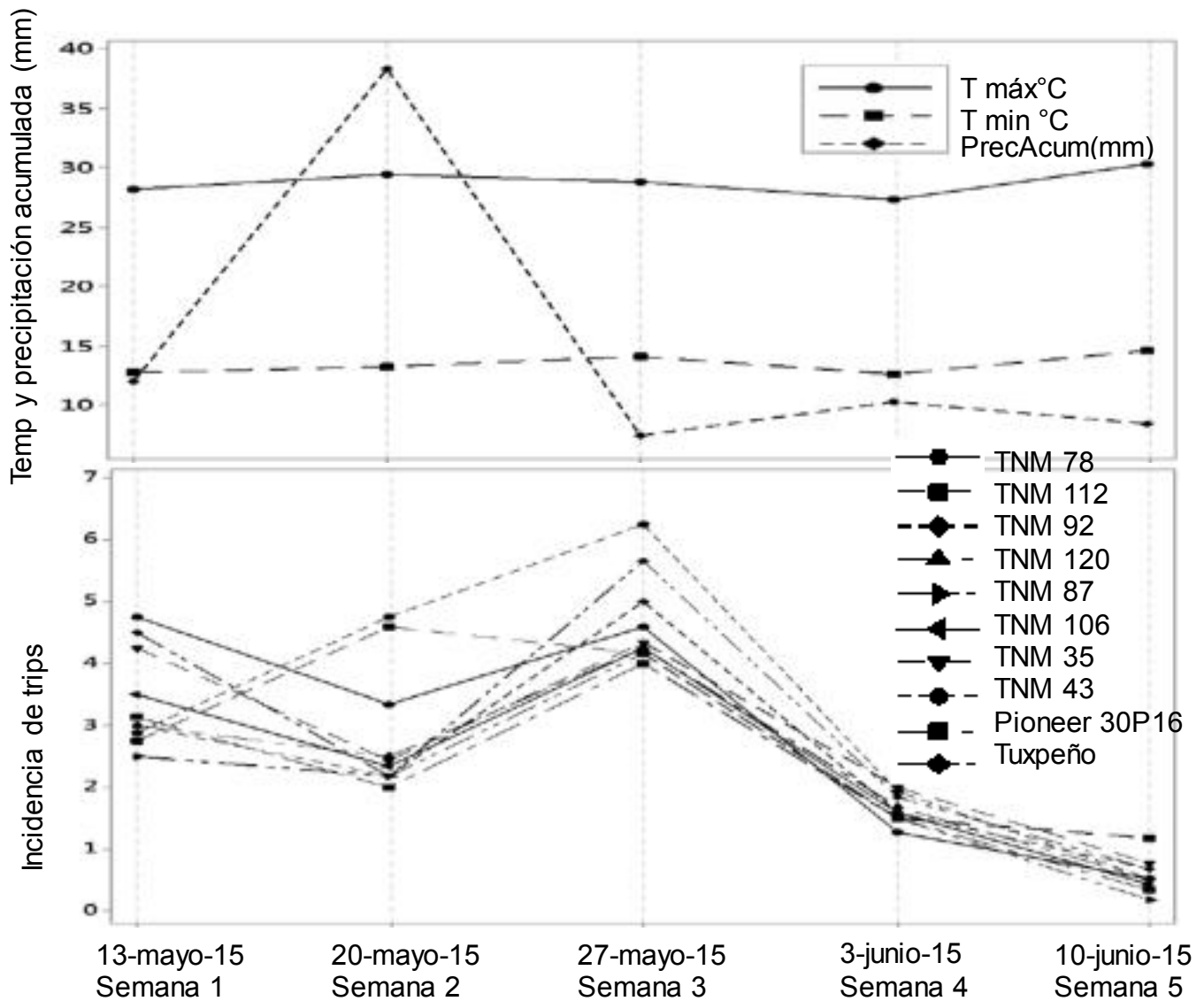


mantuvo durante las 5 semanas de muestreo, donde el comportamiento poblacional fue variable durante todas las semanas evaluadas, mostrando una mayor incidencia durante la tercera semana (27 de mayo de 2015) , cuando el cultivo presentaba una altura de 30 cm, pero se registro una baja de incidencia a partir de la cuarta semana (3 de junio de 2015) cuando el cultivo se encontraba en la etapa V4 a V5, de modo que la poblacion mostro una baja de densidad a partir de los 25 d de emergencia de la planta, Estos resultados concuerdan con los reportes de Cesaveg (2014), que mencionan que el daño de los trips comienza durante los primeros 20 a 25 d después de la emergencia causando su daño más severo en plántulas jóvenes y terminado hasta los 40 a 45 días después de la emergencia. Por otro lado se observa que la temperatura maxima y minima se mantuvo estable durante el periodo de muestreo; mientras que la precipitación registro un pico maximo de 38 mm el 20 de mayo de 2015, lo que provoco una disminución en la densidad de trips en la mayoría de los genotipos; sin embargo, en los genotipos TNM 43, TNM 112 y TNM 78 la densidad fue en aumento, y la linea TNM 92 se mantuvo en los niveles mas bajos a lo largo de los muestreos.

En la fecha del 27 de mayo de 2015 en donde se registro el valor mas bajo de precipitación, la densidad maxima de trips aumento para todos los genotipos, esto debido a que la ausencia de lluvias es un factor positivo en el incremento poblacional de trips (Valenzuela-García *et al.*, 2010), A lo largo de todos los muestreos los genotipos TNM 43 y el criollo Tuxpeño fueron los que presentaron la mayor incidencia de trips, presentando en la semana tres (27 de mayo de 2015) los valores mas altos con un promedio de 5 y 6 trips por planta respectivamente. Por otro lado, la linea TNM 87 y el hibrido (30P16 Pioneer<sup>®</sup>) solo alcanzaron 4 trips por planta durante la tercera semana.

Estos resultados concuerdan con los observados por Turcios (2013), que reportó valores de 3-5 trips por planta en un estudio sobre la fluctuacion poblacional de trips

en jitomate (*Lycopersicon esculentum*), chile (*Capsicum annum* L.), tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brotero), pepino (*Cucumis sativus*), calabacita (*Cucurbita pepo* L.) y cebolla (*Allium cepa*). En este contexto Rueda *et al.*, (2007) registraron en cebolla (*Allium cepa* L). La mayor población de *Trips tabaci* durante la temporada seca (1,4 a 10,7 trips por hoja) que en la temporada de lluvia (0 a 3,2 trips por hoja en promedio).

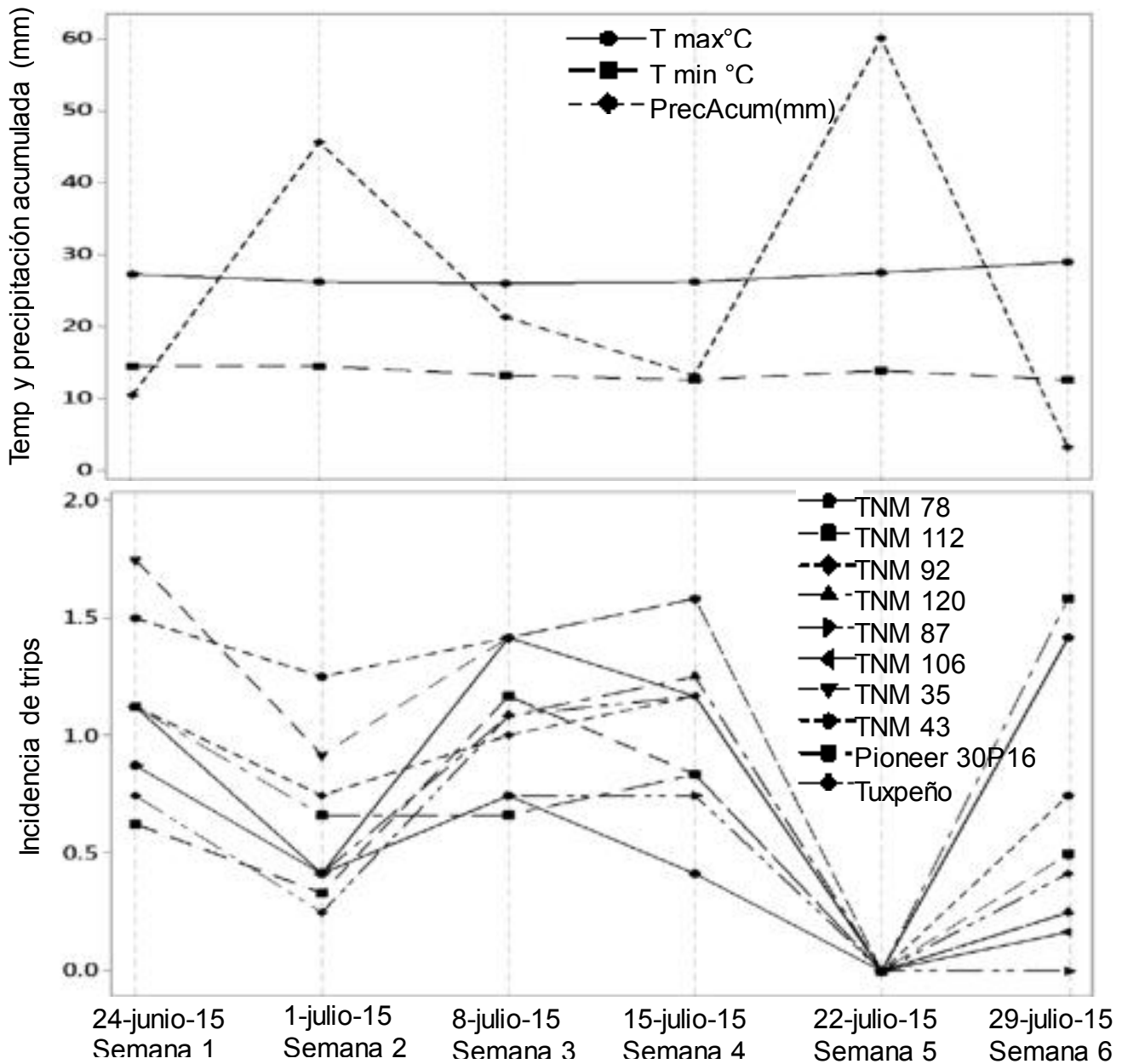


**Figura 2.1** Fluctuación poblacional de trips (*Frankliniella occidentalis*) en el cultivo de maíz relacionado con las condiciones climatológicas del ciclo Primavera-Verano 2015 Roque, Celaya, Gto.

Para el ciclo de siembra V/O 2015 las condiciones climatológicas durante las 6 semanas de muestreo en la zona donde se desarrolló el experimento influyeron en la densidad de población de trips en los 10 genotipos de maíz (Figura 2.2); donde las temperaturas máximas y mínimas oscilaron entre 27 y 12 °C respectivamente y la precipitación pluvial se presentó durante todos los muestreos, con dos picos máximos de 45 y 60 mm en la semana dos y cinco (01 y 22 de julio de 2015) respectivamente, esto influyó en la presencia de trips ya que se registraron bajas incidencias. La incidencia de trips disminuyó para todos los genotipos con respecto al primer muestreo; donde las líneas TNM 43 y TNM 35 presentaron 1.3 y 0.9 trips por planta. En los siguientes muestreos del 8 y 15 de julio de 2015 la densidad aumentó a 1.5 y 1.2 trips por planta en los genotipos TNM 43 y TNM 120 respectivamente. Los valores más bajos para el 15 de julio de 2015 se observaron en los genotipos TNM 78 y TNM 87. En el muestreo del 22 de julio de 2015 se presentó el segundo pico más alto de la precipitación pluvial con 60 mm, lo que bajó la densidad de trips para todos los genotipos con un valor de cero. Estos valores concuerdan con los reportados por Varon (2010) quien concluyó que la fluctuación poblacional de *Neohydatothrips* signifer (Priesner 1932) en maracuyá (*Passiflora edulis*) la precipitación tuvo un efecto negativo sobre el aumento de la densidad poblacional del trips, otros estudios como el realizado por Urias *et al.* (2007), demostraron que la precipitación tiene un efecto negativo sobre el aumento poblacional del trips en aguacate. Así mismo, Ascención *et al.* (1999), encontraron en aguacate (*P. americana*) el menor número de trips en el mes más lluvioso.

Esta investigación presente concluye que la lluvia puede ser uno de los factores que determina en mayor grado la ausencia de trips y que las épocas con mayor temperatura y sequía favorecen su abundancia. De acuerdo con Kirk (1997);

Schweizer y Morse (1997) mencionan que las lluvias fuertes arrastran los trips al suelo y hacen declinar sus poblaciones hasta en 95%; ya que muchos adultos mojados no pueden volar quedando más expuestos a factores adversos, o permanecen atrapados en el suelo y mueren ahogados.



**Figura 2.2** Fluctuación poblacional de trips (*Frankliniella occidentalis*) en el cultivo de maíz relacionado con las condiciones climatológicas de los ciclo Verano-Otoño 2015 Roque, Celaya, Gto.

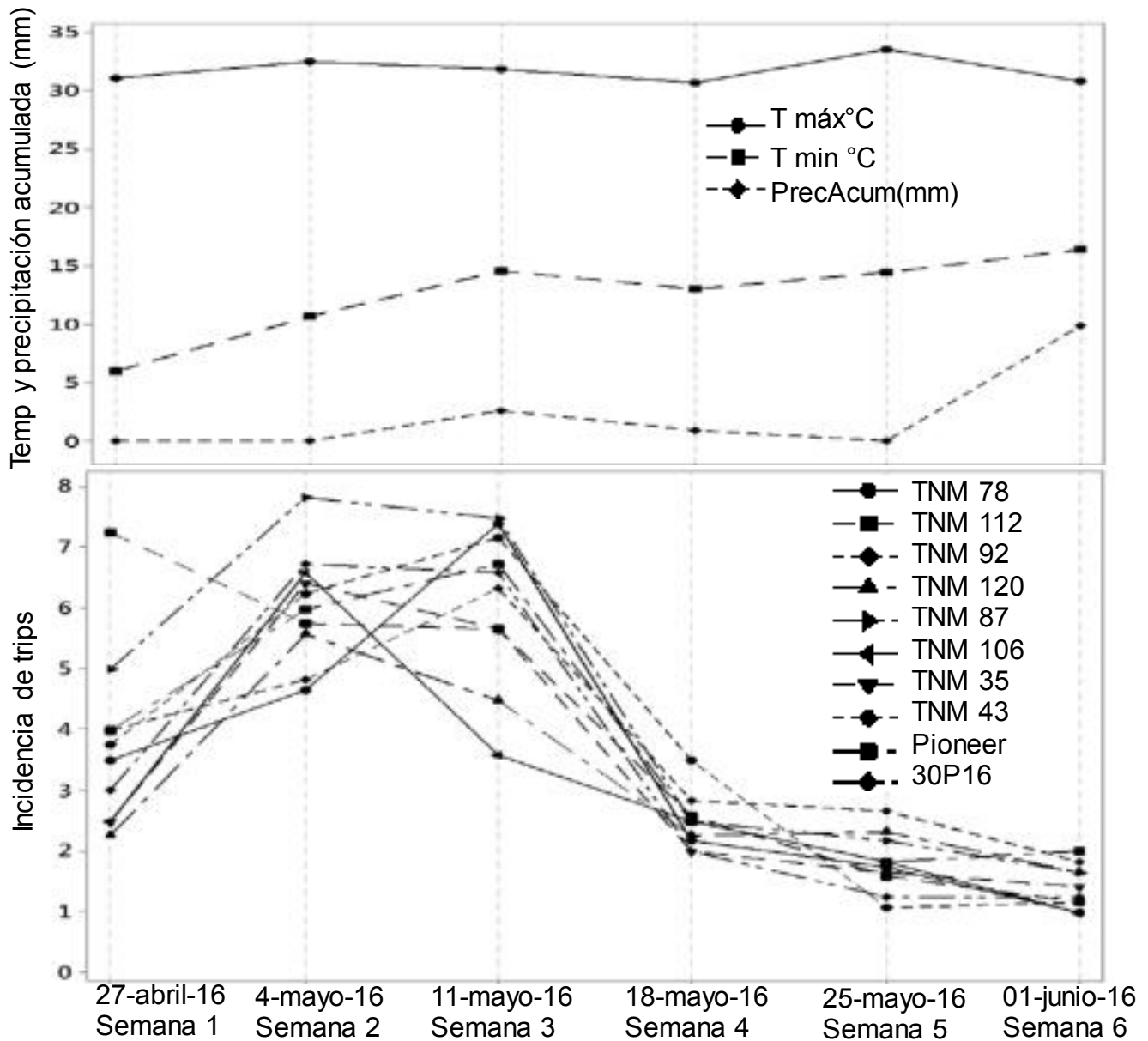
En el ciclo P/V 2016 se observa que las temperaturas máximas y mínimas oscilaron entre 30-33 y 6-12°C respectivamente, Estas temperaturas son las adecuadas para el desarrollo y multiplicación de trips o al respecto, Lacasa (1990) menciona que para *F. occidentalis* las temperaturas máximas deberan oscilar entre 15 y 30°C y la mínima de desarrollo es de 5 °C (Dintenfass *et al.*, 1987). También Contreras *et al.* (1998) Mencionan que a 5 °C se obtiene una baja mortalidad para huevos, adultos, y a 35 °C se produce un acortamiento de cada una de las fases de la vida del insecto, obteniéndose una alta mortalidad de huevos, larvas de primer y segundo estadio y adultos y una supervivencia mayor del 90% para pro ninfas y del 75% para ninfas.

La precipitación pluvial se mantuvo en un promedio de 2 mm, pero que en las primeras 2 semanas de muestreo (27 de abril y 4 de mayo de 2016) no se presentaron precipitaciones, por lo que la densidad de trips en la primera semana de muestreo los genotipos TNM 112 y TNM 87 presentaron de 7.2 y 5 trips por planta; mientras que en los genotipos TNM 120 y TNM 106 se observaron los valores más bajos (2.3 y 2.5 trips por planta respectivamente). Esto concuerda con lo reportado por Valenzuela *et al.* (2010) quienes realizaron un trabajo de fluctuación de trips en el cultivo de calabaza japonesa (*Cucurbita moschata*) var. Chirimen, y observaron que con precipitaciones los trips disminuyeron.

Para la segunda semana (4 de mayo de 2016). La densidad de trips para todos los genotipos fue en aumento, a excepción de la línea TNM 112 que disminuyó drásticamente a un valor de 5.8 trips por planta, este genotipo presentó la misma tendencia de disminuir a lo largo de los siguientes muestreos, posiblemente existieron

los mecanismos de resistencia vegetal de no preferencia y/o antibiosis para este genotipo.

En la semana tres (11 de mayo de 2016), la precipitación fue de 2.6 mm que no influyo en la densidad de población de trips para todos los materiales en estudio, con excepción de genotipo TNM 106 y TNM 120 que mostraron un descenso por efecto de la precipitación al presentar una densidad en la semana dos (6.5 y 5.4 trips por planta) y posteriormente en la siguiente semana los valores descendieron a 3.8 y 4.8 trips por planta respectivamente. A partir del muestreo en la semana tres hasta finalizar el proceso (01 de junio de 2016), la tendencia en todos los genotipos fue disminuyendo a la densidad de trips por planta, presentando los valores más bajos debido a que en esa semana se presentó el único pico de precipitación con 10 mm de lluvia y con valores de 1 y 1.3 trips por planta para los genotipos TNM 106 y el criollo Tuxpeño, respectivamente.



**Figura 2.3** Fluctuación poblacional de trips (*Frankliniella occidentalis*) en el cultivo de maíz relacionado con las condiciones climatológicas de los ciclo Primavera-Verano 2016 Roque, Celaya, Gto.

Para el ciclo V/O 2016 las condiciones climatológicas durante las 6 semana de muestreo influyeron en la densidad de población de trips en los 10 genotipos de maíz (Figura 2.4), donde las temperaturas promedio maximas y minimas fueron constantes

con valores de 29 y 13 °C respectivamente, la precipitación presentó dos picos máximos en la semana dos y cinco (6 y 27 de julio de 2016) con valores de 35 y 34 mm respectivamente, pero no hubo efecto en densidad de trips en los genotipos evaluados.

En el primer muestreo (29 de junio de 2016) los valores de la densidad de trips por planta no revasó los 4.8 trips, para la segunda semana (6 de julio de 2016) se presentó el pico más alto de precipitación y de densidad de trips a valores máximos de 5.7 trips por planta para el genotipo TNM 120. Por otro lado, en los genotipos TNM 87 y el híbrido (30P16 Pioneer®) la densidad disminuyó por efecto de la precipitación. En general la precipitación no presentó efecto en la densidad de trips por planta en los genotipos evaluados. Mientras que la temperatura máxima y mínima se mantuvo constante, lo que indica que el factor de temperatura tuvo mayor efecto en la densidad, al respecto Santos *et al.* (2012) reportaron que la temperatura fue la única variable meteorológica que se correlacionó positivamente con la población promedio semanal de trips en el cultivo de maracuyá. En la misma semana, de muestreo y para una semana antes la temperatura promedio no presentó cambios e incremento positivamente la densidad de trips.

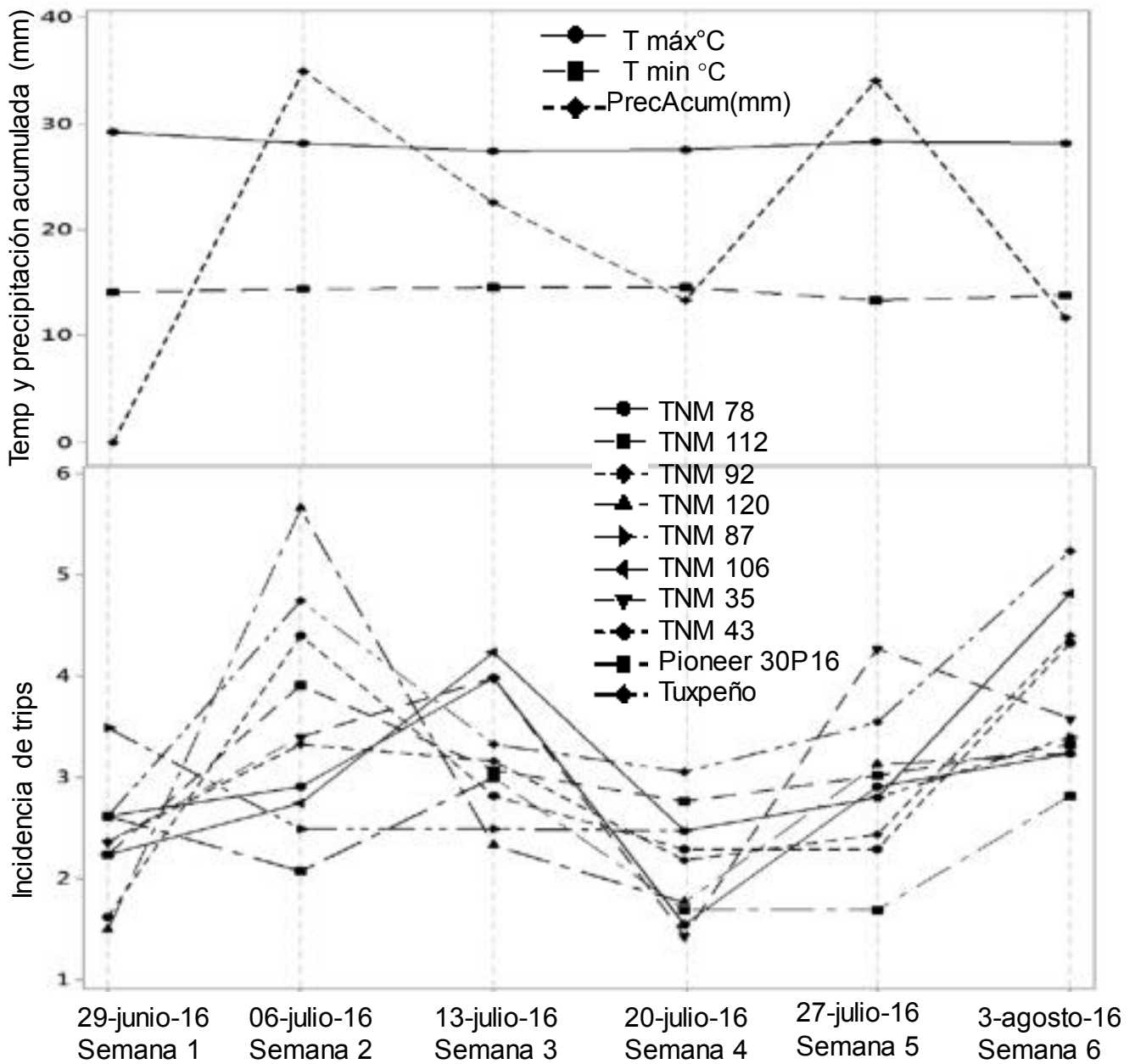
La tendencia registrada en este estudio coincide con otras investigaciones, en las que se indica que los periodos secos y de altas temperaturas favorecen el desarrollo poblacional de los trips, lo que aumenta su población (Ávila Quezada *et al.*, 2002; Urías-López *et al.*, 2007). En general, el efecto que ejerce la temperatura sobre los insectos, se debe a que cuando la temperatura ambiental baja, la temperatura corporal del insecto también lo hace, y sus procesos fisiológicos se reducen (Triplehorn y Johnson, 2011). De tal modo que, este factor es el que ejerce un mayor efecto sobre su desarrollo (Marco, 2001). Lo anterior ya ha sido evidenciado para trips por Park *et al.* (2010), quienes registraron sobre *Thrips palmi* que el tiempo de



desarrollo del insecto disminuye en todas las etapas de desarrollo con el aumento de las temperaturas.

En la semana tres (13 de julio de 2016) la densidad de trips aumento en los genotipos TNM 106, TNM 35, TNM 87, TNM 120 y el hibrido (30P16 Pioneer<sup>®</sup>), con un valor de 4 trips por planta para el genotipo TNM 106; posteriormente, en el siguiente muestreo (20 de julio de 2016) cuando la precipitación disminuyo la densidad de trips tambien lo hizo. Los genotipos TNM 106 y TNM 35 presentaron los descensos mas drasticos en la densidad. En la siguiente semana de muestreo (27 de julio de 2016) se presentó el segundo pico en la precipitación y se registro un aumento en la densidad poblacional de trips en todos los genotipos evaluados, siendo el genotipo TNM 35 el que presento el mayor aumento con un valor maximo de 4 trips por planta. Estos resultados no concuerdan por los reportados por Palumbo *et al.* (2002), quien reporto que aplicación de riegos por aspersion simulando el efecto de la lluvia la disminucion de *Frankliniella occidentalis* en el cultivo de cebolla puede alcanzar hasta el 50%. En otro estudio, Lannati (1997) menciona que el crecimiento poblacional de *F. occidentalis* se ve favorecido con tiempo seco y ausencia de lluvias.

En la semana seis (03 de agosto de 2016) con una precipitación de 11.8 mm la densidad de trips aumento para todos los materiales en estudio, a excepcion de los genotipos TNM 35, TNM 78 y el hibrido (30P16 Pioneer<sup>®</sup>). el genotipo TNM 78 y el hibrido (30P16 Pioneer<sup>®</sup>) con valores bajos (2.5 y 2.8 trips por planta).



**Figura 2.4** Fluctuación poblacional de trips (*Frankliniella occidentalis*) en el cultivo de maíz relacionado con las condiciones climatológicas de los ciclo Verano-Otoño 2016 Roque, Celaya, Gto.

## 2.4 CONCLUSIONES

Existe una fuerte variación en la densidad poblacional de *Frankliniella occidentalis* entre los genotipos evaluados, esto debido probablemente a la constitución genética de la cual provienen y las características morfológicas, como la arquitectura de la planta, densidad de tricomas, dureza o tamaño de las hojas, o a la presencia en sus estructuras vegetativas o reproductivas de sustancias químicas que afectan tanto la abundancia de *Frankliniella occidentalis* como algunos aspectos de su desarrollo.

El material genético que menor incidencia presentó para el año 2015 en los ciclos de siembra P/V y V/O fue la línea TNM 87, procedencia Caimán y nivel de endogamia (S4) un promedio de 4 y 2 trips por planta respectivamente.

En el año 2016 los materiales que mostraron menor incidencia para el ciclo P/V fueron las líneas TNM 120, TNM 106 y TNM 35 con un promedio de 3.5 trips por planta, mientras que para el ciclo V/O la línea TNM 43 y el híbrido (30P16 Pioneer®) fueron los más resistentes a la presencia de trips con un promedio de 2.5 trips por planta.

## 2.5 LITERATURA CITADA

- Aguirre, U. L. A. Miranda, S. M. A., Urías, L. M. A., Orona C. F., Almeyda, L. I. H., Johansen, N. J., Tucuch, C. T. 2013. Especies de trips (Thysanoptera) en mango, fluctuación y abundancia. *Revista Colombiana de Entomología* 39 (1): 9-12 (2013) 9.
- Andrewartha, H. G. 1971. *Introduction to the Study of Animal Populations*. Chicago: Univ. Chicago Press . 262.
- Arce-Flores, J., López-Martínez, V., Gaona-García, A. 2015. 1 Population fluctuation and distribution of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) in nardo from Morelos, Mexico. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 1(1):37-42.
- Ascención B, Bravo MG, Gonzales HH, Johansen NH, Becerril RR. 1999. Fluctuación poblacional y daño de trips en aguacate cv. Hass. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5: 291- 296 p.
- Ascensión, BG. 2000. Fluctuación poblacional, daño e identificación de thrips del aguacate cv. Hass en Michoacán, México. Tesis de Maestría en Ciencias.
- Ávila Quezada, G.D.; Telíz Ortiz, D.; González Hernández, H.; Vaquera Huerta, H.; Tijerina Chávez, L.; Johansen Naime, R.; Mojica Guzmán, A. 2002. Dinámica espacio-temporal de la roña (*Elsinoe perseae*), el daño asociado a trips y antracnosis (*Glomerella cingulata*) del aguacate en Michoacán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 20:77-87.
- Bielza, P., 1997: *El trips del trigo*, Haplothrips tritici *Kurdjumov* (Thysanoptera: Phlaeothripidae), en *Castilla- La Mancha: biología, ecología, daños y métodos de control*. Tesis Doctoral, E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid, 484 pp.
- Brunherotto, R. y Vendramim, J. D. 2001. Bioatividade de extratos aquosos de *Melia azedarach* L. sobre o desenvolvimento de *Tuta absoluta* (Meyrick)

- (Lepidoptera: Gelechiidae) em Tomateiro. *Neotropical Entomology*, 30: 455-459.
- Castañeda-González, E, L., Johansen-Naime, R. M., Hernández-Vásquez, F. L., Edgar Aparicio-Parra, E. 2011. Fluctuación Poblacional y Especies de Trips en Aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. En: <http://worldavocadocongress2011.com/userfiles/file/Elba%20Libia%20Castaneda%201030-1050.pdf> Consultado: 28 de febrero de 2017.
- Catresona, J., Gagliana, E., Puhl, L., Bado, S., Vianna, L., Castresana, M., 2008. Atracción del Trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) con Trampas de Luz en un Cultivo de *Gerbera jamesonii* (G). IDESIA Vol. 26. No.3. Chile.
- Cesaveg, 2007. Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato. Manual de Plagas y Enfermedades del Maíz. Campaña Manejo Fitosanitario del Maíz.
- Cesaveg, 2014. Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato. Manual de Plagas y Enfermedades del Maíz. Campaña Manejo Fitosanitario del Maíz.
- Dintenfass, L. P. Y Bartell, D. P. Y Scott, M. A., 1987: Predicting resurgence of Western Flower Thrips (*Thysanoptera: Thripidae*) on onions after insecticide application in the Texas high plains. *Journal of Economic Entomology*, 80(2):502-506.
- Driutti, A. 2004. Control biológico natural de trips, *Thrips tabaci* Lindeman 1888 (Thysanoptera: Thripidae) por surtidos depredadores en el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.) por el cultivo de bordaduras y/o entrelineas. Instituto Agronomico "Pedro M. Fuentes Godo", U.N.N.E., Las Heras 727, Chaco, Argentina.
- Foolad, M. R. 2007. Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*. 52.
- González-Zamora, J. E.; García-Marí, F.; Ribeskoninckx, A.; Saques Fernández, J.; Masiello Ruiz, L. Y Orenge Royo, S., 1993: Métodos de muestreo binomial y secuencial para *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*) y *Amblyseius*

- californicus* (Mcgregor) (*Acari: Phytoseiidae*) en fresón. *Bol.San. Veg. Plagas*, 19(4): 559-586.
- Helyer, N. L.; Brobyn, P. J. 2008. Chemical control of western flower thrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande). *Annals of Applied Biology* 121 (2): 219-231.
- J. Contreras,, J. Pedro, A. , J. A. Sánchez Y A. Lacasa 1998. Influencia de las temperaturas extremas en el desarrollo de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: *Thripidae*. *Bol. San. Veg. Plagas*, 24: 251-266
- Kirk WDJ. 1997. Distribution, abundance and population dynamics, 217-257 p. *In*: Thrips as crop pests. Lewis T (ed.) Cab International. USA.
- Lacasa, A., 1990: Datos de taxonomía, biología y comportamiento de *Frankliniella occidentalis*. *Cuaderno Phytoma*, 6: 9-15.
- Lanati, S.J. 1997. Plagas. En: Manual del cultivo de la cebolla. Agro de Cuyo. INTA Centro Regional Cuyo. Manuales 16, 83-90 p.
- Lewis,T.,1998. Major crops infested by thrips with main symptoms and predominant injurious species (Appendix II), pp. 675-709 *In*T.Lewis [ed.], Thrips as crop pests. CAB International, New York.
- Lopes Da Silva, A.; Da Silva, N. F.; Pires, L. L.; Ferreira, H. de J.; Caetano Braz, V.; Peixoto Dos Santos, L. 2003. Eficiência agrônômica de inseticidas no controle do *Thrips tabaci* Lind., 1888 (Thysanoptera, Thripidae) na cultura do alho. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 33 (1): 39-42.
- Maluf, W. R.; Maciel, G. M.; Augusto Gomes, L. A.; Cardoso, M. G.; Gonçalves, L. D.; Da Silva, E. C. y Knapp, M. 2010. Broad-Spectrum Arthropod Resistance in Hybrids between High- and Low-Acylsugar Tomato Lines. *Crop Sci.*, 50: 439-450.
- Marco, V. 2001. Modelización de la tasa de desarrollo de insectos en función de la temperatura. Aplicación al manejo integrado de plagas mediante el método de grados-día. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 28:147-150

- Mound, LA; Marullo, R. 1996. The thrips of central and south America: an introduction (Insecta; Thysanoptera). *Memoirs on Entomol. Int.* vol. 6. 487 p.
- Painter, R.H. 1951. *Insect resistance in crop plants*. New York, NY, USA, The MacMillan. 520 pp.
- Palumbo, J.C.; Sanchez, C.A. y Mullis, J.C.H. 2002. Suppression of western flower thrips by overhead sprinkler irrigation in romaine lettuce (part of the 2002 vegetable report). In: Burstone, J.A. 2009. Investigations into the biology and behavior of *Thrips tabaci* L. Tesis (Ph. Dr.). The University of Warwick, Warwick, U.K., 178 p. <http://wrap.warwick.ac.uk/3124>.
- Park, C.-G.; Kim, Y.-H.; Lee, J.-H. 2010. Parameter estimation for a temperature-dependent development model of *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 13:145-149
- Rueda A, Francisco R, Badenes P, Shelton MA. 2007. Developing economic thresholds for onion thrips in Honduras. *Crop Protection*. 26: 1099–1107 p.
- Santos, A. O. F. 2010. Determinación del nivel de daño económico y la fluctuación poblacional de *Neohydatothrips signifer* (Priesner 1932). (Thysanoptera:Thripidae) en maracuyá (*Passiflora edulis* Degener) var. Flavicarpa en el Municipio de Suaza (Huila). Tesis Licenciatura. Ingeniero Agronomo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad De Agronomia. Bogotá, D. C. p. 66.
- Santos, A. O., Herney, V. E., Andrea, F. J. 2012. Propuesta de muestreo para *Neohydatothrips signifer* (Thysanoptera: Thripidae) en el cultivo de maracuyá. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 47(11):1572-1580.
- Schweizer H, Morse JG. 1997. Factors influencing survival of citrus thrips (Thysanoptera:Thripidae) propupae and pupae on the ground. *Journal of Economic Entomology*. 90:2 435-443 p.
- SIAP. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera), 2015. En: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>, trad.). consultado febrero 2016.

- Triplehorn, C.A.; Johnson, N.F. 2011. Estudio dos insetos. São Paulo: Cengage Learning, 808 p.
- Turcios C,L (2013), Identificación y fluctuación poblacional de trips (Insecta: Thysanoptera) asociados con hortalizas de la región central de México.
- Unisem 2013, <https://semillastodoterreno.com/2013/05/trips-otra-plaga-mas-que-ataca-al-maiz/>.
- Urias-Lopez, M.A.; Salazar-Garcia, S.;Johansen-Naime, R. 2007. Identificación y fluctuación poblacional de especies de trips (Thysanoptera) en aguacate “Hass” en Nayarit,México. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 13:49-54
- Urias L, Salazar G, Johansen N. 2007. Identificación y fluctuación poblacional de especies de trips (Thysanoptera) en aguacate “Hass” en Nayarit, México. Revista Chapingo Serie Horticultura. 13:1 49-59 p.
- Valenzuela GR, Cambero OJ, Carvajal C, Robles BA, Retana S. 2010. Fluctuación poblacional y especies de thrips (Thysanoptera) asociados a calabaza en Nayarit, México. Agronomía Mesoamericana 21: 333-336.
- Valenzuela-García R. D., O. J. Cambero-Campos, C. R. Carvajal-Cazola, A. Robles-Bermúdez & A. Renata-Salazar. 2010. Fluctuación poblacional y especies de thrips (Thysanoptera) asociados a calabaza en Nayarit, México. Agronomia Mesoamericana 21(2): 333- 336.
- Zhaog., Liuw., Brownj. M., Knowlesc. O., 1995. Insecticide Resistance in fieldand laboratory strain of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae).Journal of Economic Entomology 88(5), 1164-1170.



**CAPITULO III. FLUTUACIÓN POBLACIONAL DE TRIPS (*Frankliniella occidentalis* pergande) Y SU CORRELACIÓN CON CARACTERES DE RENDIMIENTO EN GENOTIPOS DE MAÍZ**

**RESUMEN**

Con el objetivo de evaluar como la incidencia de trips afecta en el rendimiento de los genotipos de maíz desarrollados para el Bajío guanajuatense se realizó la siguiente investigación en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, durante los ciclos agrícola Primavera-Verano 2015 y 2016; donde se estableció un diseño bloques completos al azar con 4 repeticiones, los tratamientos fueron 10 genotipos: 8 líneas, 1 testigo comercial (30P16 Pioneer®) y un criollo (Tuxpeño), cada unidad experimental estuvo constituida por 4 surcos de 5 m de longitud y separados a 0.75 m en una superficie de 690 m<sup>2</sup>. Realizándose muestreos desde la emergencia del cultivo y hasta los 40 días, estos se realizaron 3 veces por semana mediante un aspirador manual y se contabilizaron con ayuda de un estereoscopio la cosecha se realizó de forma manual. El análisis de varianza se realizó mediante el programa estadístico SAS 9.1 aplicando la prueba Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para la separación de medias, concluyendo que para el año 2015 la línea TNM 87 y el híbrido (30P16 Pioneer®) presentaron los valores más bajos de incidencia con un promedio de 2.09 trips, siendo estos los más resistentes a la presencia de trips, por otro lado en los muestreos del año 2015 los de mayor incidencia fueron el muestreo 1, 3 y 7 a los (7, 12 y 21 DDE) respectivamente con un promedio de 5.38 trips, mientras que los de menor incidencia fueron los muestreos 12, 13 y 14 a los (33, 35 y 37 DDE) con un promedio de 0.56 trips, mientras que para el año 2016 los muestreos de mayor incidencia fueron el 3 y 7 a los (12 y 21 DDE) respectivamente con promedio de 6.39, por otro lado, los de menor incidencia fueron los muestreos 12, 13 y 14 a los (33, 35 y 37 DDE) con un promedio de 1.69 trips, finalmente, el híbrido (30P16 Pioneer®) y el criollo Tuxpeño, presentaron el rendimiento más alto (13.7 t/ha<sup>-1</sup>) en promedio. Del

mismo modo, la mayoría de estos genotipos fueron consistentes con el mejor comportamiento para los componentes de rendimiento.

***Palabras clave.*** *Zea Mays, Incidencia de trips, Caracteres agronómicos, Fluctuación poblacional.*

**POPULATION FLUCTUATION OF TRIPS (*Frankliniella occidentalis* pergande)  
AND ITS CORRELATION WITH PERFORMANCE CHARACTERS IN CORN  
GENOTYPES**

**SUMMARY**

In order to evaluate how the incidence of trips affects the yield of maize genotypes developed for Bajío Guanajuatense, the following research was carried out in the experimental field of the Technological Institute of Roque, during the Spring-Summer 2015 and 2016 agricultural cycles; where a complete randomized block design with 4 replicates was established, the treatments were 10 genotypes: 8 lines, 1 commercial control (30P16 Pioneer®) and one criollo (Tuxpeño), each experimental unit consisted of 4 furrows of 5 m in length and separated to 0.75 m in an area of 690 m<sup>2</sup>. Sampling from the emergence of the crop and up to 40 days, these were carried out 3 times a week by a manual aspirator and counted with the help of a stereoscope, the harvest was done manually. The analysis of variance was performed using the SAS 9.1 statistical program using the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) for the separation of means, concluding that for the year 2015 the line TNM 87 and the hybrid (30P16 Pioneer®) had the lowest values, of incidence with an average of 2.09 trips, being these the ones more resistant to the presence of trips, on the other hand in the samples of the year 2015 those of greater incidence were the sampling 1, 3 and 7 to the (7, 12 and 21 DDE ) Respectively with an average of 5.38 trips, While the ones with the lowest incidence were the samples 12, 13 and 14 to the (33, 35 and 37 DDE) with an average of 0.56 trips, whereas for the year 2016 the samples with the highest incidence were 3 and 7 to the 12 and 21 DDE) respectively with an average of 6.39. On the other hand, the ones with the lowest incidence were the samples 12, 13 and 14 to the (33, 35 and 37 DDE) with an average of 1.69 trips, finally the hybrid (30P16 Pioneer®) and the Tuxpeño criollo, presented the yield (13.7 t / ha<sup>-1</sup>) on average.

Likewise, most of these genotypes were consistent with the best behavior for performance components.

**Key words:** *Zea mays, Incidence of trips, agronomic Characteristics, population fluctuation.*

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En el Estado de Guanajuato en el año 2013 se sembró un promedio de 300 mil hectáreas de maíz ocupando el octavo lugar a nivel Nacional en producción; el 20 % bajo condiciones de riego y un 80 % de temporal. Siendo esta última modalidad de siembra donde se tienen los niveles más bajos de productividad y mayor incidencia de plagas y enfermedades. Si a lo anterior se añade la presencia de factores ambientales adversos y sociales se obtendrá por consiguiente resultados bajos de producción y sanidad del cultivo. De acuerdo a sus hábitos alimenticios las plagas de maíz, se pueden dividir en los siguientes grupos: los que se alimentan del follaje, los que atacan a la mazorca y las plagas de la raíz (CESAVEG, 2014). Dentro de las plagas que atacan al follaje, destaca el trips (*Frankliniella occidentalis* Pergande), que puede llegar a ocasionar pérdidas de hasta el 40 % en la producción de maíz (Unisem, 2013). El daño de los trips empieza durante los primeros 20 a 25 días desde que la planta emerge, en algunos casos el daño puede ser tan severo que la planta puede presentar el síntoma de falta de humedad. Los trips causan su daño más severo en plántulas jóvenes y durante la formación de la mazorca permitiendo la entrada de patógenos como *Fusarium* spp. (CESAVEG, 2014). Los daños provocados consisten en el raspado del tejido epitelial, haciendo aflorar jugos del vegetal que posteriormente succionan para alimentarse, el producto de estas raspaduras son finas "cicatrices" blanquecinas, que al aumentar en cantidad hacen variar el color de los folíolos y/o cotiledones del verde al plumizo, ceniciento o plateado. Esta sintomatología le da al cultivo una apariencia plateada, la cual puede apreciarse desde lejos, sobre todo cuando se da la presencia de una alta población de individuos (CESAVEG, 2007).

Esto ha inducido a realizar técnicas de mejoramiento genético aun cuando en el maíz hay una gran diversidad genética, el número de genotipos identificados como posibles fuentes de resistencia a los insectos de importancia económica, no es muy grande. Por lo tanto, la búsqueda de genotipos resistentes debe ser conducida en

manera secuencial y sistemática, en la cual el primer germoplasma a ser evaluado debería ser el más selecto, de altos rendimientos, agronómicamente deseable y ampliamente adaptado. Si después de seleccionado este germoplasma no se encuentran fuentes de resistencia, se deberán evaluar materiales no mejorados (Painter, 1951).

### 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2015 y 2016, en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) ubicado en el Municipio de Celaya, Gto., cuyas coordenadas están entre los paralelos 20°58' de Latitud Norte; los meridianos 100°82' de Longitud Oeste; y a una altura de 1765.(google maps, 2016).

Para evaluar el efecto de la incidencia de trips (*F. occidentalis*) en el rendimiento de genotipos de maíz desarrollados por el ITR para el Bajío guanajuatense, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 10 genotipos: 8 líneas (S4), un testigo comercial (30P16 Pioneer®) y un criollo (Tuxpeño) (Tabla 3.1) con 4 repeticiones, Cada unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 5 m de longitud y separados a 0.75 m con calles de 1 m, considerando los 2 surcos centrales como parcela útil. Se depositó una semilla por golpe a una distancia de 17 cm para tener una densidad de población de 80 mil plantas por hectárea

Tabla 3.1 Genotipos de maíz utilizados en la investigación. Roque, Celaya, Gto.

Genotipo	Origen	Nivel de endogamia
TNM 78	DK2042 F2	S4
TNM 112	DK2042 F2	S4
TNM 92	Pioneer 30P16 F2	S4
TNM 120	Pioneer 30P16 F2	S4
TNM 87	Caimán F2	S4
TNM 106	Caimán F2	S4
TNM 35	Roque	S4
TNM 43	Roque	S4
(30P16 Pioneer <sup>®</sup> ) Tuxpeño	Hibrido Pioneer Criollo	

TNM= Tecnológico Nacional de México, Procedencia Población F2

El trabajo se desarrolló en dos años en los ciclos agrícolas de Primavera/Verano (P/V) 2015 y 2016. La preparación del terreno consistió de dos pasos de rastra, una a lo largo del terreno y la otra de forma cruzada, posteriormente se realizó un surcado de manera mecánica, a una distancia de 0.75 m entre surcos. La siembra se realizó de forma manual depositando una semilla cada 17 cm, para tener una densidad de población de 80, 000 plantas ha<sup>-1</sup>. La siembra fue en seco para los dos experimentos, con esta condición el primer riego se realizó después de la siembra y un riego de auxilio cuando el cultivo tenía visible el cuello de la hoja 6 (etapa vegetativa), a partir de ese momento el cultivo se mantuvo con las precipitaciones que se presentaron. Se realizaron dos escardas en forma mecánica; la primera cuando el cultivo se encontraba visible el cuello de la hoja 3 (etapa vegetativa V3); posteriormente se efectuó una segunda cuando el cultivo se encontraba en V6. Se fertilizó con la fórmula 240-60-00; el 50 % del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto del nitrógeno a los 40 d después de la siembra de forma manual. Como fuentes de fertilizantes se emplearon urea (46-00-00) y DAP (18-46-00).

El muestreo de trips se realizó mediante un aspirador manual, a partir de la emergencia. Se tomaron cinco plantas al azar de los dos surcos centrales de la parcela útil de cada uno de los genotipos y estas plantas fueron etiquetadas previamente. El muestreo consistió en hacer un barrido a toda planta con el succionador manual desde el cuello, haz y envés de las hojas y cogollo. Los muestreos se llevaron a cabo tres veces por semana hasta los 40 d posteriores a la emergencia. Todos los insectos recolectados se depositaron en frascos de plástico transparente de 200 mL de agua, etiquetándolos con los datos del tratamiento, repetición y fecha y para su identificación se realizó mediante las claves taxonómicas de Mound y Marullo (1996).

La cosecha se realizó de forma manual de los dos surcos centrales en un área de 3 m por unidad experimental, cosechando y pesando todas las mazorcas de todas las plantas de cada unidad experimental.

Para la determinación del rendimiento de campo. Se pesaron las mazorcas de cada parcela útil. Con los datos obtenidos se estimó el rendimiento en Kg ha<sup>-1</sup> ajustado a un 14 % de humedad. El contenido de humedad se obtuvo con un Motomco Moisture Meter<sup>®</sup> modelo: 919 en las mazorcas recién cosechadas en campo. La estimación del rendimiento se determinó con el uso de la siguiente formula (Alcalá, 2015).

$$R = \frac{\left(\frac{SHW}{T} * 80,000\right) * 14}{20.86}$$

Dónde: SHW= Peso de la muestra cosecha, T= Número total de plantas cosechadas, 14= Humedad deseada para estandarizar el peso, 20.86= Humedad del grano al momento de la cosecha.

Para los componentes de rendimiento se seleccionaron cinco mazorcas representativas de cada unidad experimental, a las que se les midió la longitud de mazorca (LMZ) con una regla de 30 cm, considerando desde la base de la mazorca



hasta la punta; del mismo modo, con un vernier digital (TRUPER®) se determinó el diámetro de mazorca (DMZ), tomado a un tercio de la mazorca; también se determinó el número de hileras por mazorca (HPM) y el número de granos por hilera (GPH), considerando dos hileras por mazorca y obteniendo el promedio de las mismas.

El peso (Kg) de cinco mazorcas (P5MZ) se realizó con una báscula digital (Rhino®), posteriormente se desgranaron y se determinó el peso de grano (PG). El peso de olate (PO) se obtuvo restándole al peso de cinco mazorcas el peso de grano. Finalmente en el peso de cien semillas (P100S) se contaron y pesaron en una báscula de precisión digital (ADAM®) cuatro repeticiones de 100 semillas para cada material y posteriormente se determinó el valor promedio. Por otro lado, el peso volumétrico se determinó usando una balanza de peso por hectolitro marca: Seedburo Equipment Co®. Modelo: 1022W y el resultado expresado en  $\text{kg HI}^{-1}$ .

Con los datos de todos los caracteres evaluados se realizó un análisis de varianza usando el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 2002) ver 9.1. La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

### 3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3.2, se observan los cuadrados medios del análisis de varianza para genotipos de maíz en los muestreos de trips (*F. occidentalis*), donde se observa efecto significativo entre genotipos, la interacción genotipo por muestreo no se observaron efectos significativos en la incidencia de trips en los genotipos evaluados para el ciclo P/V 2015.

Lo que indica que los genotipos evaluados tuvieron efecto en la incidencia de trips. Estas observaciones son similares a las reportadas por Kogel *et al.* (1997) quienes observaron diferencias significativas entre los materiales de crisantemo (*Chrysanthemum Dendranthema grandiflora*) con la densidad de trips (*Frankliniella occidentalis*) en diferentes muestreos en estaciones del año. Para el ciclo P/V 2016 los genotipos no mostraron efecto en la densidad de trips.

En relación a los muestreos, estos mostraron efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) en los dos años evaluados, esto debido principalmente a las condiciones ambientales que se presentaron durante el desarrollo de la investigación, por otro lado, el análisis de varianza no mostró diferencias para la interacción genotipo x muestreo (GxM) para los años de evaluación.

**Tabla 3.2** Cuadrados medios para la fluctuación de trips en Maíz. Roque, Celaya, Gto.

F.V	G.L	P/V (2015)	P/V (2016)
Rep	3	3.98	16.47
Geno (G)	9	7.92*	12.25 <sup>ns</sup>
Muestreo (M)	13	154.85**	156.27**
GxM	117	3.66 <sup>ns</sup>	9.51 <sup>ns</sup>
Muestreo (Rep)	39	4.59 <sup>ns</sup>	7.25 <sup>ns</sup>
Error	378	3.42	9.35

\*, \*\*, = significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente;  
ns= no significativo; P/V Primavera-Verano.

En la tabla 3.3, se presenta el comportamiento de los genotipos en la incidencia de trips, en donde se observa que la línea TNM 85 y el híbrido 30P16 (Pioneer®) presentaron la menor incidencia de trips durante todos los muestreos, con un promedio de 2.09 trips por planta; mientras que, los materiales que presentaron la mayor incidencia fue la línea TNM 43 con 3.28 trips por planta. Mientras que el criollo Tuxpeño y las líneas TNM 112, TNM 78, TNM 35, TNM 92, TNM 120 y TNM

106 formaron un grupo con 2.59 trips por planta. Esto indica que existe una fuerte variación fenotípica para los genotipos evaluados debido probablemente a la constitución genética de la cual provienen los diferentes materiales, Estos resultados concuerdan con los observados por Turcios (2013), que reportó valores de 3-5 trips por planta en un estudio sobre la fluctuación poblacional de trips en jitomate (*Lycopersicon esculentum*), chile (*Capsicum annum* L.), tomate de cascara (*Physalis ixocarpa* Brotero), pepino (*Cucumis sativus*), calabacita (*Cucurbita pepo* L.) y cebolla (*Allium cepa*).

**Tabla 3.3** Comparación de medias para la fluctuación de trips en Maíz. Roque, Celaya, Gto. 2015.

Genotipo	Nombre	DT
8	TNM 43	3.28 a
10	Tuxpeño	2.85 ab
2	TNM 112	2.83 ab
1	TNM 78	2.75 ab
7	TNM 35	2.64 ab
3	TNM 92	2.44 ab
4	TNM 120	2.33 ab
6	TNM 106	2.33 ab
9	30P16 (Pioneer <sup>®</sup> )	2.12 b
5	TNM 87	2.07 b

DT = densidad de trips.

Con relación al efecto de los 14 muestreos relacionados a los días después de la emergencia (DDE) con la densidad de trips (DT) del año 2015 y 2016 (Tabla 3.4), se observa que para el año 2015 durante los primeros tres muestreos a los 7, 12 Y 21 DDE se presentó la mayor DT con valores de 5.52, 5.52 y 5.10 trips por planta, respectivamente. Mientras que para el año 2016 la presencia de trips varió significativamente; presentándose la mayor DT en el muestreo 7, 3, 6 y 4 con valores de 7.57, 6.77, 6.35 y 6.32 trips por planta a los 3, 7, 19 y 14 DDE respectivamente, lo que indica que la mayor densidad de trips para los dos años en

estudio se presentó en los primeros 21 DDE. Estos resultados concuerdan con los reportados por CESAVEG (2014) quien menciona que el daño por trips en el cultivo de maíz empieza durante los primeros 20 a 25 d desde que la planta emerge causando su daño más severo en plántulas jóvenes y terminado hasta de los 40 a 45 días después de la emergencia. Así mismo, se encontraron valores bajos de *F. occidentalis* en los dos años de estudio en los 10 genotipos de maíz evaluados en los muestreos realizados a los 33, 37 y 35 DDE (muestreos 13, 14 y 12, respectivamente) con valores para el año 2015 de 0.25, 0.27 y 1.17 y para el año 2016 con 1.30, 2.17 y 1.62 trips por planta respectivamente.

**Tabla 3.4** Comparación de medias para densidad de trips en diferentes muestreos. Roque, Celaya, Gto.

Muestreos	DDE	DT (2015)	DT (2016)
1	7	5.52 a	3.77 def
3	12	5.52 a	6.77 ab
7	21	5.10 ab	7.57 a
8	23	4.82 ab	4.42 cde
6	19	4.07 b	6.35 abc
9	26	1.77 c	3.62 def
11	30	1.65 cd	2.52 efg
4	14	1.52 cde	6.32 abc
10	28	1.47 cde	3.82 def
5	16	1.47 cde	5.10 bcd
2	9	1.32 cde	3.77 def
12	33	1.17 cde	1.62 fg
14	37	0.27 de	2.17 fg
13	35	0.25 e	1.30 g

DDE= días después de la emergencia, DT = densidad de trips

El análisis de varianza combinado a través de fechas de siembra para rendimiento y sus componentes, (longitud de mazorca (LMZ), diámetro de mazorca (DMZ), número de hileras por mazorca (HPM) y número de granos por mazorca (GPH) y densidad de trips) de los años 2015 y 2016 (Tabla 3.5), mostro diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para Rto, LMZ, HPM y GPH. Estos resultados son similares

a los reportados por Bejarano *et al.* (2000) quienes observaron diferencias genotípicas significativas para rendimiento de grano y sus componentes cruza simples de maíz provenientes de líneas S3.

Mientras que para las variables DT y DMZ, no hubo diferencias estadísticas entre genotipos. Por otro lado, la fecha de siembra solamente modifico estadísticamente la densidad de trips ( $P \leq 0.01$ ), y GPH ( $P \leq 0.05$ ).

Las variables Rto, LMZ, DMZ y HPM no mostraron diferencias estadísticas entre fechas de siembra; estos resultados son similares a los reportados por Rafique *et al.*, (2004) quienes encontraron bajo efecto ambiental para las variables longitud de mazorca, diámetro de mazorca y número de hileras.

Por último, la interacción genotipo x fecha (GxF), mostraron efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) para las variables LMZ, DMZ, HPM y GPM; mientras que, en Rto y DT no hubo diferencias. Estos resultados concuerdan con los reportados por Silva *et al.*, (2009) quienes obtuvieron diferencias significativas en la interacción fecha x línea (F x L) en maíz para componentes del rendimiento.

**Tabla 3.5** Análisis combinado a través de fechas de siembra para rendimiento de campo y sus componentes en genotipos de maíz. Roque, Celaya, Gto.

F.V	G.L	Rto (Kg ha <sup>-1</sup> )	DT (trips)	LMZ (cm)	DMZ (mm)	HPM(no)	GPH(no)
Rep	3	3091032.8	0.40	0.23	37.53	1.13	1.65
Geno (G)	9	70087561.3**	0.59 <sup>ns</sup>	22.38**	24.17 <sup>ns</sup>	4.76**	156.87**
Fecha (F)	1	4912535.9 <sup>ns</sup>	30.62**	3.04 <sup>ns</sup>	30.38 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	40.61*
GxF	9	2727465.1 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	8.69**	85.60**	2.85**	101.35**
Error	57	3589792.5	0.46	1.24	16.53	0.83	9.03
C.V (%)	-	21.23	21.11	6.23	8.01	5.81	8.69

\*, \*\*, Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad; ns= no significativo, Rto, DT, LMZ, DMZ, HPM, GPH, corresponden a rendimiento de campo, densidad de trips, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera, respectivamente.

Por otro lado el análisis combinado a través de fechas de siembra (Tabla 3.6) mostró diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para las variables P5MZ, PG, P100S y PV, y el PO fue significativa ( $P \leq 0.05$ ). Las fechas de siembra modificaron las variables P5MZ y PG ( $P \leq 0.05$ ) y el PO, P100S y PV, no fueron afectadas estadísticamente. Finalmente, la interacción genotipo x fecha (GxF) no mostraron diferencias en las variables evaluadas.

**Tabla 3.6** Cuadrados medios del análisis combinado para rendimiento y sus componentes en genotipos de Maíz. Roque, Celaya, Gto.

F.V	G.L	P5MZ (Kg)	PG (Kg)	PO (Kg)	P100S (g)	PV (Kg hl <sup>-1</sup> )
Rep	3	0.025	0.050	0.0004	22.52	41.17
Geno (G)	9	0.970 **	0.777 **	0.0049 *	264.75 **	96.45 **
Fecha (F)	1	0.138 *	0.180 *	0.0035 <sup>ns</sup>	21.11 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>
GxF	9	0.029 <sup>ns</sup>	0.030 <sup>ns</sup>	0.0011 <sup>ns</sup>	5.40 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>
Error	57	0.032	0.026	0.002	7.68	6
C.V (%)	-	16.77	18.54	22.46	7.49	3.30

\*, \*\*, Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns= no significativo, respectivamente. P5MZ, PG, PO, P100S y PV, corresponden a peso de cinco mazorcas, peso de grano, peso de olote, peso de cien semillas y peso volumétrico, respectivamente.

En la Tabla 3.7 se muestran la comparación de medias para las variables de rendimiento de campo (Rto), longitud de mazorca (LMZ), diámetro de mazorca (DMZ), número de hileras por mazorca (HPM) y granos por hilera (GPH) de los años 2015 y 2016; en donde se observa una fuerte variación fenotípica entre los genotipos evaluados para la mayoría de los caracteres registrados.

Aunque en términos generales, el criollo tuxpeño mostró los mejores resultados para Rto, LMZ y GPH con 14.377 t ha<sup>-1</sup>, 21.02 cm y 43.45 granos por hilera, respectivamente.

Para el Rto las líneas TNM 43, TNM 112, TNM 120 y TNM 76 presentaron los valores más bajos con una producción menor a  $7.008 \text{ t ha}^{-1}$ , lo que indica que se presentó una reducción de más del 50% entre el material más eficiente con los materiales de menor producción. Efectos similares se observaron en la variable LMZ donde las líneas TNM 112, TNM 43, TNM 120 y TNM 78 presentaron valores bajos a 17.55 cm.

Con respecto a HPM, sobresalientes las líneas TNM 106 y TNM 43 con 16 hileras por mazorca; por otro lado, la línea TNM 112 y el criollo Tuxpeño mostraron los valores más bajos con 14. Esta variable está relacionada con el riego y la nutrición la planta según lo mencionado por Acevedo en 2005.

Mientras que en GPH, se aprecia que las líneas TNM 78 y TNM 87 presentaron los valores más bajos con 29 y 30 granos por hilera, estos resultados coinciden con los reportados por Alfaro *et al.*, (2009) quien evaluó híbridos y sus componentes, teniendo materiales con 14 y 16 hileras y estos mismos presentaron valores de 31 a 39 de granos por hilera.

Los resultados anteriores confirman que el rendimiento de grano es un carácter cuantitativo y sujeto fuertemente a la influencia del ambiente de producción y al potencial genético de los materiales (Kempton, 1984; Flores *et al.*, 1998; Alejos *et al.*, 2006; Cepeda *et al.*, 2009).

**Tabla 3.7** Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en genotipos de Maíz. Roque, Celaya, Gto.

Genotipo	Nombre	Rto (Kg ha <sup>-1</sup> )	LMZ (cm)	HPM (no)	GPH(no)
10	Tuxpeño	14377.6 a	21.02 a	14.30 c	43.45 a
9	(30P16 Pioneer <sup>®</sup> )	13055.2 ab	19.06 b	15.75 abc	36.40 bc
6	TNM 106	10437.9 bc	18.96 b	16.65 a	36.45 bc
5	TNM 87	10216.7 bc	18.47 bc	15.35 abc	30.70 d
7	TNM 35	7674.6 cd	16.95 cd	16.20 ab	33.22 cd
3	TNM 92	7404.1 dc	18.89 b	16.05 ab	40.10 ab
8	TNM 43	7008.9 d	15.97 d	16.65 a	31.77 cd
2	TNM 112	6940.7 d	17.55 bcd	14.95 bc	31.80 cd
4	TNM 120	6146.2 d	16.15 d	15.2 abc	32.15 cd
1	TNM 78	5942.5 d	15.94 d	16.25 ab	29.87 d

Rto, LMZ, HPM, GPH, corresponden a rendimiento de campo, longitud de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera, respectivamente.

En la tabla 3.8, se presenta la comparación de medias para peso de cinco mazorcas (P5MZ), peso de grano (PG), peso de cien semillas (P100S) y peso volumétrico (PV), donde el híbrido (30P16 Pioneer<sup>®</sup>) y el criollo Tuxpeño sobresalieron con valores altos de (1.51 Kg, 1.28 Kg y 43.5g respectivamente), mientras que la línea TNM 78 presentó los valores más bajos (0.68 Kg, 0.51 Kg y 30.26g respectivamente).

Para P5MZ se observa que formaron 2 grupos; el primero con las líneas TNM 87, TNM 106, el híbrido (30P16 Pioneer<sup>®</sup>) y el criollo Tuxpeño con valores superiores a 1.35 Kg; el segundo grupo formado por las líneas TNM 43, TNM 92, TNM 35, TNM 112, TNM 120 y TNM 78 con valores inferiores a 1.0 Kg.

En PV se observó que las líneas TNM 112 y TNM 106 presentaron los valores más altos para esta característica con 78 Kg hl<sup>-1</sup>; mientras que, las líneas TNM 120 y TNM 43 presentaron el menor peso volumétrico con un promedio de 69 kg hl<sup>-1</sup>. Estos valores indican que el manejo agronómico fue adecuado. Estos resultados coinciden



con los reportados por Vázquez *et al.* (2003), quienes afirman que el 60 % de las retrocruzas hechas en maíz tuvieron un peso hectolitrito mayor o igual al mínimo establecido en la norma mexicana de calidad (74 Kg hl<sup>-1</sup>). La cual establece que para que un genotipo de maíz este dentro de la norma debe de tener valores de 70 a 80 kg hl<sup>-1</sup> y en este sentido, los resultados de esta investigación, la mayoría de los genotipos se encuentran dentro de esta clasificación, con excepción de la línea TNM 120 que presento un valor inferior a 70 kg hl<sup>-1</sup>.

**Tabla 3.8** Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en genotipos de Maíz. Roque, Celaya, Gto.

Genotipo	Nombre	P5MZ (kg)	PG (Kg)	P100s (g)	PV (kg hl <sup>-1</sup> )
9	Tuxpeño	1.52 a	1.30 a	45.8 a	76.25 ab
10	(30P16 Pioneer <sup>®</sup> )	1.50 a	1.26 a	42.13 a	75.00 abc
5	TNM 106	1.48 a	1.18 a	42.72 a	75.75 ab
6	TNM 87	1.35 a	1.16 a	41.61 a	78.75 a
8	TNM 35	0.93 b	0.78 b	31.48 c	70.00 d
3	TNM 92	0.91 b	0.73 bc	36.60 b	75.62 ab
7	TNM 43	0.87 b	0.7 bc	32.72 bc	71.50 cd
2	TNM 112	0.78 b	0.66 bc	36.42 b	78.00 a
4	TNM 120	0.70 b	0.52 bc	30.25 c	68.25 d
1	TNM 78	0.68 b	0.51 c	30.26 c	72.25 bcd

P5MZ, PG, P100S y PV, corresponden a peso de cinco mazorcas, peso de grano, peso de cien semillas y peso volumétrico, respectivamente.

La comparación de medias para fechas de siembra de los ciclos Primavera-Verano (P-V) 2015 y 2016, para los componentes de rendimiento se observa que para el año 2016 se muestra un comportamiento mejor en GPH para la mayoría de los genotipos. Sin embargo, hubo mayor incidencia de trips por planta; esto debido probablemente a las condiciones ambientales como la temperatura, humedad relativa y precipitación.

Con respecto a DT que en el año 2016 presentó un aumento de más del 47 % en referencia a el año 2015, (2.59 a 3.83 trips por planta de 2015 a 2016), lo que indica que las condiciones climatológicas del año 2016 fueron la idóneas para el desarrollo de este insecto plaga, esto coincide con los reportados por Beres *et al*, (2013) quien realizo un trabajo de fluctuación población de trips en maíz en diferentes fechas y años obteniendo datos similares a los encontrados en este trabajo, con una gran variación entre los dos años debido a las condiciones climatológicas.

Para P5MZ y PG los valores más altos se observaron en el año 2015 con 1.11 y 0.93 Kg respectivamente, valores superiores en 7.20 y 10.75% con respecto al 2016; lo que indica, que las condiciones climatológicas del año 2015 fueron las idóneas para el desarrollo de los materiales y sobre todo incidieron en el buen desarrollo de estas características que son un atributo del rendimiento y pueden ser mejoradas por el efecto de la fecha de siembra. En este topico Hernández (2007) considera que al igual que los híbridos experimentales, las líneas parentales también deben evaluarse en los mismos ambientes para determinar su estabilidad o comportamiento particular a un ambiente determinado.

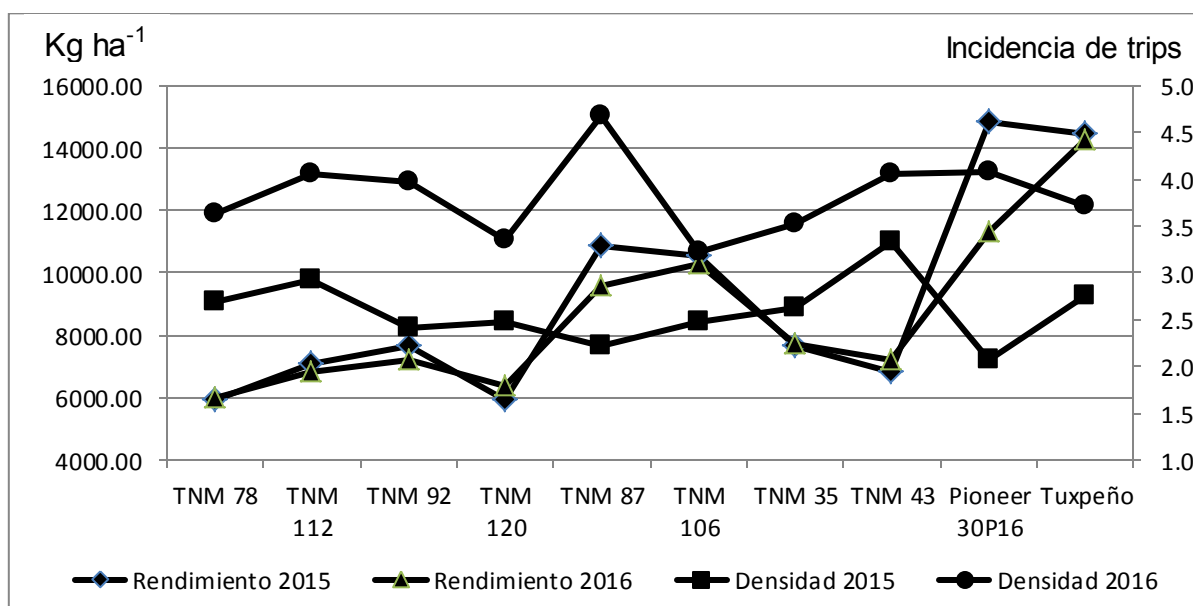
**Tabla 3.9.** Comparación de medias para fechas en sus componentes de rendimiento en genotipos de maíz. Roque, Celaya, Gto.

Fecha	GPH(no)	P5MZ (Kg)	PG (Kg)	DT (trips)
P-V 2015	33.88 b	1.11 a	0.93 a	2.59 b
P-V 2016	35.30 a	1.03 b	0.83 b	3.83 a

GPH, P5MZ, PG, DT, corresponden a granos por hilera, peso de cinco mazorcas, peso de grano y densidad de trips.

En la Figura 3.1, se muestra el efecto de la DT en el Rto de campo de los genotipos en estudio para el ciclo de siembra P/V 2015 y P/V 2016; en donde se observa que para el año 2015 las líneas TNM 43 y TNM 112 presentaron la mayor DT con 3.3 y

2.9 trips por planta y bajo rendimiento de 6.83 y 7.08 t ha<sup>-1</sup>, por el contrario el criollo Tuxpeño presento 2.8 trips por planta y un alto rendimiento de (14.48 ton ha<sup>-1</sup>), seguido por el hibrido 30P16 Pioneer®. Para el ciclo de siembra P/V 2016, estos materiales presentaron la misma tendencia con valores de DT de 3.7 y 4.1 trips por planta, pero altos rendimientos (14.27 y 11.29 t ha<sup>-1</sup>); lo que indica que estos materiales en los dos ciclos de siembra presentaron mayor tolerancia a el ataque de trips. Estos valores son diferentes a los reportados por Vergara (1999) que menciona que un trips por planta, en algodón (*Gossypium hirsutum*) ocasiona un decremento de 0.30 cm de altura, y causa de 8 a 9% de perdida en la producción. Santos (2010), menciona que en el cultivo de maracuyá las perdidas empiezan cuando el trips llega a una densidad promedio por terminal de 13 trips llegando a tener pérdidas de 311.34 Kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 3.1** Incidencia de trips (*Frankliniella occidentalis pergande*) relacionado con el rendimiento en genotipos de maiz en Primavera-Verano 2015 y 2016. Roque, Celaya, Gto.

### 3.4 CONCLUSIONES

En el año 2015 la línea TNM 87 y el híbrido 30P16 Pioneer® presentaron los valores más bajos de incidencia de trips (2.09); mostrando estos genotipos mayor resistencia a la plaga con respecto a los muestreos del año 2015, los de mayor incidencia fueron el 1, 3 y 7 a los (7, 12 y 21 DDE respectivamente), con un promedio de 5.38 trips por planta; mientras que los de menor incidencia fueron los muestreos 12, 13 y 14 realizados a los 33, 35 y 37 DDE con un promedio de 0.56 trips.

En el año 2016 los muestreos de mayor incidencia fueron el 3 y 7 a los 12 y 21 DDE respectivamente, con promedio de 6.39 trips. Por otro lado, los de menor incidencia fueron los muestreos 12, 13 y 14 realizados a los 33, 35 y 37 DDE con un promedio de 1.69 trips por planta.

El híbrido 30P16 Pioneer® y el criollo Tuxpeño presentaron el mejor comportamiento agronómico con 13.7 ton ha<sup>-1</sup> en promedio. Aunque estos genotipos mostraron la mayor incidencia de la plaga.

Finalmente, la siembra realizada en el ciclo P/V 2016, fue consistente con la mayor densidad de trips por planta debido a las condiciones agroecológicas de ese ciclo.

### 3.5 LITERATURA CITADA

- Alejos, G.; Monasterios, P y Rea, R. 2006. Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del Estado de Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical* 56(3): 369-384.
- Alfaro, Y.; V. Segovia, P. Monasterio y R. Silva. 2009. Evaluación del rendimiento, sus componentes y la calidad de grano en híbridos simples de maíz amarillo. *Revista Científica UDO Agrícola* 9 (4): 728-742.
- Ascensión, BG. 2000. Fluctuación poblacional, daño e identificación de thrips del aguacate cv. Hass en Michoacán, México. Tesis de Maestría en Ciencias.
- Bejarano, A. 2003. Descripción y prueba del híbrido simple de maíz amarillo FONAIAP 1. *Agronomía Trop.* 53 (4): 501-506.
- Bereś P.K., Kucharczyk H., Kucharczyk M. (2013): Thrips abundance on sweet corn in southeastern Poland and the impact of weather conditions on their population dynamics. *Bulletin of Insectology*, 66 (1): 143–152.
- Cesaveg, 2007. Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato. Manual de Plagas y Enfermedades del Maíz. Campaña Manejo Fitosanitario del Maíz.
- Cesaveg, 2014. Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato. Manual de Plagas y Enfermedades del Maíz. Campaña Manejo Fitosanitario del Maíz.
- Cepeda B, R.; Carballo C, A y Hernández A, C. 2009. Interacción genotipo ambiente en la estructura y calidad de nixtamal-tortilla de grano en híbridos de maíz. *Agrociencia* 43(7): 695-706.
- Chávez, A.J.L., 1995. Mejoramiento de plantas 2. Edit. Trillas. Ed. 1. Mex. D.F.
- De Kogel, W.J., Marieke van der Hoek<sup>1</sup>, Marian T.A. Dik<sup>1</sup>, Barbara Gebala<sup>1</sup>, Folchert R. van Dijken<sup>1</sup> & Chris Mollema<sup>1</sup>, 1997. Seasonal variation in resistance of chrysanthemum cultivars to *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae).

- Hernández J., A. J. 2007. Predicción e identificación de híbridos simples de maíz (*Zea mays* L.) mediante marcadores moleculares RAPD y SSR. Tesis Doctoral. UCV; Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 137 p.
- Kempton, R.A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by interactions. *Journal of agricultural Science* 103: 123-135.
- Mound, LA; Marullo, R. 1996. The thrips of central and south America: an introduction (Insecta; Thysanoptera). *Memoirs on Entomol. Int.* vol. 6. 487 p.
- Painter, R.H. 1951. *Insect resistance in crop plants*. New York, NY, USA, The MacMillan. 520 pp.
- Rafique, M., A. Hussain, T. Mahmood, A.W. Alvi and M.B. Alvi. 2004. Heritability and interrelationships among grain yield and yield components in maize (*Zea mays* L.). *Int'l. J. Agric. & Biol.* 6(6): 1113-1114.
- Santos amaya Oscar F. 2010, determinación del nivel de daño económico y la fluctuación poblacional de *neohydatothrips signifer* (priesner 1932). (thysanoptera:thripidae) en maracuyá (*passiflora edulis* degener) var. flavicarpa en el municipio de suaza (huila).
- Turcios C,L (2013), Identificación y fluctuación poblacional de trips (Insecta: Thysanoptera) asociados con hortalizas de la región central de México.
- Unisem 2013, <https://semillastodoterreno.com/2013/05/trips-otra-plaga-mas-que-ataca-al-maiz>.
- Vásquez, C. M. L. Guzmán, J. García, F. Márquez, J. Castillo. 2003. Calidad de grano y tortilla de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 26, núm. 004, octubre-diciembre, pp. 231-238, Sociedad Mexicana de Fitotecnia, A.C. Chapingo, México.
- Vergara R. 1999. Los trips: plagas de importancia económica de agroecosistemas hortícolas. En: *Memorias Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología*, SOCOLEN. 208-227 p.
- WR. Silva Díaz, Yanely J. Alfaro Jiménez Y Ricardo J. Jiménez Aponte, 2009. evaluación de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra.

<https://www.google.com.mx/maps/place/Instituto+Tecnol%C3%B3gico+de+Roque/@20.5813874,100.8355612,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x94dd9ba5b515776e!8m2!3d20.5813874!4d-100.8268064>, Google maps 2016.

#### IV. CONCLUSIONES GENERALES

Existe una fuerte variación en la densidad poblacional de *Frankliniella occidentalis* pergamde entre los genotipos evaluados, esto debido probablemente a la constitución genética de la cual provienen y las características morfológicas, como la arquitectura de la planta, densidad de tricomas, dureza o tamaño de las hojas, o a la presencia en sus estructuras vegetativas o reproductivas de sustancias químicas que afectan tanto la abundancia de *Frankliniella occidentalis* como algunos aspectos de su desarrollo.

El material genético que menor incidencia presentó para el año 2015 en los ciclos de siembra P/V y V/O fue la línea TNM 87, procedencia Caimán y nivel de endogamia (S4) un promedio de 4 y 2 trips por planta respectivamente.

En el año 2016 los materiales que mostraron menor incidencia para el ciclo P/V fueron las líneas TNM 120, TNM 106 y TNM 35 con un promedio de 3.5 trips por planta, mientras que para el ciclo V/O la línea TNM 43 y el híbrido (30P16 Pioneer<sup>®</sup>) fueron los más resistentes a la presencia de trips con un promedio de 2.5 trips por planta.

En el año 2015 la línea TNM 87 y el híbrido 30P16 Pioneer<sup>®</sup> presentaron los valores más bajos de incidencia de trips (2.09); mostrando estos genotipos mayor resistencia a la plaga con respecto a los muestreos del año 2015, los de mayor incidencia fueron el 1, 3 y 7 a los (7, 12 y 21 DDE respectivamente), con un promedio de 5.38 trips por planta; mientras que los de menor incidencia fueron los muestreos 12, 13 y 14 realizados a los 33, 35 y 37 DDE con un promedio de 0.56 trips.

En el año 2016 los muestreos de mayor incidencia fueron el 3 y 7 a los 12 y 21 DDE respectivamente, con promedio de 6.39 trips. Por otro lado, los de menor incidencia



fueron los muestreos 12, 13 y 14 realizados a los 33, 35 y 37 DDE con un promedio de 1.69 trips por planta.

El híbrido 30P16 Pioneer® y el criollo Tuxpeño presentaron el mejor comportamiento agronómico con 13.7 ton ha<sup>-1</sup> en promedio. Aunque estos genotipos mostraron la mayor incidencia de la plaga.

Finalmente, la siembra realizada en el ciclo P/V 2016, fue consistente con la mayor densidad de trips por planta debido a las condiciones agroecológicas de ese ciclo.

## V. LITERATURA CITADA

- Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, S y Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de Maíz. Editorial la Barrosa. Buenos Aires.
- Bielza, P., 1997: *El trips del trigo*, *Haplothrips tritici Kurdjumov* (Thysanoptera: Phlaeothripidae), en *Castilla- La Mancha: biología, ecología, daños y métodos de control*. Tesis Doctoral, E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid, 484 pp.
- Catresona, J., Gagliana, E., Puhl, L., Bado, S., Vianna, L., Castresana, M., 2008. Atracción del Trips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) con Trampas de Luz en un Cultivo de *Gerbera jamesonii* (G). IDESA Vol. 26. No.3. Chile.
- Cesaveg, 2007. Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato. Manual de Plagas y Enfermedades del Maíz. Campaña Manejo Fitosanitario del Maíz.
- Cesaveg, 2014. Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato. Manual de Plagas y Enfermedades del Maíz. Campaña Manejo Fitosanitario del Maíz.
- Gould, S.J.(1997). Bright star among billions. *Science* 275,599-600.
- Márquez. S. F, L. Sahagún, J. A. Carrera, E. Barrera (2000) Retrocruza limitada para el mejoramiento de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 51 p.
- Miramontes, P.C.U. 2012. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. SIAP: Mexico, D.F. p. 208.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011. Estadísticas de producción de semillas del año agrícola 2009 (en línea). Consultado julio 2011. Disponible en [http://www.siap.gob.mx/aagricola\\_siap/icultivo/index.jsp](http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp).
- SIAP. (2014) producción agrícola (vol,1). (SAGARPA, Ed., y <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>, trad.) Escadon Miguel Hidalgo, D.F, México: SERVICIO DE INFORMACION AGROALIMENTARIA Y PESQUERA, MÉXICO.

SIAP. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera), 2015. En:  
<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>, trad.).  
consultado febrero 2016.

[http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Ma%C3%ADz%20\(may%202014\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Ma%C3%ADz%20(may%202014).pdf).

<https://www.produccionmundialmaiz.com/> consultado 01 de mayo 2017.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**RECUBRIMIENTOS DE QUITOSANO CON UN AGENTE MICROBIANO (*Beauveria bassiana*) Y SU EFECTO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ Y FRIJOL**

**QUE PRESENTA**

**NELY MONSERRAT FLORES OSORNIO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. CÉSAR LEOBARDO AGUIRRE MANCILLA**

**CO-DIRECTOR: DR. JORGE ARIEL TORRES CASTILLO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**FEBRERO 2017**

La tesis “Recubrimiento de quitosano con un agente microbiano (*Beauveria bassiana*) y su efecto en la germinación de semillas de maíz y frijol”, fue realizada por la alumna **Nely Monserrat Flores Osornio**, bajo la Dirección del Dr. César Leobardo Aguirre Mancilla, Codirección de Dr. Jorge Ariel Torres Castillo y asesoría de Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel, Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_  
**Dr. César Leobardo Aguirre Mancilla**  
**Cédula: 4798239**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Jorge Ariel Torres Castillo**  
**Cédula: 7980612**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**  
**Cédula: 4875646**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente**  
**Cédula: 7625496**

## **DEDICATORIAS**

### **A Dios**

Por haberme permitido llegar hasta este punto que es la terminación de mi tesis, por haber permitido estar aquí darme salud y que cada caída o error son experiencias y aprendizajes para poder salir adelante ante ellas y haber logrado cada uno de mis objetivos.

### **A mi hijo Juan Diego**

Por ser el motor que me impulsa a seguir adelante ya que es un ser lleno de amor e inocencia y ternura, que cada día me da la energía con su sonrisa, para poder continuar con mis proyectos de vida y poderlos compartir junto a él.

### **A mis padres María Guadalupe Osornio Gonzales y José Luis Flores Ramírez**

Por brindarme la vida ya que sin ellos no estaría aquí, por haberme brindando su apoyo día con día, por impulsarme a no caer y darme la motivación de seguir adelante.

### **A mis hermanos María Guadalupe Flores y José Luis Flores**

Por ser el ejemplo de vida y darme su apoyo incondicional en todo momento, sus consejos y sobre todo su amor.

### **A mi comité de Tesis**

Por brindarme su apoyo, consejos y sobre todo su tiempo para poder concluir satisfactoriamente mi proyecto de tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto Tecnológico de Roque por brindarme la oportunidad nuevamente de continuar con mis estudios ahora de posgrado, proporcionarme la formación académica para concluir la maestría en Producción y Tecnología de Semillas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico con la beca 665724 para la realización de los estudios de posgrado.

Al Laboratorio de Biotecnología y Genética del Instituto de Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (IEA-UAT) por haberme brindado el apoyo económico del proyecto de tesis PFI2014-60 y haber proporcionado las instalaciones para realizar la primera etapa de tesis.

Al Laboratorio de Microbiología de Semillas en el área de Posgrado del Instituto Tecnológico de Roque por permitirme realizar la segunda etapa de mi proyecto de tesis y haberla concluido satisfactoriamente.

Al Dr. Jorge Ariel Torres Castillo por su apoyo y codirección, sobre todo su paciencia y consejos, dedicación, sugerencias, recomendaciones y aportaciones que contribuyen a mi preparación y finalmente a la terminación de tesis y sobre todo la estancia en la Universidad Autónoma de Tamaulipas (IEA-UAT).

Al Dr. César Leobardo Aguirre Mancilla por su valiosa participación como director de tesis por sus consejos, paciencia, aportaciones, sugerencias sobre todo su tiempo para poder concluir mi trabajo de tesis durante el posgrado.

Al Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel, por las asesorías brindadas, por haber contribuido dentro de mi proyecto de tesis sus conocimientos, sugerencias y su valioso tiempo.

Al Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente, por las asesorías sugerencias y correcciones que me permiten tener un mayor aprendizaje, por su valioso tiempo brindado, dedicación y haber participado como asesor en mi proyecto de tesis.

Al Dr. Ricardo Ernesto Preciado Ortiz, por haber proporcionado parte del material genético e Instalaciones de INIFAP para almacenamiento de semillas de maíz blanco cristalino híbrido 4-316 y 4-317 y frijol negro Jamapa.

Al Dr. Gerardo Acosta García, por brindarme su apoyo en el Laboratorio de Biología Molecular del Instituto Tecnológico de Celaya para poder concluir con la última etapa de mi proyecto de tesis.



## ÍNDICE

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	8
I. INTRODUCCIÓN .....	9
II. Objetivos .....	11
2.1. Objetivo general .....	11
2.2. Objetivos específicos .....	11
2.3. Hipótesis .....	11
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	12
3.1 Recubrimientos de semillas .....	12
3.2 Generalidades del Quitosano .....	13
3.2.1 Quitina y Quitosano .....	13
3.2.2 Propiedades físico-químicas .....	15
3.3 Propiedades del Quitosano .....	16
3.3.1 Actividad antibacteriana .....	16
3.3.2 Actividad antifúngica .....	17
3.3.3 Actividad antiviral .....	18
3.3.4 Inductor de resistencia .....	18
3.3 Principales Aplicaciones en la agricultura .....	19
3.4 Hongos entomopatógenos .....	21
3.3.1 <i>Beauveria bassiana</i> .....	22

3.5	Germinación en semillas.....	22
3.5.	Almacenamiento de semillas.....	23
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
4.1	Localización del Experimento.....	25
4.2	Material Biológico.....	25
4.3	Desinfección de Semillas.....	26
4.4	Prueba de viabilidad de la semilla (Germinación).....	26
4.5	Obtención de quitosano .....	27
4.6	Obtención de conidias de <i>Beauveria bassiana</i> .....	27
4.7	Formulación de Tratamientos .....	28
4.8	Procedimiento de Recubrimientos .....	28
4.9	Efecto del recubrimiento y almacenamiento en la germinación de las semillas.....	29
4.10	Efecto de los recubrimientos con quitosano sobre el agente microbiano (conidias de <i>Beauveria bassiana</i> ).....	29
4.10.1	Cortes Histológicos .....	29
4.11	Diseño experimental .....	30
4.11.1	Análisis estadístico .....	30
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
5.1	Recubrimientos de quitosano y agente microbiano ( <i>Beauveria bassiana</i> ) para la semillas de maíz.....	31
5.1.1	Efecto del recubrimiento en la germinación de los siete tratamientos empleados en semilla de maíz.....	31
5.2	Recubrimientos de quitosano y agente microbiano ( <i>B. bassiana</i> ) para la semilla de frijol negro Jamapa.....	36

5.3 Recubrimientos de quitosano y agente microbiano (conidias de <i>Beauveria bassiana</i> ) para la semillas de maíz durante su almacenamiento.....	40
5.3.1 Efecto del almacenamiento en la germinación de semillas de maíz con los siete tratamientos.....	40
5.4 Recubrimientos de quitosano y agente microbiano (conidias de <i>Beauveria bassiana</i> ) para la semillas de frijol negro Jamapa durante su almacenamiento.	45
5.4.1 Efecto del almacenamiento en la germinación de semillas de frijol negro Jamapa con los siete tratamientos.....	45
5.5 Análisis histológicos para determinar la presencia de micelio en los tejidos de plántulas de tratamientos con quitosano y el agente microbiano ( <i>B. bassiana</i> ).	50
VI. CONCLUSIONES.....	55
VII. LITERATURA CITADA.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO 1. Conteo de conidias <i>Beauveria bassiana</i> .....	63

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 3.1</b> Propiedades generales del quitosano	16
<b>Tabla 3.2</b> Algunas de las aplicaciones de la quitina y el quitosano en actividades relacionadas con la agricultura	21
<b>Tabla 4.1</b> Tratamientos evaluados para recubrir semillas de frijol negro Jamapa y maíz con quitosano y conidias de ( <i>B. bassiana</i> )	29
<b>Tabla 5.1</b> Cuadrados medios, grados de libertad del análisis de varianza de los tratamientos evaluados para semillas maíz.	32
<b>Tabla 5.2</b> Comparación de medias del porcentaje de germinación para cada uno de los tratamientos en semilla de maíz a las 72 h. Letras diferentes indican que existe diferencia significativa.	33
<b>Tabla 5.3</b> Comparación de medias de los tiempos evaluados para semilla de maíz. Letras diferentes indican que existen diferencias significativas.	34
<b>Tabla 5.4</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de los tratamientos evaluados para semillas de frijol negro Jamapa.	37
<b>Tabla 5.5</b> Comparación de medias para cada uno de los tratamientos de la semilla de frijol negro Jampa.	38
<b>Tabla 5.6</b> Comparación de medias de los tiempos evaluados para semilla de frijol negro Jampa.	39

<b>Tabla 5.7</b> Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de los tratamientos para el tiempo de almacenamiento en semilla de maíz.	41
<b>Tabla 5.8</b> Comparación de medias de los recubrimientos evaluados durante su almacenamiento para semilla de maíz.	42
<b>Tabla 5.9</b> Comparación de medias por meses evaluados durante su almacenamiento para semillas de maíz.	43
<b>Tabla 5.10</b> Comparación de medias de los recubrimientos evaluados en porcentaje de germinación para el tiempo de almacenamiento en semillas de maíz.	44
<b>Tabla 5.11</b> Comparación de medias del porcentaje de germinación en los tiempos de germinación durante almacenamiento para semillas de maíz.	45
<b>Tabla 5.12</b> Cuadrados medios, grados de libertad del análisis de varianza de los tratamientos evaluados para el tiempo de almacenamiento en semillas de frijol negro Jampa.	47
<b>Tabla 5.13</b> Comparación de medias por meses evaluados durante su almacenamiento para semillas de frijol negro Jamapa.	48
<b>Tabla 5.14</b> Comparación de medias por meses evaluados durante su almacenamiento para semillas de frijol negro Jamapa.	49
<b>Tabla 5.15</b> Comparación de medias de los tiempos evaluados durante su almacenamiento para semillas de frijol negro Jamapa.	49
<b>Tabla 5.16</b> Comparación de medias de los recubrimientos evaluados en porcentaje de germinación para el tiempo de almacenamiento en semillas de frijol negro Jampa.	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 3.1</b> Relación estructural entre la quitina, el quitosano y el quitano	7
<b>Figura 3.2</b> Microestructura de la matriz de los crustáceos	8
<b>Figura 5.1</b> Observación de tejidos para detectar colonización endófito de <i>Beauveria bassiana</i> en raíces de <i>Zea mays</i> .	48
<b>Figura 5.2</b> Observación de tejidos para detectar colonización endófito de <i>Beauveria bassiana</i> en raíces de <i>Phaseolus vulgaris</i> .	49

## RESUMEN

La conservación y protección de semillas es un factor importante para su producción, razón por la cual, existen agentes químicos que ayudan a preservar y proteger la semilla en almacenamiento; sin embargo, muchos son tóxicos para el ser humano, de tal manera, el objetivo de este estudio fue realizar un recubrimiento biofuncional con quitosano y un agente microbiano (*Beauveria bassiana*) que no afectara la germinación de las semillas de maíz blanco cristalino híbrido 4-316 y 4-317 y frijol negro Jamapa. Los recubrimientos de semillas consistieron en siete tratamientos con tres repeticiones, T1: (testigo), T2: (Solución INEX® 0.05%+conidias (*B. bassiana*)), T3: (quitosano 0.1%+agua destilada estéril), T4: (quitosano 0.5% + agua destilada estéril), T5: (quitosano 0.1%+conidias (*B. bassiana*)), T6: (quitosano 0.5%+ conidias (*B. bassiana*)) y T7: (Solución INEX® + agua destilada estéril) para lo cual se determinó el porcentaje de semillas germinadas a los tiempos de 24, 48, 72 y 96 h, además de evaluar el tiempo de almacenamiento sobre la germinación de uno a seis meses con estos mismos tratamientos. Los resultados mostraron que para las semillas, el porcentaje de germinación máximo se presentó a partir de las 72 h, y para frijol se presentó a las 96 h. En general los tratamientos de recubrimiento no afectaron el proceso de germinación para ambas semillas. Lo cual indica que el agente microbiano resultó inocuo para este proceso. Los resultados del porcentaje de germinación de maíz no se afectaron durante los seis meses de almacenamiento. Sin embargo, para la semilla de frijol, el tiempo de almacenamiento sobre la germinación mostró que al segundo mes de almacenamiento obtuvo el mayor porcentaje de germinación para posteriormente decrecer. El agente microbiano no logró establecerse como endófito en las plántulas provenientes de semillas tratadas.

**ABSTRACT**

Conservation and protection of seeds is an important factor for their production, to do this, there are chemical agents to preserve and protect the seed during storage; however, many are toxic to humans, so the aim of this study was to perform a biofunctional coating with chitosan and a microbial agent (*Bauveria bassiana*) with not negative effects on seeds germination of white crystalline hybrid corn 4-316 and 4-317 and Jamapa black beans. Seed coatings consisted of seven treatments with three replicates, T1: (control), T2: (INEX ® 0.05% solution + conidia (*B. bassiana*)), T3: (chitosan 0.1% + sterile distilled water), T4: (chitosan 0.5% + sterile distilled water), T5: (chitosan 0.1% + 0.1% + conidia (*B. bassiana*)), T6: (chitosan 0.5% + conidia (*B. bassiana*)), T7: ( INEX ® solution + sterile distilled water). Percentage of germinated seeds at 24, 48, 72 and 96 hours was determined, also the effect of storage time on germination of one to six months with the same treatments was studied. Results showed, that for the seeds, the maximum germination percentage was after 72 h, and for beans it was at 96 h. In general the coating treatments did not affect the germination process for both seeds. This indicated that the polymer and the microbial agent were safe for this process. Results of the percentage of germination of maize were not affected during the six months of storage. However, for beans, storage time on germination showed that the second month of storage obtained the highest percentage of germination and subsequently decreased. The microbial agent did not established as endophyte on plantlets from treated seeds.



## I. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se formularon y evaluaron recubrimientos biofuncionales a base de quitosano y en mezcla con un agente microbiano (*B. bassiana*) para semilla de maíz y frijol con el propósito de determinar si la adición de un biopolímero y un agente microbiano en las proximidades de la semilla y además tendrían un efecto en la germinación.

Un recubrimiento es todo tratamiento que cubre a la semilla con materiales generalmente inertes, y capaces de aportar características novedosas que en condiciones normales no se tendrían; sin afectar a la semilla ni al suelo y propiciando un microambiente para la semilla. Entre los recubrimientos con mayor grado de innovación se incluyen aquellos que involucran fases orgánico-biológicas (Giménez-Sampaio *et al.*, 1992; Pérez, 2010).

El uso de los productos orgánico-biológicos han tomado mayor auge en los últimos años ya que son una alternativa a los químicos convencionales en la agricultura (Pérez-Nava *et al.*, 2012). La mayoría de los productos biológicos están elaborados con microorganismos benéficos y sus derivados, ya que presentan atractivos beneficios al ambiente y a los cultivos debido a los efectos diversos contra los fitopatógenos y plagas (Ibarra *et al.*, 2006). Aunque se ha reportado que el uso estos productos disponibles a nivel comercial, no siempre presenta resultados exitosos, se considera que el uso de microorganismos nativos adaptados a condiciones ambientales específicas puede sobrellevar ese efecto donde el agente comercial no tuvo buen desempeño (Elliot *et al.*, 2009). Es bien conocido que la efectividad de los agentes biológico-orgánicos y su persistencia en el sitio de aplicación son influenciados por factores asociados al uso de agroquímicos, temperaturas altas y

poca humedad, por lo que se recomienda realizar buenas prácticas para evitar efectos adversos sobre el agente biológico (Moliszewska, 2001).

Existen productos para tratar las semillas y asegurar un control de plagas y enfermedades adecuado durante las primeras etapas del desarrollo de las plántulas. Y en su formulación y condiciones de aplicación se toman en cuenta las condiciones de seguridad para el trabajador durante el manejo y siembra, además de la protección del medio ambiente. Entre estos tratamientos se encuentran sustancias activas contra plagas y enfermedades, sin que afecten a las semillas ni al medio ambiente, y usualmente incrementan el tamaño y adherencia a la semilla, lo cual facilita su manejo y promueve mayores rendimientos (ISF, 2007).

Por otra parte, se ha demostrado el uso polímeros de origen biológico propicia un mejor rendimiento en la productividad de algunos cultivos, además que estos resultan generalmente inocuos, entre estos se encuentran polímeros de amplio espectro como las gomas, mucílagos, almidones, pectinas, quitina y quitosano, este último con una aceptación ampliamente reconocida asociada a varios casos exitosos (Mahmoud y Helmy, 2009).

El quitosano que se genera a partir de la desacetilación termoalcalina o enzimática de la quitina, la cual se obtiene comercialmente a partir de los caparazones de los crustáceos (Lamarque *et al.*, 2007).

El quitosano presenta características de interés agrícola, ya que tiene una actividad bactericida, fungicida y antiviral, la cuales brindan protección y además estimula el crecimiento de las plantas tratadas (Rabea *et al.*, 2003). Otros estudios muestran la capacidad de inmovilización de enzimas y microorganismos benéficos en hidrogeles obtenidos a partir de este biopolímero que pueda ser aplicado en la orientados a la aplicación en la agricultura (Çetinus *et al.*, 2009).

## II. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

Identificar un recubrimiento biofuncional a base de quitosano con conidias de (*Beauveria bassiana*) que no afecte la germinación de semillas de maíz y frijol.

### 2.2. Objetivos específicos

- Formular recubrimientos biofuncionales de quitosano en mezcla con un agente microbiano.
- Evaluar el tiempo de germinación de las semillas sometidas a los recubrimientos.
- Evaluar el efecto de almacenamiento de semillas sometidas a los distintos tratamientos.
- Identificar el mejor recubrimiento en las semillas de maíz y frijol.

### 2.3. Hipótesis

Si el quitosano es un polímero biocompatible y con efecto antimicrobiano para organismos sensibles, entonces los recubrimientos a base de quitosano permitirán la incorporación de conidias de (*Beauveria bassiana*) y su uso para la protección en semillas de interés agrícola sin que se afecte a la germinación de éstas, ya que este tipo de microorganismo de manera natural entra en contacto con el quitosano durante los procesos infectivos que desarrolla sobre insectos.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Recubrimientos de semillas

Existen distintas soluciones para las problemáticas de las semillas hortícolas con respecto a los aspectos físicos y fisiológicos. Dentro de estas, cobra cada vez mayor importancia el uso de recubrimientos de semillas compatibles con la semilla y el entorno de siembra (Bacon y Clayton, 1986).

Los recubrimientos de semillas han sido de gran utilidad para la optimización de los procesos productivos y a lo largo de los años se han presentado numerosas investigaciones y patentes para estos fines; la primera patente para el recubrimiento de semillas se emitió en 1868; no obstante, sus aplicaciones en la agricultura se aplicaron alrededor de 1940, y a partir de entonces el número de tecnologías y patentes que involucran recubrimientos con diversas aplicaciones se ha incrementado (Giménez-Sampaio *et al.*, 1992).

En la actualidad las investigaciones en los recubrimiento de semillas involucran un número mayor de especies de interés agrícola, principalmente en aquellas que presentan problemas fitosanitarios, relacionados con problemas en la germinación y que posteriormente desencadenan problemática para la producción de semillas (Duran, 1989).

De manera general, el principal objetivo al diseñar recubrimientos es la modificación del peso, forma y tamaño de las semillas, ya que en la mayoría de los casos se busca realizar la siembra directa de precisión. También se debe mencionar que los recubrimientos están desarrollados con el objetivo de aportar sustancias benéficas para la germinación de las semillas y el desarrollo inicial de las plántulas, y donde se incluyen a los reguladores de crecimiento, ciertos nutrientes y compuestos

generadores de oxígeno, el cual es crucial durante el inicio de la germinación. Debido a lo anterior, la presencia de un recubrimiento hecho de polímeros compatibles con las semillas y algunos de los agentes antes mencionados promueven la velocidad y uniformidad de la siembra. Por otra parte, los recubrimientos permiten un control en la uniformidad de la germinación a través del uso de compuestos inductores o retardantes de la germinación, de acuerdo a los requerimientos de cada productor, además de prolongar la vida media de las semillas en almacenamiento, lo que reduciría los costos (principalmente relacionados con la mano de obra) (Giménez-Sampaio *et al.*, 1992).

## **3.2 Generalidades del Quitosano**

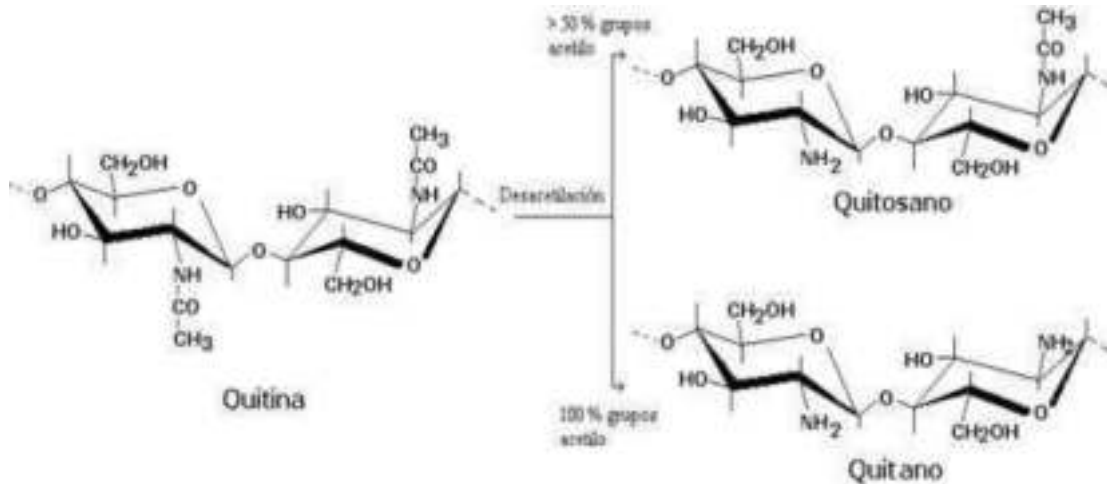
### **3.2.1 Quitina y Quitosano**

La quitina y el quitosano son biopolímeros presentes en la naturaleza desde hace millones de años. Se ha documentado que la presencia de la quitina data de hace 570 millones de años en la era paleozoica (Lárez, 2008). Recientemente, los procesos industriales para la producción de quitosano se realizan a partir de la quitina de crustáceos y hongos.

El quitosano es derivado de la quitina y tiene propiedades biofuncionales diversas, es biodegradable y presenta bicompatibilidad, las cuales son de interés en el área industrial y agrícola (False y Panda, 1999). Es importante considerar que las propiedades del quitosano son influidas por los parámetros asociados a la solubilidad, fuerza iónica, presencia de aditivos, peso molecular y conformación de la cadena, los cuales deben ser considerados al momento de planear las aplicaciones de este polímero (Domard y Rinaudo, 1983; Lárez, 2005; Redón, 2013).

En la Figura 3.1 se presenta la relación entre la quitina y los productos de su hidrólisis (el quitosano y el quitano); en esta destaca que la primera es un polímero de  $\beta$ -N-

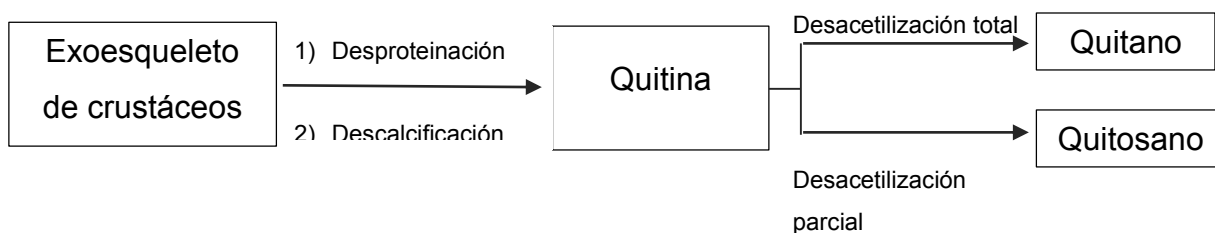
acetilglucosamina, que a través de la eliminación del 50% de sus grupos acetilo se convierte en quitosano, y cuando el grado de desacetilación llega al 100% se transforma en quitano, el cual es un polímero mucilaginoso formado de (poli-N-acetilglucosamina) con enlaces ( $\beta$ -1,4) (Lárez *et al.*, 2006).



**Figura 3.1** Estructuras de la quitina y sus derivados (el quitosano y el quitano) (tomado de Lárez, 2006).

El quitosano fue descubierto por Rouget en 1859, quien observó que el tratamiento de la quitina con una solución caliente de hidróxido de potasio produjo un compuesto soluble en ácidos orgánicos (Lárez, 2003; Muzzarelli, 1974).

El proceso convencional para la producción de quitosano a partir de la quitina se realiza por métodos químicos, que inician con una desproteización bajo condiciones alcalinas, seguido de la desmineralización usando ácidos inorgánicos diluidos, y por último se eliminan los lípidos con lavados con solventes orgánicos (Figura 3.2).



**Figura 3.2** Esquema general de la obtención de quitosano (Lárez 2003).

### 3.2.2 Propiedades físico-químicas

El quitosano tiene grupos amino libres que pueden estar protonados en soluciones ligeramente ácidas, lo que le permite comportarse como un polication (Rodríguez *et al.*, 2009). Estas características permiten al quitosano la capacidad de interactuar con compuestos de carga negativa, como algunos lípidos, proteínas, ciertos colorantes etc., además de que esto le permite algunas aplicaciones como captura de floculantes, propiedad adherente y capacidad de absorción (Rodríguez *et al.*, 2009). Estos usos están directamente relacionados con las propiedades que de forma general presenta el quitosano (peso molecular (PM), grado de acetilación (GA), viscosidad (V, Cps)) (Tabla 3.2) (Pillait *et al.*, 2009; Rendón, 2013).

**Tabla 3.1** Propiedades generales del quitosano (modificado de Pillait *et al.*, 2009).

Propiedad	Quitosano
Peso molecular ( $\text{g mol}^{-1}$ )	$1 \times 10^5$ a $5 \times 10^3$
Grado de acetilación (%)	60-98
Viscosidad (Cps) 1% en 1% Ac. Acético	200- 2000
Humedad (%p/p)	6-7
Solubilidad	ácidos diluidos

El quitosano presenta diferentes propiedades de solubilidad y viscosidad dependiendo del pH y el GA; es insoluble a valores de pH superiores a 6.5, y en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, es poco soluble en H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, y es completamente insoluble en la mayoría de los solventes orgánicos. Debido a la presencia de los grupos amino (-NH<sup>3+</sup>), la mayor tasa de solubilidad se alcanza en el pH 6, (Damian *et al.*, 2005).

### **3.3 Propiedades del Quitosano**

El quitosano se ha relacionado con efectos antibacterial, antifúngico, antiviral, biocompatibilidad, tóxico, absorbente de grasas, absorbente de metales contaminantes, filmogénico además de que es biodegradable (Caprile, 2005).

#### **3.3.1 Actividad antibacteriana**

La manera exacta en la que el quitosano y sus derivados actúan aún continúan por ser determinadas; no obstante, varios mecanismos han sido propuestos, Entre estos cabe mencionar la interacción entre la carga positiva de las moléculas de quitosano y las cargas negativas de las membranas celulares, con lo cual se podría alterar la permeabilidad y promover la pérdida de los contenidos intracelulares (Rabea *et al.*, 2003). Se ha reportado que el quitosano en baja concentración actúa en la superficie de bacterias interactuando con la carga negativa provocando la aglutinación de sus células; no obstante, en altas concentraciones el quitosano y sus cargas podrían impartir una carga neta positiva que podría mantener las células suspendidas en medio líquido (Rabea *et al.*, 2003).

Otro mecanismo atribuido al quitosano es su efecto quelante, con el que afecta la disponibilidad de metales que funcionan como cofactores enzimáticos, lo que inhibe la producción de toxinas microbianas y que en las plantas induce distintos mecanismos defensivos. También cabe la posibilidad de que el quitosano de bajo peso molecular



podiera adherirse la maquinaria celular para inhibir la replicación del ADN, la transcripción y la traducción (Rabea *et al.*, 2003).

Los efectos antimicrobianos dependerán de la especie en cuestión y en el caso de las bacterias Gram positivas y Gram negativas (Helader *et al.*, 2001), estos efectos también se relacionan la estructura y complejidad de las paredes celulares y la presencia de cápsulas. El efecto antibacteriano está directamente relacionado con la concentración de quitosano y con el peso molecular (Liu *et al.*, 2006). Algunos estudios realizados con quitosano como agente antibacterial en *Escherichia coli* O157:H7 han mostrado la resistencia a la combinación maltosa-quitosano a la mitad de la fase de crecimiento, por lo cual se puede pensar que la presencia de agentes adicionales en las formulaciones o en el medio de crecimiento (Yang *et al.*, 2007).

### 3.3.2 Actividad antifúngica

Se ha reportado la actividad fungicida en diversos estudios *in vitro*, el quitosano inhibe el crecimiento de diversas especies de hongos, principalmente con especies sensibles, incluyendo a los fitopatógenos. El efecto antifúngico también dependerá del estado de desarrollo del hongo. Por ejemplo, Liu y colaboradores (2007), mostraron que el quitosano afectó el crecimiento de *Penicillium expansum* en mayor grado que en *Botrytis cinerea*, así mismo, señalan que el quitosano fue más efectivo al afectar conidias que el desarrollo de las hifas de algunos hongos fitopatógenos. Este polímero afecta de forma diferencial sobre el crecimiento del micelio, la esporulación, la germinación, morfología de las hifas y esporas, según la especie de hongo. Los mecanismos posibles para tales efectos incluyen la modificación de la permeabilidad a nivel de membrana, lo que conduce a la salida de electrolitos y a la desorganización general del citoplasma (Pabón, 2013). Se considera que también presenta efecto quelante, lo que conlleva al secuestro de cofactores enzimáticos (Ramírez *et al.*, 2010); además de que se le asocia con la inducción de algunas enzimas hidrolíticas que

incluyen entre otras a las quitinasas, quitosanasas, glucanasas. Estas enzimas se vinculan con la degradación de los componentes poliméricos de la pared celular fúngica (Rodríguez, 2009).

### **3.3.3 Actividad antiviral**

La actividad antiviral del quitosano está directamente relacionada con el grado de polimerización y con la desacetilación (Chirkov, (2002) y Liu y Yao, (2007). El mecanismo sugerido es similar a su actividad antimicrobiana, donde la saturación de la superficie celular y la cobertura de las partículas virales interfiere en el proceso infectivo normal (Chirkov *et al.*, 2002). En el caso de la infección viral en las plantas se relaciona con la inducción de mecanismos defensivos heterogéneos, lo que produce una resistencia a dicha infección. Se han realizado estudios de aplicación foliar de quitosano mediante aspersión e inoculación local y sistemática con varios virus fitopatógenos (el virus del mosaico de la alfalfa, virus de la necrosis del tabaco, virus del mosaico del tabaco, virus de malformación del cacahuete y virus del mosaico del pepino) y los resultados determinaron que la actividad viral depende del tipo de hospedero, del tipo de virus y la concentración y propiedades del quitosano (Pospieszny, 1997; Irruti y Faoro, 2008).

### **3.3.4 Inductor de resistencia**

La capacidad de promover la resistencia en plantas está vinculada con mecanismos de unión a receptores detección de hongos, nematodos e insectos principalmente, lo que simula un ataque que induce a su vez la activación de los mecanismos de defensa en la planta, lo cual se realiza a nivel genético a través de la transducción de señales, para generar diversas respuestas y procesos biológicos encaminados a inhibir la infecciones fúngicas de forma inespecífica e intermitente (Hernández, 2004).

Se ha reportado que el quitosano induce enzimas hidrolíticas antifúngicas relacionadas con la resistencia hacia estos fitopatógenos, estas enzimas tiene efecto sobre los elementos estructurales de la pared celular de los hongos lo que provoca la inhibición de su crecimiento (Gonzalez-Peña *et al.*, 2014). Entre otras enzimas inducidas por quitosano, se encuentra la fenilalanina amonio liasa (PAL), peroxidasa y la polifenoloxidasa, mismas que se consideran responsables del incremento de compuestos fenólicos en el tejido vegetal; en el caso de PAL, se le vincula con el reforzamiento de la pared celular de las plantas a través de la síntesis de lignina. Los compuestos fenólicos pueden afectar directamente al patógeno o permitir la formación de barreras estructurales que afecten el avance dentro de los tejidos de la planta atacada (Ramírez, 2010).

### **3.3 Principales Aplicaciones en la agricultura**

Las aplicaciones del quitosano giran en torno a la agricultura, la medicina, la farmacéutica, la industria alimentaria, cosmética; además de que recientemente, se asocia con usos en el tratamiento de aguas residuales y en el desarrollo de biosensores, textiles y bioplásticos. En estas áreas se cuentan con aplicaciones puntuales para este polímero, pero en general su uso como soporte para la liberación controlada o la retención de sustancias; aunque también se usa como malla molecular, como adherente y como soporte físico.

Para las aplicaciones agrícolas se pueden mencionar el uso como base de recubrimiento de semillas, medio para liberación gradual de fertilizantes, adherente y antimicrobiano para el manejo de enfermedades.

La aplicación del quitosano en actividades agrícolas es reciente si se le compara con aplicaciones en medicina o en la industria alimentaria; no obstante, sus usos han ido en aumento (Tabla 3.2) (Lárez, 2006).

**Tabla 3.2** Aplicaciones del quitosano en actividades agrícolas (adaptado de Lárez, 2006).

Usos	Propiedades aprovechables	Cultivo	Referencias
Películas para recubrimientos de frutos, hojas, semillas y vegetales frescos	Antimicrobiano	cítricos (toronja), mango, papaya y tomate	Galed <i>et al.</i> , 2001, Srinivasa <i>et al.</i> , (2004), Ratanachinakorn <i>et al.</i> , (2005) Hewajulige <i>et al.</i> , (2007), Devlieghere <i>et al.</i> , (2004)
Protección de plántulas	Fungicida	uva y tomate	Barka <i>et al.</i> , (2004); Lafontaine y Benhamou, (1996)
Liberación controlada de agroquímicos	Formación de hidrogeles	arándano	Mc Cormick <i>et al.</i> , (1982), Teixeira <i>et al.</i> , (1990), Hirano, (1978), Palma <i>et al.</i> , (2005)
Estimulación del crecimiento	Bioestimulante	orquídea	Nge <i>et al.</i> , (2006)
Inhibidor del crecimiento de frutas y tubérculos	Biocida	plátano y papa	Waliszewski <i>et al.</i> , (2002)
Corrección de sustratos de crecimiento	Fungicida y nemátocida	chícharo, tomate, papa y apio	Sneh y Henis, (1972), Abda-El- Kareem (2002), Abda- El- Kareem, (2002), Abd-El kareem <i>et al.</i> , (2004), Abd-El- Kareem <i>et al.</i> , (2006)
Inductor de mecanismos de defensa	Inductor de resistencia	Soya	Khan <i>et al.</i> , (2003)

### 3.4 Hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos constituyen un grupo de microorganismos bastante heterogéneo, pero que comparten la propiedad de ser infectivos a los insectos. Estos contribuyen al control de las poblaciones de insectos de forma natural, y en el caso de insectos plaga de cultivos y aquellos transmisores de enfermedades (Pucheta *et al.*, 2006). Se han reportado más de 750 especies de casi 100 géneros que puedan infectar de forma cotidiana a los insectos; no obstante, estas cifras pudieran estar sesgadas debido al desconocimiento de la biología y medios de cultivo adecuados de muchos de estos microorganismos. Dentro de las especies de hongos entomopatógenos más estudiados y disponibles a escala comercial, cabe mencionar a *Beauveria bassiana* (que ataca a langostas, chapulines, áfidos, escarabajos, mosquita blanca), *Beauveria brongniartii* (que infecta a moscas y escarabajos), *Langenedium giganteum* (restringida a mosquitos), *Lecanicillum lecanii* (también restringido a mosquitos), *Metarhizium anisopliae* (que llega a infectar a termitas, chapulines, gallina ciega, langostas, picudo del chile y algodón, escarabajos) e *Isaria fumosorosea* (que infecta principalmente a los áfidos, trips y el complejo de mosquitas blancas) (Wraight *et al.*, 1998).

El proceso infectivo sobre el insecto se inicia cuando las esporas entran en contacto con el integumento y se adhieren y cabe resaltar que no es necesaria la ingestión para que se realice la infección, de hecho es poco probable que la infección ocurra desde dentro (Jones, 1994).

La germinación de la espora o conidia se inicia con la hidratación e hinchamiento de esta, posteriormente ocurre la formación del tubo germinativo a través de crecimiento apical del hongo, lo que estimula la síntesis de la pared celular y elongación de la célula. El crecimiento del tubo germinativo concluye con la formación del apresorio, que es una estructura que sirve de anclaje y a su vez genera presión física y debilitamiento del exoesqueleto mediante la secreción de enzimas. Esto provoca que

eventualmente el apresorio penetre al insecto y de lugar al crecimiento fúngico al interior (Monzón, 2001).

### **3.3.1 *Beauveria bassiana***

El hongo *B. bassiana* es un hongo entomopatógeno reportado en 1835 como responsable de infecciones en el gusano de seda. Este hongo es generalista y ampliamente utilizado para el control de poblaciones plaga de diferentes insectos. Pertenece al grupo de los Deuteromycetes, al orden de los Moniliales, y a la familia Moniliaceae (Barnet y Hunter 1972). Es un hongo que se encuentra presente en el suelo, se le considera cosmopolita, pero su virulencia depende de múltiples factores, usualmente asociados a las adaptaciones a cada microambiente. Actualmente, es una de las especies más ampliamente utilizadas como alternativa de control biológico.

### **3.5 Germinación en semillas**

La germinación puede ser definida como conjunto de reacciones metabólicas y cambios estructurales que ocurren en la semilla una vez que se alcanza la humedad suficiente y culmina con la emersión total de la radícula; el éxito de este proceso es indispensable para el establecimiento de la planta (Rosental *et al.*, 2014).

El proceso inicia con la imbibición de las semillas en un medio con saturación de agua, la cual penetra en las semillas a través de las paredes celulares hasta incorporarse en el interior de la semilla, lo cual da inicio a la siguiente etapa. La segunda etapa es la activación del metabolismo, la cual se incluye los procesos de reparación, síntesis de proteínas y degradación de polímeros nutrimentales (almidón, lípidos y proteínas), para su posterior traslocación durante el crecimiento del embrión. Durante la tercera etapa, las sustancias de reserva degradadas se movilizan en el embrión para promover el crecimiento (elongación del embrión), en esta etapa se rompe la testa para permitir

la salida de la radícula y la emergencia de la radícula (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006).

Entre los factores internos que determinan el éxito del proceso de germinación incluyen a la fisiología del embrión, disminución de las actividades enzimáticas, la dormancia o dormición (Hartan y Kester 1968; Russo *et al.*, 2010). Entre los factores externos importante en el proceso de germinación están la humedad, la temperatura y la disponibilidad de oxígeno (Hartan y Kester 1968; Russo *et al.*, 2010).

La calidad de la semilla implica aspectos genéticos, fisiológicos, morfológicos y sanitarios (Carvalho y Nakagawa 2012). La calidad genética se enfoca en el potencial de obtener un mayor rendimiento, ya que incluye la tolerancia al estrés tanto como abiótico; la calidad fisiológica se relaciona con la viabilidad, germinación y vigor de las semillas y los rendimientos; por su parte, la calidad física se refiere al tamaño, peso y forma de las semillas. Por último, la calidad sanitaria involucra la ausencia de todo agente infeccioso (hongos, bacterias, virus, nematodos, insectos etc.) (González, 2015).

### **3.5. Almacenamiento de semillas**

Las semillas están adaptadas a soportar periodos de inactividad hasta la siembra; no obstante con el paso del tiempo, las semillas tienden a disminuir sus parámetros de calidad, especialmente la capacidad para germinar. Las alteraciones de sus procesos bioquímicos son las primeras alteraciones cambios detectables que ocurren durante el deterioro de las semillas (Ferguson, 1995).

Los factores que afectan las semillas durante el almacenamiento son: principalmente la humedad, temperatura por ejemplo, la asociación con temperaturas elevadas favorecen incrementos en la tasa respiratoria de las semillas y la actividad de microorganismos patogénicos; también la composición química influye el deterioro de

las semillas, por ejemplo una gran cantidad de lípidos disminuye la vida de almacenamiento a diferencia de las que tienen contenidos altos de carbohidratos o proteínas de reserva; no obstante, en términos ecológicos cada tipo de semilla se adapta a los requerimientos fisiológicos de la especie y el ambiente donde se origina (Nagel y Borner, 2010).

Por lo tanto, el proceso de almacenamiento debe permitir la preservación de las semillas por un periodo determinado desde su cosecha hasta su próxima siembra. Lo cual requiere la verificación de todos los factores asociados a la calidad de la semilla y todos los procesos que ocurran después de su madurez fisiológica (Doria, 2010).



## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización del Experimento

El presente trabajo se dividió en tres etapas; la primera etapa se realizó en el Laboratorio de Biotecnología y Genética del Instituto de Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (IEA-UAT), ubicado en Av. División del Golfo No. 356, Col. Libertad, C.P. 87019 en Cd. Victoria, Tamaulipas, México, donde se realizaron las formulaciones para los tratamientos y recubrimientos para la semillas de frijol y maíz. La segunda etapa se llevó a cabo en el Laboratorio de Sanidad de Semillas y Biología Molecular en el área de Posgrado del Instituto Tecnológico de Roque, km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, C.P. 38110. Celaya, Guanajuato, México, donde se llevó a cabo la parte de germinación de las semillas ya recubiertas y preparación de semilla recubiertas para pruebas de almacenamiento; El almacenamiento de las semillas se llevó a cabo en la unidad de almacenamiento de semillas del INIFAP Campo Experimental Bajío. La tercera etapa fue realizada en el Laboratorio de Biología Molecular del Instituto Tecnológico de Celaya, Av. Tecnológico y A. García Cubas S/N C.P. 38010, Celaya, Guanajuato y en el Laboratorio de Biotecnología y Genética del IEA-UAT, donde se realizaron los cortes histológicos en la parte apical de brotes y raíces de las semillas ya germinadas para la determinación de la presencia del hongo como posible endófito.

### 4.2 Material Biológico

Las semillas utilizadas en el estudio fueron de frijol negro Jamapa (*Phaseolus vulgaris* L); colectado en el ciclo primavera verano del 2013, en Ciudad Victoria Tamaulipas, Maíz blanco cristalino (*Zea mays*): cosechada en el ciclo otoño invierno 2015, cruza de dos líneas de INIFAP adaptadas a la zona del Bajío, llamado híbrido Simple

Intermedio Guanajuato 2 (SIG 2) (esta cruce es el progenitor femenino de los híbridos 4-316 y 4-317). En el caso del quitosano, este fue obtenido a partir de quitina de camarón mediante desacetilización termoalcalina y presentó un peso molecular arriba de los 30 kDa y se manejó como solución concentrada al 1.4%, la cual fue diluida para los ensayos. La cepa utilizada de *B. bassiana* 37 D, fue obtenida del cepario del Laboratorio de Biotecnología y Genética del IEA-UAT, la cual se reactivó mediante su propagación en medio papa-dextrosa-agar (PDA, de Bioxon, Becton, Dickinson, NJ, E.U.). La cosecha de conidias se realizó de cultivos en cajas Petri con cinco a diez días de crecimiento, mediante lavado con una solución de 0.02 % de INEX ® (CosmoCel, N.L. México).

#### **4.3 Desinfección de Semillas**

Se realizó la desinfección tanto para frijol negro Jamapa y maíz de acuerdo a la técnica que marca la ISTA (1994) enjuagando con agua destilada por 3 min y posteriormente sumergiéndolas con hipoclorito de sodio comercial al 10 % por 10 min y luego nuevamente sometidas a 3 lavados de 5 min con agua destilada estéril. Después se depositaron en toallas de papel estériles y se secaron al aire dentro de una campana de flujo laminar durante 24 h antes de usarse para los recubrimientos y ensayos posteriores.

#### **4.4 Prueba de viabilidad de la semilla (Germinación)**

Se realizó un ensayo preliminar mediante la prueba de germinación estándar en toallas de papel germinador, previamente humedecidas con cuatro repeticiones de 25 semillas para frijol negro Jamapa y maíz. Las semillas fueron desinfectadas previamente en una mezcla de agua con Captan ® para la prueba preliminar en una proporción de 1 g L<sup>-1</sup>, para prevenir ataque de patógenos. Las semillas se distribuyeron en cinco hileras, colocando otra toalla de papel de germinación húmedo, se envolvieron dentro del papel para germinación, luego se colocaron verticalmente en

bolsas de plástico e introducidas en una cámara de germinación a 25 °C en condiciones de luz. Solo se determinó el porcentaje de germinación para conocer el estado fisiológico del material inicial y posteriormente proseguir con el experimento (ISTA, 1994).

#### **4.5 Obtención de quitosano**

Para los recubrimientos se empleó quitosano de camarón. El quitosano de camarón fue obtenido a partir de quitina comercial de camarón (SIGMA-ALDRICH, MO, E.U), la cual fue desacetilada en solución al 70 % de NaOH a 120 °C durante 1 h y seguido de un reposo de 12 h a temperatura ambiente. Después el material se sometió a un lavado exhaustivo con agua destilada y se secó a 60 °C por 12 h. El quitosano seco se pesó y se disolvió a una concentración de 2 % en ácido acético al 5 % mediante agitación constante. Una vez disuelto, la solución se neutralizó con NaOH 2 M hasta pH 6 y luego se dializó contra agua destilada por 3 d con tres cambios diarios. El volumen recuperado se midió y con base en la concentración calculada se procedió a diluir con agua destilada, suspensión de conidias o solución de fungicida y ajustarla a la concentración deseada para cada experimento

#### **4.6 Obtención de conidias de *Beauveria bassiana***

El lavado de cajas Petri con las conidias de *B. bassiana* que se realizó para este ensayo se usó una Solución INEX® (surfactante) 0.05 %. Estas conidias se colectaron mediante el lavado que se realizó en campana de flujo laminar, la cuantificación de esporas se realizó en cámara de Neubauer y se obtuvo una concentración de  $2.1 \times 10^7$  conidias/ mL (ANEXO 1). Los tratamientos que incluyeron el agente microbiano se ajustaron a una concentración final de 315,000 conidias/mL. Las semillas de frijol y maíz que fueron previamente desinfectadas y recubiertas con los siete tratamientos que se muestran en la Tabla 4.1.

#### 4.7 Formulación de Tratamientos

Se establecieron los tratamientos que se muestran en la Tabla 4.1, de esta manera se procedió a realizar los recubrimientos mediante inmersión en la solución respectiva, lo cual fue realizado de forma manual y semilla por semilla.

**Tabla 4.1** Tratamientos evaluados para recubrir semillas de frijol negro Jamapa y maíz con quitosano y conidias de (*B. bassiana*).

Tratamientos	Recubrimientos
T1	Testigo (Agua destilada estéril)
T2	Solución INEX® 0.05% + Conidias
T3	Quitosano 0.1% + Agua
T4	Quitosano 0.5% + Agua
T5	Quitosano 0.1% + Conidias
T6	Quitosano 0.5% + Conidias
T7	Solución INEX® 0.05% + Agua

#### 4.8 Procedimiento de Recubrimientos

Se prepararon siete soluciones para los tratamientos mostrados en la Tabla 4.1. Las semillas previamente desinfectadas y secas fueron sometidas a inmersión (5 s) en la respectiva solución y luego se secaron por 24 h. Para evaluar la germinación de las semillas, un total de 100 semillas por cada uno de los siete tratamientos fueron sometidas a la prueba de germinación en cajas Petri con papel filtro Whatman No. 1 y humedecidas con 5 ml de agua destilada estéril; la humedad se mantuvo constante mediante la adición de 1-1.5 ml de agua destilada estéril cada tercer día o según fuera necesario. Una semilla se consideró como germinada cuando la radícula presentó una longitud de 2-3 mm, la germinación se registró diariamente y el porcentaje de germinación se calculó para cada tratamiento. El experimento se realizó por triplicado.

Al final de la prueba de germinación se observó la presencia de micelio sobre algunas semillas.

#### **4.9 Efecto del recubrimiento y almacenamiento en la germinación de las semillas**

En esta etapa se utilizaron los tratamientos ya descritos (Tabla 4.1). Para evaluar el efecto del almacenamiento en la germinación de las semillas, se usaron 100 semillas por tratamiento con tres repeticiones. El material tratado se almacenó en condiciones controladas a temperatura de 4 °C en una cámara bioclimática en las instalaciones del Campo Experimental Bajío del INIFAP-CELAYA, y se realizaron muestreos mensualmente durante seis meses, estas muestras se sometieron a germinación y esta se evaluó cada 24 h por 4 d (ISTA, 1994). El ensayo inició con el primer muestreo el 13 de Octubre del 2015 y finalizó con el muestreo del 13 de Marzo del 2016.

#### **4.10 Efecto de los recubrimientos con quitosano sobre el agente microbiano (conidias de *Beauveria bassiana*)**

##### **4.10.1 Cortes Histológicos**

Esta etapa consistió de un análisis histológico en las raíces para tratar de observar la presencia de micelio hacia el interior de los tejidos radiculares, principalmente en la rizodermis y en el parénquima cortical. Se analizaron 10 muestras de los T1, T5 y T6 para frijol y maíz. Para lo cual se realizó el procesamiento de las muestras que incluyó: Fijación: Se colocaron las muestras en solución formaldehído-alcohol etílico-ácido acético y agua (FAA, 10:30:10:50), se dieron 3 pulsos a vacío de 5 min cada uno, se pasó la muestra a un tubo nuevo que contenía solución FAA y dejaron toda la noche a 4 °C.

Después de fijar las muestras en FAA, las muestras se enjuagaron en agua destilada por 2 h y posteriormente se les hicieron los cortes manualmente con navajas de afeitar de doble filo Super-Max®

#### **4.11 Diseño experimental**

Para evaluar los efectos de los tratamientos se utilizó un diseño completamente al azar bajo un arreglo bifactorial para medir el porcentaje de germinación de las semillas para los siete tratamientos, donde se utilizaron los factores (A) tratamientos, (B) porcentaje de germinación y para el tiempo de almacenamiento un diseño completamente al azar bajo un arreglo trifactorial, donde (A) tratamientos, (B) porcentaje de germinación y (C) tiempo de almacenamiento con tres repeticiones para cada especie maíz y frijol negro Jamapa.

##### **4.11.1 Análisis estadístico**

Para todos los caracteres evaluados se realizó un análisis de varianza (bifactorial y trifactorial), usando el paquete estadístico Statistical Analysis System versión 9.1 (SAS), la comparación de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.01$ ).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Recubrimientos de quitosano y agente microbiano (*Beauveria bassiana*) para la semillas de maíz

#### 5.1.1 Efecto del recubrimiento en la germinación de los siete tratamientos empleados en semilla de maíz

El análisis de varianza mostró que para la fuente de variación del tiempo de germinación, los valores fueron estadísticamente diferentes y con alta significancia ( $P \leq 0.001$ ); en el caso de la interacción de tratamientos por tiempo de germinación se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.005$ ) y para la fuente de variación de los tratamientos, no se observaron diferencias estadísticas significativas; lo cual demostró que los tratamientos no afectaron el proceso de germinación (Tabla 5.1).

**Tabla 5.1** Cuadrados medios, grados de libertad del análisis de varianza de los tratamientos y tiempo de germinación evaluados para semillas maíz.

Fuente de variación	g.l.	Cuadrados medios	Significancia estadística
Tratamiento	6	28.09 <sup>ns</sup>	0.827
Tiempo de germinación	3	40019.36 <sup>**</sup>	<0.0001
Tratamiento* tiempo de germinación	18	27.36 <sup>*</sup>	0.310
Error	56	14.13	
Total	83		
C.V		5.93	

\*, \*\*=significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente <sup>ns</sup>=No significativo

La comparación de medias de los tratamientos mostró que el porcentaje de germinación a las 72 h fue el más alto y que no se presentaron diferencias entre los tratamientos, lo que indicó que la presencia de quitosano y *B. bassiana* en los recubrimientos no afectó el proceso de germinación de semillas de maíz (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2** Comparación de medias del porcentaje de germinación para cada uno de los tratamientos en semilla de maíz a las 72 h. Letras diferentes indican que existieron diferencias significativas.

Tratamientos	Germinación (%)
T1	96.66 A
T2	96.66 A
T3	99.66 A
T4	98.00 A
T5	99.33 A
T6	98.33 A
T7	93.00 A

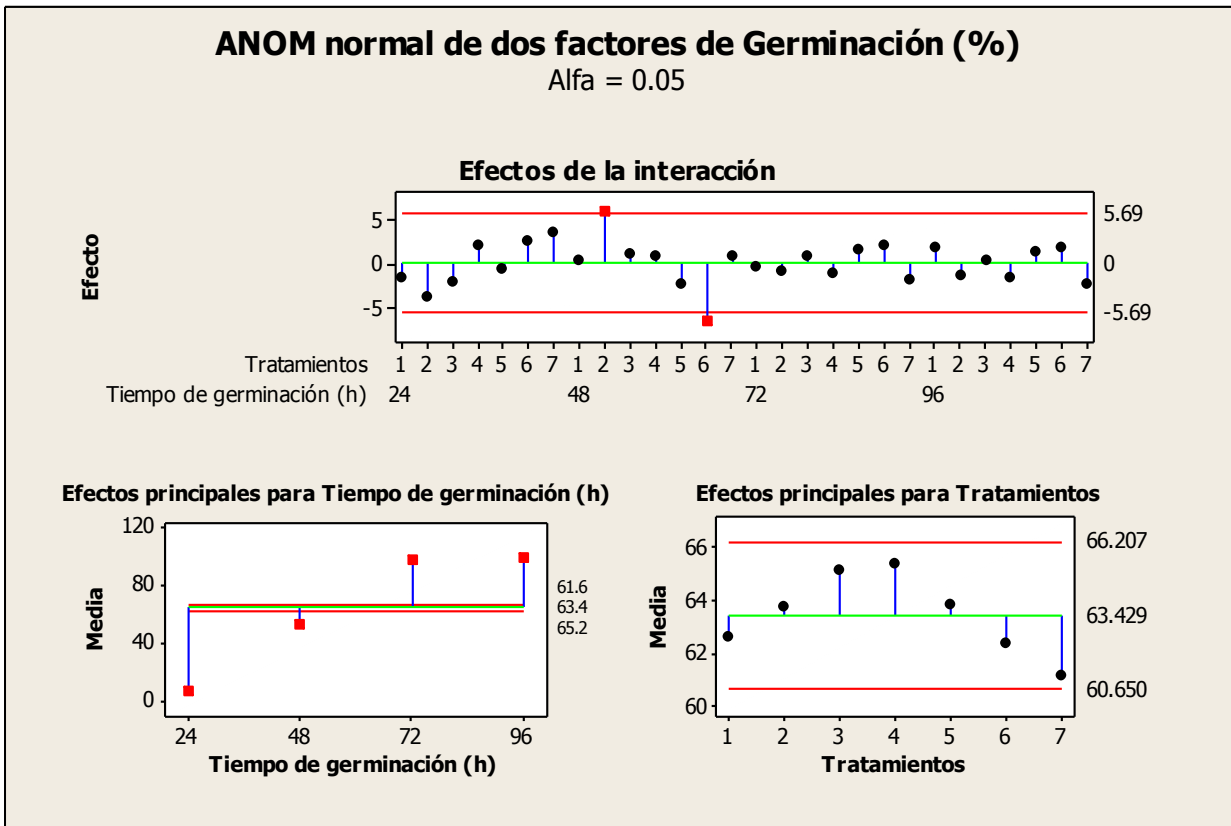
La comparación de medias del porcentaje de germinación entre los tiempos de observación mostró que la mayor germinación ocurrió a las 72 h, y aunque hubo un poco más de semillas germinadas a las 96 h, no se observaron diferencias significativas (Tabla 5.3).



**Tabla 5.3** Comparación de medias de los tiempos evaluados para semilla de maíz. Letras diferentes indican que existieron diferencias significativas.

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Germinación (%)</b>
24	6.14 C
48	52.62 B
72	97.29 A
96	97.67 A
<b>D.M.S</b>	3.07

Como se mencionó anteriormente el tiempo de germinación de las semillas de maíz resultó diferente para cada tiempo de germinación lo cual corresponde con incremento gradual en condiciones óptimas para la germinación, es decir, el número de semillas germinadas se incrementó con el paso del tiempo; toda vez que se realizó la imbibición. Para efectos de los tratamientos, todos los valores de porcentaje de germinación fueron iguales; pero, para los efectos de la interacción se puede apreciar un efecto combinado diferencial para el caso del T2 y T6 a las 48 h, el cual fue estadísticamente superior al resto de las interacciones tratamiento\*tiempo de germinación, lo cual indica que durante esas observaciones se detectaron variaciones o repuntes en el número de semillas germinadas en el T2 posiblemente al efecto del surfactante lo que permitió una mejor imbibición de la semilla debido a una más rápida solubilización y eliminación de componentes de la testa que regulan el proceso de germinación (Figura 5.1).



**Figura 5.1** Análisis de interacción de los factores tiempo de germinación\* tratamiento para semillas de maíz. Los recuadros en rojo indican diferencias en el efecto de la interacción.

Los resultados reportados por Pérez *et al.* (2015) quienes evaluaron germinación en arroz tratados con diferentes concentraciones de quitosano, indicaron que la concentración media fue la que tuvo mayor porcentaje de germinación; no obstante, la concentración más elevada de quitosano mostró mayor efecto en altura de las plantas evaluadas. Además mostraron que la germinación no se afecta con respecto al testigo, lo cual concuerda con los resultados mostrados en este trabajo para la semilla de maíz, a pesar de que los tratamientos y el tiempo de contacto con el quitosano fueron diferentes.

Por otra parte, se ha reportado que el tratamiento de semillas de trigo tratadas con quitosano presentaron un porcentaje de germinación mayor (arriba del 85 %) al del control (menor al 80 %), aún y cuando el tratamiento de las semillas en dicho reporte es bastante similar al realizado en esta investigación; lo cual indica que el quitosano en algunas especies pudiera comportarse como un potenciador de la germinación, (Bashkara Redi *et al.*, 1999).

En el caso de semillas de maíz sometidas a estrés por baja temperatura, se ha reportado que la presencia del quitosano promovió la velocidad de germinación y el establecimiento de las plántulas a bajas temperaturas, a través de una impronta de las semillas usando diferentes concentraciones de quitosano. Esto indica que el quitosano presentará efectos promotores no solamente bajo condiciones de germinación óptimas, sino que también puede promover y potenciar la germinación bajo condiciones de estrés (Guan *et al.*, 2009). No obstante, en este trabajo y con la calidad de semillas utilizadas, no se lograron observar dichas propiedades potenciadoras, pero si se observó que la presencia de este polímero no redujo el porcentaje de germinación.

## 5.2 Recubrimientos de quitosano y agente microbiano (*B. bassiana*) para la semilla de frijol negro Jamapa.

### 5.2.1 Efecto del recubrimiento en la germinación de los siete tratamientos empleados en semilla de frijol negro Jamapa.

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas altamente significativas para las fuentes variación tratamiento y tiempo de germinación ( $p \leq 0.001$ ), en tanto que para la interacción tratamiento\*tiempo de germinación se mostraron diferencias estadísticas significativas; lo cual demostró que los tratamientos T2, T3, T6 y T7 fueron estadísticamente similares al testigo, lo que indica que no se afectó el porcentaje de germinación; por otro lado, los tratamientos T4 y T5 fueron estadísticamente inferiores respecto al testigo con un menor porcentaje de germinación (Tabla 5.4).

**Tabla 5.4** Cuadrados medios del análisis de varianza de los tratamientos evaluados para semillas de frijol negro Jamapa.

Fuente de variación	g.l.	Cuadrados medios	Significancia
Tratamiento	6	689.33**	<0.0001
Tiempo de germinación	3	21423.88**	<0.0001
Tratamiento*tiempo de germinación	18	107.04*	0.0038
Error	56	41.81	
Total	83		
C.V.		16.94	

\*, \*\*=significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente

La comparación de medias de los tratamientos mostró que el porcentaje de germinación a las 96 h fue el más alto y que no representaron diferencias entre los tratamientos T2, T3, T4, T6 y T7, lo que indicó que la presencia del quitosano y *B.*

*bassiana* en los recubrimientos no afectó el proceso de germinación de las semillas de frijol negro Jamapa; aunque aparentemente el tratamiento de mayor concentración de quitosano sin conidias fue afectado con un menor porcentaje de germinación (Tabla 5.5).

**Tabla 5.5** Comparación de medias para cada uno de los tratamientos de la semilla de frijol negro Jamapa.

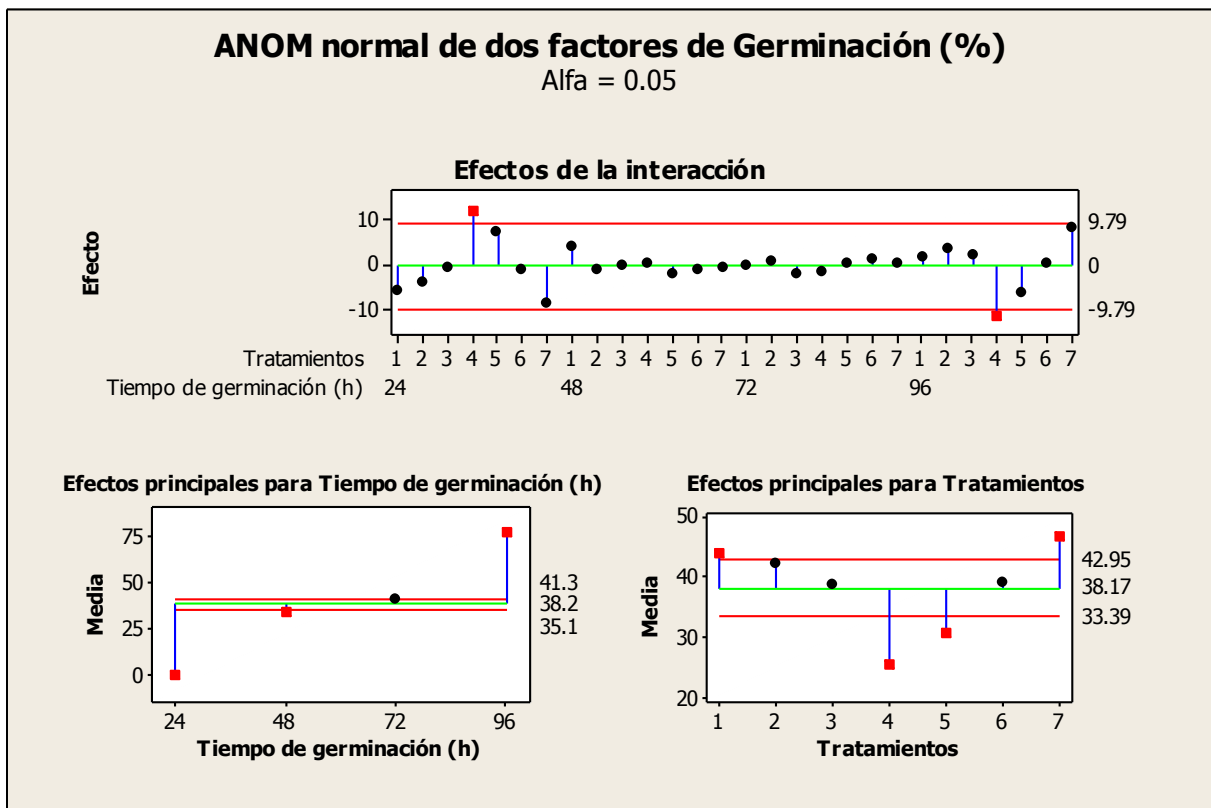
Tratamientos	Germinación (%)
T7	95.33 A
T1	86.67 AB
T2	85.67 AB
T3	81.00 ABC
T6	79.33 ABC
T5	64.33 BC
T4	54.00 C

En la comparación de medias del porcentaje de germinación para tiempo de observación mostró que la mayor germinación ocurrió a las 96 h (Tabla 5.6).

**Tabla 5.6** Comparación de medias de los tiempos evaluados para semilla de frijol negro Jamapa.

Tiempo de germinación	Germinación (%)
24	0.00 D
48	33.95 C
72	40.81 B
96	77.90 A
<b>D.M.S</b>	5.28

Para efectos de los tratamientos, los tratamientos T1 y T7 fueron superiores pero no estadísticamente diferentes a T2, T3 y T6, lo cual indica que no hay un efecto negativo sobre la germinación. Para los efectos de la interacción, se puede apreciar un efecto diferencial del quitosano (T4) a las 24 h con un efecto estadísticamente superior al resto de las interacciones tratamiento\*tiempo de germinación; sin embargo, se observó que este efecto no se sostiene en el tiempo de germinación, ya que hay un efecto negativo a las 96 h (Figura 5.2).



**Figura 5.2** Análisis de interacción de los factores tiempo de germinación\* tratamiento para semillas de frijol negro Jamapa. Los recuadros en rojo indican diferencias en el efecto de la interacción.

Los resultados reportados por Ziani *et al.* (2010) en semillas de alcachofa, en el que utilizaron un recubrimiento con un agente antifúngico y quitosano a distintas concentraciones, mostraron que todos los tratamientos aumentaron significativamente

el porcentaje de germinación, con respecto al control; lo cual concuerda parcialmente con los resultados aquí presentados para la semilla de frijol negro Jamapa, que si bien no fueron superiores al control, tampoco fueron estadísticamente diferentes a este.

### 5.3 Recubrimientos de quitosano y agente microbiano (conidias de *Beauveria bassiana*) para la semillas de maíz durante su almacenamiento.

#### 5.3.1 Efecto del almacenamiento en la germinación de semillas de maíz con los siete tratamientos.

El análisis de varianza mostró que para los tratamientos y tiempo de germinación hay un efecto altamente significativo sobre la germinación; sin embargo, no fue afectada por el tiempo de almacenamiento. Las interacciones tratamiento\*tiempo de germinación y tratamiento\*almacenamiento mostraron diferencias estadísticas altamente significativas, pero no la interacción de almacenamiento\*tiempo de germinación, lo que demuestra que los tratamientos con quitosano en combinación con *B. bassiana* retienen o al menos evitan la pérdida de la calidad fisiológica de la semilla, pues no se afectó la germinación respecto al control (Tabla 5.7).

**Tabla 5.7** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de los tratamientos para el tiempo de almacenamiento en semilla de maíz.

Fuente de variación	g.l	Cuadrados medios	Significancia
Tratamientos	6	271.27**	<.0001
Almacenamiento (meses)	5	19.52 <sup>ns</sup>	0.2926
Tiempo de germinación (h)	3	196784.10**	<.0001
Tratamiento *Tiempo de germinación (h)	18	73.45**	<.0001
Tratamiento*Almacenamiento (meses)	30	153.27**	<.0001
Almacenamiento (meses)*Tiempo de germinación (h)	15	9.89 <sup>ns</sup>	0.855
Error	426	15.83	
Total	503		
C.V		7.71	

\*\*=significativo al 0.01 <sup>ns</sup>=no significativo



En la comparación de medias del porcentaje de germinación para los tratamientos se determinó que T2, T3, T4, T5 y T6 presentaron los mayores porcentajes de germinación superando al testigo (T1), al menos cuando se tomó en cuenta el promedio de todos los tiempos de germinación, lo cual demuestra que los recubrimientos a base de quitosano no afectaron al porcentaje de germinación de las semillas sometidas al almacenamiento (Tabla 5.8).

**Tabla 5.8** Comparación de medias de los recubrimientos evaluados durante su almacenamiento para semilla de maíz.

<b>Tratamientos</b>	<b>Germinación (%) <sup>a</sup></b>	<b>Germinación (%) <sup>b</sup></b>
<b>T5</b>	53.60 A	92.27 A
<b>T4</b>	53.35 A	90.50 A
<b>T3</b>	52.64 A	89.67 A
<b>T2</b>	51.85 A	89.22 A
<b>T6</b>	51.85 A	89.28 A
<b>T1</b>	49.51 B	90.28 A
<b>T7</b>	48.43 B	83.50 B
<b>D.M.S</b>	1.96	4.30

<sup>a</sup>= % de germinación como promedio de todos los tiempos de germinación. <sup>b</sup>= % de germinación a las 72 h

La comparación de medias del porcentaje de germinación de las semillas de maíz tratadas y sometidas a seis meses de almacenamiento, no se observaron diferencias estadísticamente significativas, lo cual indica que para la interacción tratamiento\*tiempo de germinación, no mostraron diferencias estadísticas (Tabla 5.9). Con esto se confirma que los tratamientos no afectaron la germinación de las semillas.

**Tabla 5.9** Comparación de medias por meses evaluados durante su almacenamiento para semillas de maíz.

<b>Meses</b>	<b>Germinación (%)<sup>a</sup></b>	<b>Germinación (%)<sup>b</sup></b>
<b>Octubre 2015</b>	51.57 A	89.19 A
<b>Noviembre 2015</b>	50.84 A	88.85 A
<b>Diciembre 2015</b>	52.75 A	89.66 A
<b>Enero 2016</b>	51.25 A	88.57 A
<b>Febrero 2016</b>	51.70 A	89.14 A
<b>Marzo 2016</b>	52.34 A	90.04 A
<b>D.M.S</b>	1.76	3.84

<sup>a</sup>= % de germinación como promedio de todos los meses de almacenamiento. <sup>b</sup>= % de germinación a las 72 h.

Cuando se analiza el efecto del almacenamiento y los tratamientos sobre la germinación, se encontró que en el primer mes de almacenamiento el T4 fue el más afectado, si se compara con el T6 (el mayor valor estadístico), donde la única diferencia fueron las conidias presentes, por lo que aparentemente la presencia del microorganismo pudo haber promovido la germinación. El resto de los tratamientos se comportaron de manera similar al testigo con un alto porcentaje de germinación. Para el segundo mes de almacenamiento todos los tratamientos, excepto el T7 fueron estadísticamente iguales al testigo, lo que sugiere que la germinación no se afectó al a los dos meses de almacenamiento de la semilla. Para el tercer mes de almacenamiento la mayoría de los tratamientos que contienen quitosano excepto T6 se comportaron similares al testigo con un alto porcentaje de germinación, similar al primer mes de almacenamiento, lo cual indica que el tratamiento sigue sin afectar la germinación hasta este tiempo. Para el cuarto mes se observó que los tratamientos con quitosano T4 y T5 fueron estadísticamente superiores en germinación al resto de

los tratamientos sin efecto aparente de la presencia del microorganismo. Para el caso del quinto y sexto mes se pudieron apreciar los valores de las medias para el T7, ligeramente más bajo al resto de los tratamientos, no se observaron diferencias estadísticas significativas, lo que indica que aún con los recubrimientos después del cuarto mes de almacenamiento hay un ligero deterioro de la semilla (Tabla 5.10).

**Tabla 5.10** Comparación de medias de los recubrimientos evaluados en porcentaje de germinación para el tiempo de almacenamiento en semillas de maíz.

Tratamientos	Octubre (% Ger)	Noviembre (% Ger)	Diciembre (% Ger)	Enero (% Ger)	Febrero (% Ger)	Marzo (% Ger)
T1	93.00 AB	90.33 AB	92.00 A	84.66 CD	92.33 A	89.33 A
T2	91.66 AB	90.00 AB	88.66 AB	86.00 CD	92.33 A	86.66A
T3	84.33 B	84.00 AB	91.33 A	89.33 BC	93.33 A	95.67 A
T4	73.66 C	88.33 AB	96.66 A	97.33 A	93.00 A	94.00 A
T5	93.00 AB	93.33 A	96.66 A	91.33 B	87.00A	92.33 A
T6	94.66 A	93.33 A	81.00 B	88.66 BC	85.00 A	90.00 A
T7	94.00 A	79.67 B	81.33 B	82.67 D	81.00 A	82.33 A
<b>D.M.S</b>	8.9	12.45	9.81	5.16	16.93	14.47

En la comparación de medias para los tiempos de germinación que se muestran en la Tabla 5.11, se observa que el tiempo a partir de las 96 h, el porcentaje de germinación incrementó significativamente posterior a este tiempo.

**Tabla 5.11** Comparación de medias del porcentaje de germinación en los tiempos de germinación durante almacenamiento para semillas de maíz.

Tiempo (h)	Germinación (%)
24	0.00 D
48	42.61 C
72	74.51 B
96	89.25 A
<b>D.M.S</b>	1.29

Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos de las semillas de maíz no afectaron el porcentaje de germinación aún a los seis meses de almacenamiento. Algunos reportes señalan que para tener una mayor efectividad en la conservación de semillas se debe dar un tratamiento químico previo, como lo reportado por Games-Moraes *et al.* (2010), donde se demuestra que existe una disminución de la calidad de la semilla si no se agregan insecticidas durante la siembra y durante el periodo de almacenamiento.

El estudio realizado por Lizárraga *et al.* (2011), en el que utilizaron quitosano para la protección contra el estrés biótico en maíz, demostraron que las semillas tratadas presentaron menor incidencia de enfermedades y esto se relaciona con que el quitosano actuó como activador de mecanismos de defensa para las plántulas en crecimiento, impidiendo de esta forma la infección por hongos fitopatógenos y además estos tratamientos no afectaron la germinación. Esta última parte concuerda con nuestros resultados dado que la presencia del quitosano en los recubrimientos no afectaron la germinación.

Pabón *et al.* (2014), evaluaron los efectos del quitosano con hongos fitopatógenos en la germinación de *Jatropha curcas L.* donde los efectos del quitosano se evaluaron sobre el crecimiento de micelio, la esporulación y germinación de esporas entre ellas las de *F. equiseti* y *C. lunato*, los resultados muestran que las concentraciones 0.5, 1.0, 2.0 y 4.0 mg mL<sup>-1</sup> de quitosano en que se embebieron las semillas, no mostraron crecimiento micelial lo que indica que hubo protección en la semillas e indica también que no se afectó la germinación, lo cual coincide con los resultados reportados en este trabajo.

#### **5.4 Recubrimientos de quitosano y agente microbiano (conidias de *Beauveria bassiana*) para la semillas de frijol negro Jamapa durante su almacenamiento.**

##### **5.4.1 Efecto del almacenamiento en la germinación de semillas de frijol negro Jamapa con los siete tratamientos.**

El análisis de varianza para los tratamientos, almacenamientos y tiempos de germinación muestra diferencias estadísticas altamente significativas. Las interacciones de tratamiento\*tiempo de germinación y tratamiento\*almacenamiento mostraron diferencias estadísticas altamente significativas y la interacción almacenamiento\*tiempo de germinación resultó con diferencias estadísticas significativas (Tabla 5.12).

**Tabla 5.12** Cuadrados medios, grados de libertad del análisis de varianza de los tratamientos evaluados para el tiempo de almacenamiento en semilla de frijol negro Jamapa.

<b>Fuente de variación</b>	<b>g. l.</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamientos</b>	6	137.14**	<.0001
<b>Almacenamiento (meses)</b>	5	80.35**	<.0001
<b>Tiempo de germinación (h)</b>	3	198987.92**	<.0001
<b>Tratamientos *Tiempo de germinación (h)</b>	18	22.58**	<.0001
<b>Tratamiento*Almacenamiento (meses)</b>	30	43.94**	<.0001
<b>Almacenamiento (meses) *Tiempo de germinación (h)</b>	15	12.16*	0.044
<b>Total</b>	503		
<b>C.V.A</b>		5.07	

\*, \*\*=significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente

En la comparación de medias se puede observar que tomando en cuenta el promedio de todos los tiempos de germinación se presenta el agrupamiento de cuatro grupos, es decir, los primeros dos agrupamientos son el tratamiento T4, y el segundo grupo T5 y T1 ambos grupos con los valores estadísticamente más altos de porcentaje de germinación, el tercer grupo T3, T2 y T6 y finalmente el tratamiento T7 con el más bajo porcentaje de germinación. Cuando se toma en cuenta únicamente el tiempo de germinación en el que se encuentra el valor más alto del porcentaje, es decir a las 96 h, el análisis de comparación de medias muestra que los tratamientos T1 al T6 son superiores y estadísticamente iguales, dejando al T7 al final y estadísticamente inferior al resto de los tratamientos, el cual muestra el porcentaje de germinación estadísticamente más bajo (Tabla 5.13).

**Tabla 5.13** Comparación de medias de los recubrimientos evaluados durante su almacenamiento para semilla de frijol negro Jamapa.

Tratamientos	Germinación (%) <sup>a</sup>	Germinación (%) <sup>b</sup>
T4	54.08 A	89.94 A
T5	53.26 AB	91.78 A
T1	52.87 AB	90.50 A
T3	52.54 B	89.61 A
T2	52.25 B	88.61 A
T6	52.07 B	89.28 A
T7	49.67 C	84.94 B
<b>D.M.S</b>	1.31	3.37

<sup>a</sup>= % de germinación como promedio de todos los tiempos de germinación. <sup>b</sup>= % de germinación a las 96 h.

La comparación de medias del porcentaje de germinación evaluando el tiempo de almacenamiento mostró que en el segundo mes de almacenamiento el porcentaje de germinación fue mayor estadísticamente al resto de los tiempos de almacenamiento (Tabla 5.14). Es posible que este comportamiento se deba a que en el proceso del recubrimiento de las semillas, el porcentaje de humedad alcanzado en estas fuera lo suficiente para afectarlas en la germinación en el primer mes de almacenamiento (probablemente el porcentaje de humedad fuera similar al que se presenta cuando las semillas están recién cosechadas, generalmente entre 15 y 18 %), se sabe que las semillas requieren un proceso de acondicionamiento después de la cosecha que les permitan alcanzar una humedad entre 5 y 7 % para mostrar altos porcentajes de germinación (mayor al 90 %) (Koostra y Harrington, 1968; Harrington, 1972; Kozlowski, 1972).

**Tabla 5.14** Comparación de medias por meses evaluados durante su almacenamiento para semillas de frijol negro Jamapa.

<b>Almacenamiento (Meses)</b>	<b>Germinación (%)<sup>a</sup></b>	<b>Germinación (%)<sup>b</sup></b>
<b>Noviembre 2015</b>	54.11 A	91.67 A
<b>Marzo 2016</b>	52.57 B	88.38 BC
<b>Enero 2016</b>	52.38 B	89.05 ABC
<b>Diciembre 2015</b>	52.20 BC	89.00 ABC
<b>Octubre 2015</b>	51.96 BC	90.24 AB
<b>Febrero 2016</b>	51.13C	87.06 C
<b>D.M.S</b>	1.17	3.02

<sup>a</sup>= % de germinación como promedio de todos los meses de almacenamiento. <sup>b</sup>= % de germinación a las 96 h

Como era de esperarse el tiempo de germinación para la semilla de frijol negro Jamapa, el tiempo de mayor porcentaje de germinación fue a las 96 h (ISTA 1994). (Tabla 5.15).

**Tabla 5.15** Comparación de medias del tiempo de germinación para semilla de frijol negro Jamapa.

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Germinación (%)</b>
24	0.32 D
48	43.54 C
72	76.36 B
96	89.35 A
<b>D.M.S</b>	0.86



Cuando se analizó el efecto del almacenamiento y de los tratamientos sobre la germinación para el caso de frijol, se encontró que durante el tiempo de almacenamiento, los tratamientos T3, T4, T5 y T6 fueron estadísticamente iguales al testigo, y solamente los T2 y T7 (con solución INEX®) fueron estadísticamente inferiores al resto de los tratamientos hasta el cuarto mes de almacenamiento, y posteriormente en el quinto y sexto mes de almacenamiento, todos los tratamientos fueron iguales (Tabla 5.16).

**Tabla 5.16** Comparación de medias de los recubrimientos evaluados en porcentaje de germinación para el tiempo de almacenamiento en semillas de frijol negro Jamapa.

<b>Tratamientos</b>	<b>Octubre (% Ger)</b>	<b>Noviembre (% Ger)</b>	<b>Diciembre (% Ger)</b>	<b>Enero (% Ger)</b>	<b>Febrero (% Ger)</b>	<b>Marzo (% Ger)</b>
<b>T1</b>	93.67 A	90.33 ABC	91.33 A	89.00 AB	83.67 A	95.00 A
<b>T2</b>	85.00 BC	97.00 A	89.00 AB	91.00 AB	87.00 A	82.67 A
<b>T3</b>	92.00 A	91.33 ABC	83.67 B	92.00 A	87.00 A	91.67 A
<b>T4</b>	90.33 AB	87.33 C	91.67 A	90.33 AB	91.67 A	88.33 A
<b>T5</b>	94.33 A	94.33 AB	92.67 A	94.00 A	88.67 A	86.67 A
<b>T6</b>	93.67 A	92.00 ABC	89.67 AB	83.33 B	87.67 A	89.33 A
<b>T7</b>	82.67 C	89.33BC	85.00 B	83.67 B	84.00 A	85.00 A
<b>D.M.S</b>	6.7	6.8	6.0	7.6	8.5	16.31

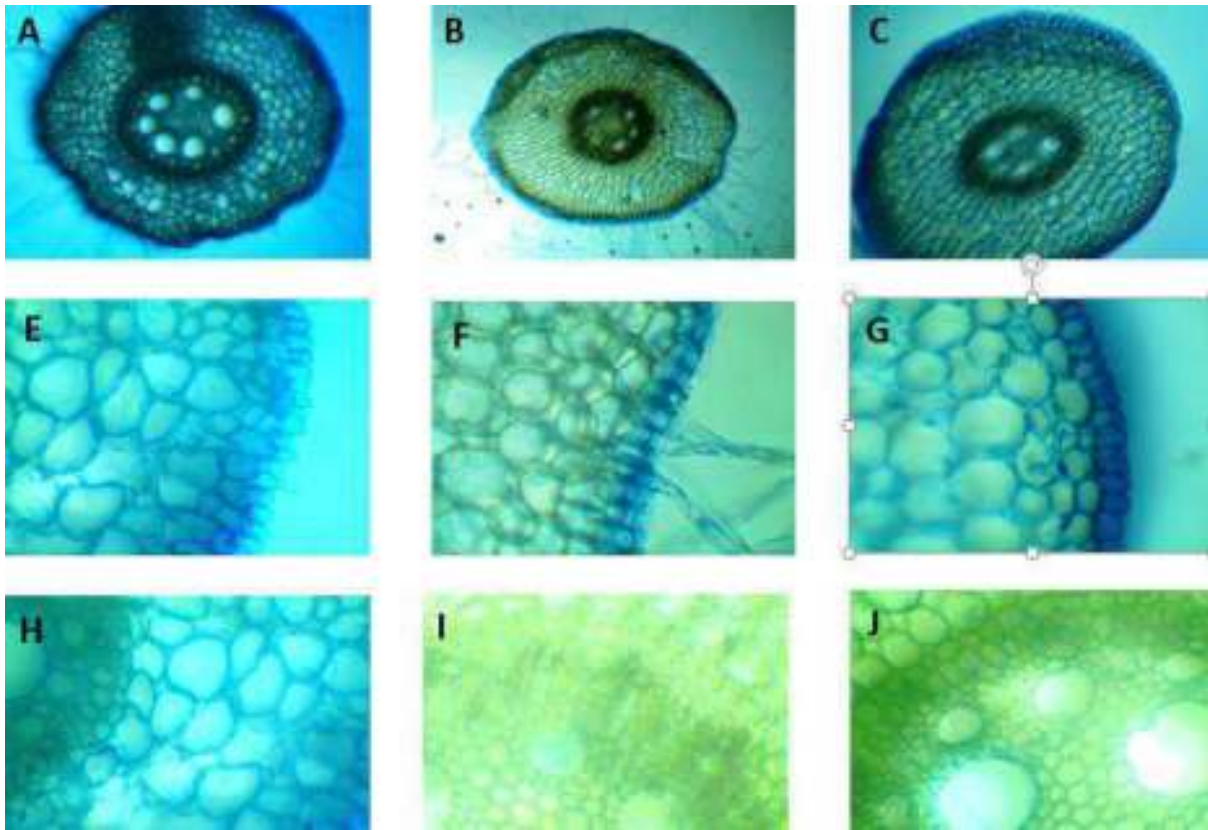
De acuerdo con Ghasemnezhad y Honermeir (2007), la vida media de anaquel y la calidad de las semillas de girasol disminuye significativamente dependiendo de la temperatura y el tipo de almacenamiento. Del mismo modo, Azadi y Younesi (2013) reportan que el almacenamiento prolongado provoca una disminución significativa en todas las características de germinación. Para nuestro caso y por el tiempo de almacenamiento que se utilizó para este experimento (seis meses), no se observó un

efecto de deterioro sobre la semilla analizada, dado que los porcentajes iniciales y finales de germinación en términos generales no fueron estadísticamente diferentes durante el almacenamiento. Lo que indica que se requieren más análisis en los que se incrementa el tiempo de almacenamiento, es decir, un periodo mayor a seis meses y evaluar nuevamente el efecto en la germinación.

### **5.5 Análisis histológicos para determinar la presencia de micelio en los tejidos de plántulas de tratamientos con quitosano y el agente microbiano (*B. bassiana*).**

El análisis histológico de la radícula de semilla de maíz, se realizó con la intención de determinar un posible efecto fitopatogénico y endófito del microorganismo y por lo tanto la posible aparición de zonas necróticas o un bajo porcentaje de elongación del tejido.

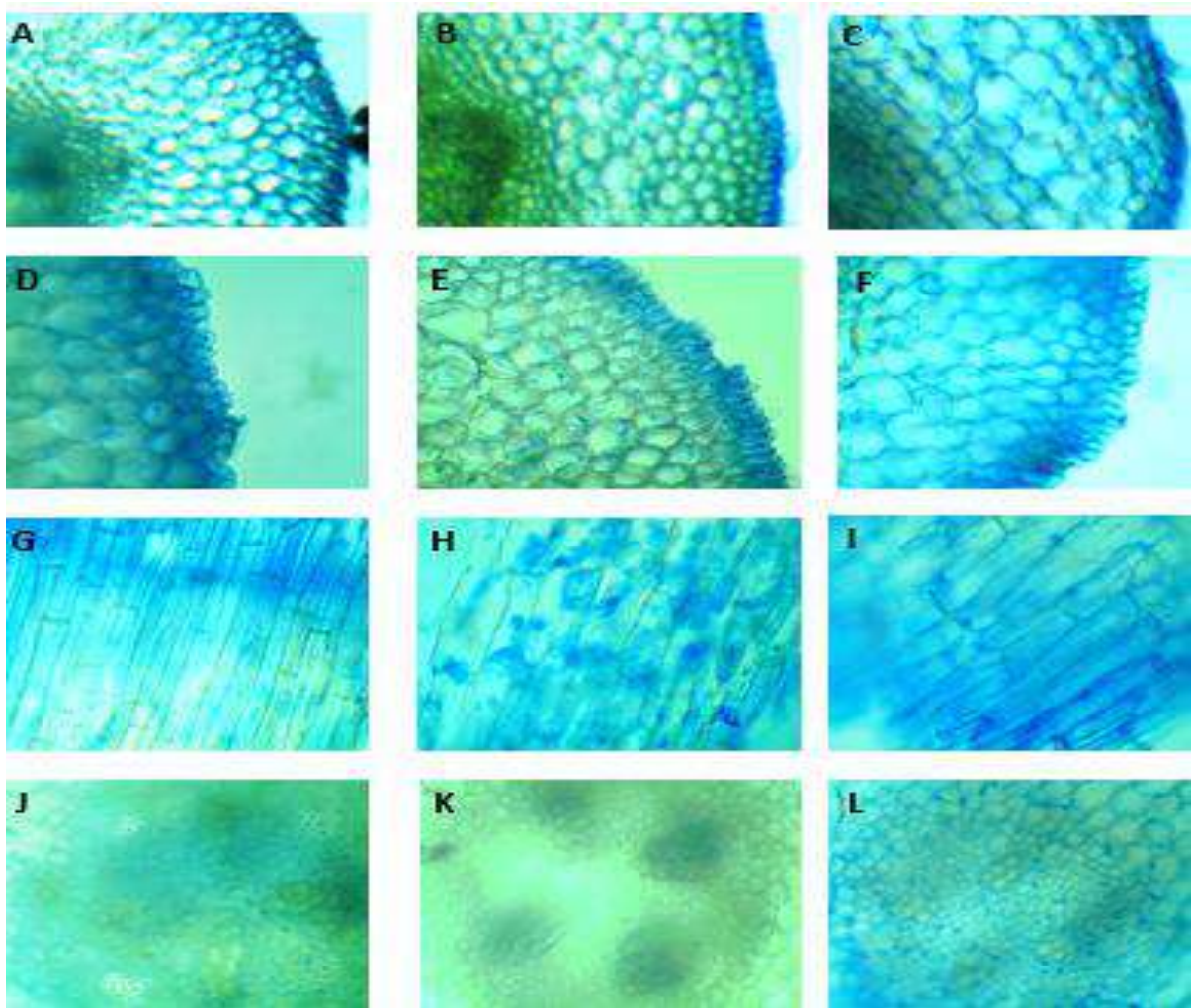
El resultado del análisis visual en el tejido radicular elegido aleatoriamente mostró que el micelio de *B. bassiana* no penetró el tejido, ni causó lesiones que afectaran el desarrollo normal de la radícula de la semilla (Figura 5.1 A, B, C), únicamente se observó el desarrollo miceliar en la zona de la epidermis y sin efecto sobre la raíz (Figura 5.1 E, F, G)



**Figura 5.1** Observación de tejidos para detectar colonización endófitas de *Beauveria bassiana* en raíces de *Zea mays*. A, B, C, vista panorámica de una sección transversal de raíz en 10X. E, F, G vista parcial de una sección transversal de raíz con crecimiento a la zona de epidermis y parénquima adyacente a 40X. H, I, J, vista parcial de una sección transversal de raíz con acercamiento en la zona vascular y parénquima adyacente a 40X. En ninguno de los siete tratamientos observados se detectó la presencia de micelio por tratamiento, elegidas de manera aleatoria.

El análisis histológico de la radícula de semilla frijol negro Jamapa, se realizó para determinar el posible efecto endófito del microorganismo y por lo tanto el posible crecimiento y desarrollo dentro de los tejidos

El resultado del análisis visual en microscopio óptico del tejido radicular elegido aleatoriamente mostró que el micelio de *B. bassiana* no afectó el tejido, ni causó lesiones que modificaran el desarrollo normal de la radícula de la semilla (Figura 5.2).



**Figura 5.2** Observación de tejidos para detectar colonización endófitica de *Beauveria bassiana* en raíces de *Phaseolus vulgaris*. A,B,C, vista parcial de una sección transversal de raíz en 10X. D, E, F, vista parcial de una sección transversal de raíz con crecimiento a la zona de epidermis y parenquimas adyacente a 40X. G, H, I, vista parcial de una sección longitudinal de raíz con acercamiento a la zona parénquima cortical. J,K, L vista de la zona vascular de la raíz a 40 X. En ninguno de los siete tratamientos observados se detectó la presencia de micelio de *B. bassiana*. Se analizaron 10 plantas por tratamiento, elegidas de manera aleatoriamente.

Estudios realizados por Posada *et al.* (2007) reportan a *B. bassiana* como endófito en plántulas de cacao (*Theobroma cacao*), el cual se detectó mediante un escrutinio en tallos, hojas y raíces, lográndose encontrar después de dos meses de evaluación. Dicho estudio demostró que *B. bassiana* requiere de ciertas condiciones para poder penetrar a raíz y posteriormente traslocarse a la planta, y que esta colonización es dependiente de un estado fisiológico determinado. Otros estudios han demostrado que las plantas colonizadas con *B. bassiana* no difieren en su crecimiento con plantas no colonizadas Lewis *et al.* (2001).

La ausencia de *B. bassiana* en el reporte de Powell *et al.* (2009), quienes evaluaron la presencia del hongo a diez semanas de haber inoculado conidias en plántulas, solo confirmaron presencia en hoja. Posteriormente, a las 18 semanas establecidas en plantas completas ellos confirman la presencia de *B. bassiana* en la mayor parte de plántulas evaluadas.

*B. bassiana* es un hongo entomopatógeno que se comporta como endófito de manera importante (White *et al.*, 2003); no obstante, los mecanismos por los cuales ocurre esto son hasta ahora desconocidos, por lo cual en muchos casos la inoculación en laboratorio resulta poco fructífera, por lo que, no todos han presentado potencial endófito, al igual que en este trabajo que tampoco se presentó como endófito a pesar

de haberlo inoculado como parte de un recubrimiento debido a que posiblemente no se presentaron las condiciones adecuadas para el desarrollo de tal evento.

## VI. CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que los recubrimientos biofuncionales a base de quitosano y un agente microbiano (conidias de *B. bassiana*) no afectaron al porcentaje de germinación, tanto para la semilla de maíz y frijol negro Jamapa; por lo cual, la aplicación de estos recubrimientos para proteger a las semillas evaluadas en este trabajo constituyen una estrategia con potencial para adicionar una capa de protección sobre la semilla que en determinado momento pudiera brindar protección contra el ataque de plagas y fitopatógenos, aunque esto se deberá complementar con experimentos posteriores.

El porcentaje de germinación de semillas de maíz con los tratamientos formulados, no se afectó debido al proceso de almacenamiento durante los seis meses. Para el caso de semillas de frijol negro Jamapa tampoco se observó detrimento en la germinación. Sin embargo, se requerirán experimentos con mayores tiempos de almacenamiento a los evaluados en este trabajo, así mismo será conveniente evaluar diversas temperaturas en el proceso de almacenamiento.

*B. bassiana* no se observó cómo endófito en las plantas evaluadas; sin embargo, se considera que deberían realizarse más evaluaciones para determinar si este hongo o la cepa utilizada se pueden incorporar como endófito al momento de estar presentes como parte de recubrimiento de semillas.

**VII. LITERATURA CITADA**

- Alvarez G.S., Foglia M.L., Copello G.J., Desimone M.F., Díaz L.E. (2009). Effect of various parameters on viability and growth of bacteria immobilized in sol-gel-derived silica matrices. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82:639-646.
- Ayala A., Colina M., Molina J., Vargas J., Rincón D., Medina J., Rosales L., Cárdenas H. (2014). Evaluación de la actividad antifúngica del quitosano contra el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet que produce la Sigatoka negra que afecta el plátano. *Revista Iberoamericana de biopolímeros*, 27:1-12.
- Ayala V.G. (2015). Efecto antimicrobiano del quitosano: Una revisión de la literatura. *Scientia agroalimentaria*, 2:32-38.
- Bacon J.R., Clayton, P.B. (1986). Protection for seeds: A new film coating technique. *Span*, 29:54-56.
- Barkai-Golan R. (2001). Attack mechanisms of the pathogen, In: R, Barkai-Golan (ed.), *Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables; Development and Control*, Elsevier Science B, V, New York, USA, pp 418.
- Barnett H.L., Hunter B.B. (1972). *Illustrated genera of imperfect fungi*. 4th ed. St. Paul, Minnesota: APS Press.
- Bhaskara Reddy M.V., Arul J., Angers P., Couture L. (1999). Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 47:1208-1216.
- Caprile M.D. (2005). Obtención y Utilización de Quitina y Quitosano a partir de desechos de crustáceos. En libro de resúmenes del Congreso Mundial ISWA: "Hacia un sistema integral de residuos sólidos urbanos". Centro de exposiciones de la rural, Buenos Aires, 6:2-6.
- Carvalho N., Nakagawa J. (2012). *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. Jaboticabal: FUNEP. 5ta Ed. 590 p.
- Çetin S.A., Sahin E., Saraydin D. (2009). Preparation of Cu (II) adsorbed chitosan beads for catalase immobilization. *Food Chemistry*, 114:962-969.



- Chirkov S.N. (2002). The antiviral activity of chitosan. *Applied Biochemistry and Microbiology* 38:1–8.
- Damian C., Beirão L.E., Francisco A., Espírito Santo M.L.P., Teixeira E. (2005). Quitosana: um amino polissacarídeo com características funcionais. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 16:195-205.
- Domard A., Rinaudo M. (1983). Preparation and characterization of fully deacetylated chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 5:49-52.
- Doria J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31:74-85.
- Duran J.M. (1982). Pre acondicionamiento y recubrimiento de semillas hortícolas. *Agricultura*, 679:128-131.
- Elliot M., Shamoun S.F., Sumampong G., James D., Masri S., Varga A. (2009). Evaluation of several commercial biocontrol products on European and North American populations of *Phytophthora ramorum*. *Biocontrol Science and Technology*, 19:1007-1021.
- Felse P.A., Panda T. (1999). Studies on applications of chitin and its derivatives. *Bioprocess Engineering*, 20:505-512.
- Ferguson J. (1995). An introduction to seed vigour testing. In: seed vigour testing seminar, Copenhagen. Zurich: international seed testing association.
- Finch-Savage W.E., Leubner-Metzger G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New phytologist* 171:501-523.
- Dan L.G.M., Dan H.A., Barroso A.L.L., Braccini A.L. (2010). Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, 32:131-139.
- Giménez-Sampaio T., Sampaio N.V., Durán-Altisen J.M. (1992). Recubrimiento de semillas. *Agricultura*, 715:138-144.
- González J. (2015). Efecto del tiempo de almacenamiento en silos herméticos sobre la calidad fisiológica, nutricional y funcional de semilla de Maíz. Tesis Maestría. Instituto Tecnológico de Roque.

- González-Peña D., Costales D., Falcón A.B. (2014). Influencia de un polímero de quitosana en el crecimiento y la actividad de enzimas defensivas en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Cultivos Tropicales*, 35:35-42.
- Guan Y.J., Hu J., Wang X.J., Shao C.X. (2009). Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. *Journal of Zhejiang University Science B*, 10:427-433.
- Hajek A.E. (1997). Ecology of terrestrial fungal entomopathogens. *Advances in Microbial Ecology*, 15:193-249.
- Harrington J.F. (1972). Seed storage and longevity. In Kozlowski, T.T (Ed.) Seed biology. Volume 3. New York and London, Academic Press, pp.145-245.
- Hartmann H.T., Kester D.E. (1968). Propagación de plantas: principios y prácticas. 2ed. México, CECSA.
- Helader I.M., Nurmiäho-Lassila E.L., Ahvenainen R., Rhoades J., Roller S. (2001). Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 71:235–244.
- Hernández I. (2004). La quitosana: un producto bioactivo de diversas aplicaciones. *Revista Cultivos Tropicales*, 25:97-110.
- Hernández-Lauzardo A., Hernández-Martínez M., Velázquez-del-Valle M., Guerra-Sánchez M., Melo-Giorgana G. (2007). Actividad antifúngica del quitosano en el control de *Rhizopus stolonifer* y *Mucor spp.* *Revista Mexicana de Fitopatología*, 25:109-113.
- Ibarra J.E., Del Rincón M.C., Galindo E., Patiño M., Serrano L., García R., Carrillo J.A., Pereyra-Alfárez B., Alcázar-Pizaña A., Luna-Olvera H., Galán-Wong L., Pardo L., Muñoz-Garay C., Gómez I., Soberón M., Bravo A. (2006). Los microorganismos en el control biológico de insectos y fitopatógenos. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48:113-120.
- ISF. Tratamiento de semillas y Medio Ambiente de la Federación Internacional de Semillas. (2007). Tratamiento de semillas. Una herramienta para una agricultura sustentable. [www.croplife.org](http://www.croplife.org)

- Jones R.L. (1994). Role of field studies in assessing environmental behavior of herbicides. *Proc. Brighton crop protection conference. Weeds*. Vol. 3. Brighton, RU. pp. 1275-1282.
- Koostra P.T., Harrington J.F. (1968). Biochemical effects of age on membrane lipids of *Cucumis sativus* L. seeds. 15 th International Seed Testing Congress, New Zeland p. 1-12.
- Kozlowski T.T. (1972). Seed Biology. Volumen III. Academic Press. New York. London.
- Kurita K. (2006). Chitin and chitosan: Functional biopolymers from marine crustacean. *Marine Biotechnology*, 8:203- 226.
- Lamarque G., Chaussard G., Domard A. (2007). Thermodynamic aspects of the heterogeneous deacetylation of  $\beta$ -Chitin: Reaction mechanism. *Biomacromolecules*, 8: 1942-1950.
- Lárez V.C. (2003). Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 4:91-109.
- Lárez V.C. (2006). Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Revista Avances en Química*, 1:15-21
- Lárez V.C. (2008). Algunas potencialidades de la quitina y el quitosano para usos relacionados con la agricultura en Latinoamérica. *Revista UDO Agrícola*, 8:1-22
- Lewis L.C., Bruck D.J., Gunnarson R.D., Bidne K.G. (2001). Assessment of plant pathogenicity of endophytic *Beauveria bassiana* in Bt transgenic and nontransgenic corn. *Crop Science*, 41:1395–1400
- Liu N., Chen X.G., Park H., Liu C., Liu C.S., Meng X.H., Yu L.J. (2006). Effect of MW and concentration of chitosan on antibacterial activity of *Escherichia coli*. *Carbohydrate Polymers*, 64:60–65.
- Liu J., Tian S., Meng X., Xu Y. (2007). Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 44: 300–306.
- Liu X., Osawa T. (2007). Cis astaxanthin and especially 9-cis astaxanthin exhibits a higher antioxidant activity in vitro compared to the all-trans isomer. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 357:187–193.

- Liu Q., Yao H. (.2007). Antioxidant activities of barley seeds extracts. *Food Chemistry*, 102:732-737.
- Lizárraga P.G.E., Torres P.I., Moreno, M.E., Miranda, C.M.P. (2011). Protección contra estrés biótico en plántulas de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2:813-827.
- Mahmoud D. A. R., Helmy W.A. (2009). Potential application of immobilization technology in enzyme and biomass production. *Journal of Applied Sciences Research*, 5:2466-2476.
- Martínez L., Castro I.L.D. (2007). Influencia del tratamiento a semillas con quitosano en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos tropicales*, 1:79-81.
- Moliszewska E.B. (2001). Side Effects of herbicides on some soil fungi and plant tissues. Tri-trophic interactions in the rhizosphere. *IOBC/wprs Bull.* 24:111-116.
- Monzón A. (2001) Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua. *Manejo Integrado de Plagas* (CATIE, Costa Rica), 63:95-103.
- Nagel M., Börner A. (2010). The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. *Journal Seed Science Research*, 20:1-12.
- Navarro M., Febles G., Herrera R.S. (2015). Vigor: essential element for seed quality. El vigor, elemento indispensable de la calidad de las semillas. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49:447-458.
- González-Villaseñor C.O., Alvarado-Chávez R., Zepeda-Jazo I. (2015). Distribución natural del hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Viul. En suelos agrícolas y no cultivados de la Ciénega en Michoacán. *Entomología Mexicana*, 2:253-259.
- Pabón D. C. (2013). Influencia del quitosano en la inhibición de hongos fitopatógenos y en la germinación de semillas de *Jatropha curcas* L. Tesis de grado IPN. México. 87 p.
- Pérez, M.S.A., Rodríguez, P.T.A., Ramírez, A.M.A. (2015). Effect of different chitosan concentrations on rice (*Oryza sativa*, L.) seed germination and seedling growth. *Avances*, 17:380-386
- Pérez, N. (2010). Alternativas al control químico de plagas. *Revista Virtual Redesma*, 4:1-13.

- Pérez-Nava E., García-Gutiérrez C., Camacho-Báez J.R., Vázquez-Montoya E.L. (2012) Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8:17-29.
- Pillai C.K.S., Paul W., Sharma C.P. (2009). Chitin and chitosan polymers: chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in polymer science*, 34:641-678.
- Posada F., Aime M.C., Peterson S.W., Rehner S.A., Vega F.E., (2007). Inoculation of coffee plants with the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Mycological Research*, 111:749–758.
- Powell W.A., Klingeman W.E., Ownley B.H., Gwinn K.D. (2009). Evidence of Endophytic *Beauveria bassiana* in Seed-treated Tomato Plants Acting as a Systemic Entomopathogen to Larval *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomological Science*, 44:391-396.
- Rabea E.I., Badawy M.E.T., Stevens C.V., Smagghe G., Steurbaut W. (2003) Chitosan as antimicrobial agent: Applications and mode of Action. *Biomacromolecules*, 4:1457-1465.
- Ramírez M.A., Rodríguez A.T., Alfonso L., Peniche C. (2010). Chitin and its derivatives as biopolymers with potential agricultural applications. *Bioteconología Aplicada*, 27:270-276.
- Rodríguez A.T., Rodríguez M.A., Falcón A., Guridi F., Cristo E. (2004). Estimulación de algunas enzimas relacionadas con la defensa de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidas de semillas tratadas con quitosano. *Cultivos tropicales*, 25:111-115.
- Rodríguez-Pedroso A.T., Ramírez-Arrebató M.A., Rivero-González D., Bosquez-Molin E., Barrera-Necha L.L., Bautista-Baños S. (2009). Propiedades químico-estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15:307-317.
- Rosental L., Nonogaki H., Fait A. (2014). Activation and regulation of primary metabolism during seed germination. *Seed Science Research*, 24:1-15.
- Russo V.M., Bruton V.D., Sams C.E. (2010). Classification of temperature response in germination of Brassicas. *Industrial Crops and products*, 31:48-51
- Salinas A.R., Yoldjian A.M., Craviotto R.M., Bisaro V. (2001). Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:371-379.

- Sañudo-Torres R.R., Rojo-Martínez G.E., Martínez-Ruíz R., Medina-Torres S.M., Piña-Ruíz H.H., Félix-Herrán J.A. (2013). Potencial endofítico de diferentes aislados de *Beauveria bassiana* en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Juyyaania*, 1:71-83.
- Shahidi F., Abuzaytoun R. (2005). Chitin, chitosan, and co-products: chemistry production applications and health effects. *Advances in food and nutrition research*, 49:93-135.
- Téllez-Jurado A., Cruz-Ramírez M.G., Mercado-Flores Y., Asaff-Torres A., Arana-Cuenca A. (2009). Mecanismos de acción y respuesta en la relación de hongos entomopatógenos e insectos. *Revista mexicana de micología*, 30:73-80.
- White J.F., Bacon C.W., Hywel-Jones N.L., Spatafora J.W. (Eds.). (2003). Clavicipitalean Fungi: Evolutionary Biology, Chemistry. Biocontrol and Cultural Impacts. Marcel Decker, New York.
- Wraight S., Carruthers R., Bradley C., Jaronsky S., Lacey L., Wood P., Galaini W.S.(1998). Pathogenicity of the entomopathogenic fungi *Paecilomyces* spp. and *Beauveria bassiana* against the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*. *Biology Control*, 17:203-217.
- Yang J.K., Shih I.L., Tzeng Y.M., Wang S.L. (2007). Production and purification of protease from *Bacillus subtilis* that can deproteinize crustacean wastes. *Enzyme and Microbial Technology*, 26:406- 413.
- Ziani K., Ursula B., Maté J. (2010). Application of biocide coating based on chitosan for artichoke seed protection. *Crop Protection*, 29:853-859e.

## **ANEXO 1. Conteo de conidias *Beauveria bassiana***

Para determinar el número de conidias por volumen de suspensión, se utilizó la cámara de Neubauer que consiste en una placa de vidrio (tipo portaobjetos) que tiene dos cámaras de 0.1 mm de profundidad. Cada cámara está dividida en nueve cuadrados de 1 mm<sup>2</sup>. La superficie cubre el área total de 9mm<sup>2</sup>, adicionalmente, el cuadrado del centro esta subdividido en cinco por cinco cuadrados agrupados 0.2 mm de lado y una superficie de 0.04 mm<sup>2</sup> cada uno. Los cuadrados del centro a su vez están subdivididos en 16 cuadrados más pequeños de 0.0025 mm<sup>2</sup> cada uno, cinco de estos cuadrados se utilizaron para el conteo de las conidias.

### Procedimiento

1. Se preparó una suspensión de conidias en agua destilada
2. Con una micropipeta se llenó la parte de la cámara con la suspensión de conidias y se cubrió con el cubreobjetos
3. Se observó al microscopio utilizando el aumento más conveniente de acuerdo al tamaño de la estructura 40X
4. Se contaron las conidias presentes en los cuadrados elegidos generalmente se cuentan en los cuadrados de los cuatro ángulos y el centro, o en forma diagonal empezando de la parte superior izquierda, también se contaron las conidias que estaban ubicadas en las primeras líneas que se encontraron circundando el cuadrado las que se encuentran en la parte superior y la derecha del cuadrado. Se contaron en total 10 cuadrados, 5 en cada cámara.
5. La cuantificación de conidias por ml se realizó con la siguiente fórmula:  
Conidias/ml= # de conidias contadas x 25,000 x factor de dilución.  
Conidias totales= conidias / ml x volumen de la suspensión original de conidias.  
De acuerdo a la concentración de conidias calculada.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**DIVERSIDAD GENÉTICA DE POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE ANCHO**  
**(*Capsicum annum* L.) DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO**

**QUE PRESENTA**

**MERCEDES GONZÁLEZ GÓMEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO, 2017**



La tesis “Diversidad genética de poblaciones criollas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) de San Luis de la Paz, Guanajuato”, fue realizada por la alumna **Mercedes González Gómez**, bajo la dirección del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y Co-dirección del Dr. José Luis Pons Hernández y asesoría de Dr. Mariano Mendoza Elos y M.C. Davino Pérez Mendoza, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**

**Asesor:**

---

**Dr. Mariano Mendoza Elos**

**Cédula: 3998828**

**Asesor:**

---

**M.C. Davino Pérez Mendoza**

**Cédula: 7298845**

## **DEDICATORIA**

### **A dios**

Que me permitiste existir, que me elegiste para vivir, hoy aquí una meta cumplí; te agradezco por permitirme lograrlo.

### **A mi familia**

Le doy infinitamente mil gracias a cada uno por todo el apoyo moral y económico que me brindaron a lo largo de toda mi carrera a pesar de las pruebas difíciles que he pasado en esta vida, ellos estuvieron ahí tendiéndome la mano incondicionalmente, gracias a todos ellos por sus consejos.

Gracias a ellos he podido salir adelante, me queda el recuerdo de cada uno de ellos grabado en mi mente, conviviendo día a día en la lucha constante por la superación.

Mis papás:

Aurelio González Rodríguez que sin su apoyo no lo hubiera logrado y Alejandra Gómez Mata que es uno de mis pilares para poder lograr esta meta. El triunfo también es de ustedes. Los quiero.

Mis hermanos y hermanas:

Marco Aurelio, Alejandro, Adriana y Marisol González Gómez, gracias por su apoyo y confianza.

Finalmente, a todas y cada una de las personas que han conformado parte en mi formación en todos estos años.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo económico con la beca otorgada, la cual me permitió llevar a cabo mis estudios de posgrado satisfactoriamente.

A mi alma Mater, el Instituto Tecnológico de Roque por haber sido la cuna de mi aprendizaje y profesión.

Al Dr. Francisco Cervantes Ortiz, por el apoyo brindado en este tiempo y asesorías brindadas para la elaboración de este trabajo, gracias por sus consejos y amistad.

Al Dr. José Luis Pons Hernández por ayudarme en la elaboración de la tesis y su apoyo incondicional.

Al M.C. Davino Pérez Mendoza y al Dr. Mariano Mendoza Elos, por las asesorías y tiempo durante la elaboración de este trabajo.

A los profesores que dedicaron su tiempo en la enseñanza y aprendizaje, que fueron de gran ayuda para poder concluir los estudios.

A todos mis compañeros de la maestría, por los momentos juntos durante toda mi estancia en el posgrado.

Al personal del Laboratorio de Marcadores Moleculares de la Unidad de Biotecnología del INIFAP-CEBAJ; por haberme permitido desarrollar mi trabajo experimental y haberme hecho el camino mas sencillo.

## ÍNDICE

	Pág.
Índice	i
Índice de tablas	iii
Índice de figuras	iv
Resumen	v
Summary	vii
<b>Capítulo I. Introducción general</b>	1
1.1    Objetivos	9
1.1.1    Objetivo general	9
1.1.2    Objetivos específicos	9
1.2    Hipótesis	9
<b>Capítulo II. Caracterización morfológica de cuatro poblaciones criollas de chile ancho de San Luis de la Paz, Guanajuato.</b>	10
2.1    Introducción	12
2.2    Materiales y métodos	15
2.2.1    Ubicación del experimento	15
2.2.2    Material genético	15
2.2.3    Prácticas agronómicas	16
2.2.3.1    Siembra	16
2.2.3.2    Preparación y desinfección del sustrato	16
2.2.3.3    Diseño experimental	16
2.2.3.4    Trasplante de plántulas	17
	i

2.2.3.5	Fertilización química	17
2.2.3.6	Control fitosanitario	17
2.2.3.7	Cosecha y extracción de semillas	18
2.2.4	Variables registradas	18
2.3	Análisis estadísticos	21
2.4	Resultados y discusión	22
2.5	Conclusiones	34
2.6	Literatura citada	35
<b>Capítulo III. Diversidad genética de cuatro poblaciones criollas de chile ancho de San Luis de la Paz, Guanajuato.</b>		41
3.1	Introducción	43
3.2	Materiales y métodos	44
3.2.1	Material vegetativo y siembra	44
3.2.2	Trabajo de laboratorio	44
3.2.3	Análisis de datos	45
3.3	Resultados y discusión	45
3.4	Conclusiones	50
3.5	Literatura citada	50
<b>Capítulo IV. Conclusiones generales</b>		52
<b>Capítulo V. Literatura citada general</b>		54
<b>Anexos</b>		57

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
<b>Tabla 1.1</b>	División de las zonas productoras de <i>Capsicum</i> en México	3
<b>Tabla 2.1</b>	Información de datos del material biológico de las cuatro poblaciones criollas de chile ancho	15
<b>Tabla 2.2</b>	Descriptores y escalas de medición evaluadas en cuatro poblaciones criollas de chile ancho. INIFAP-CEBAJ, 2015-2016	19
<b>Tabla 2.3</b>	Agrupación de los componentes y porcentaje de variabilidad en materiales de chile ancho. Ciclo 2015	22
<b>Tabla 2.4</b>	Valores propios de las variables en el ACP en la caracterización de poblaciones de chile ancho. Ciclo 2015	24
<b>Tabla 2.5</b>	Agrupación de los componentes y porcentaje de variabilidad en cada componente en materiales de chile ancho. Ciclo 2016	26
<b>Tabla 2.6</b>	Valores propios de las variables de mayor valor descriptivo respecto a su componente principal en poblaciones de chile ancho. Ciclo 2016	28
<b>Tabla 2.7</b>	Agrupación de los componentes y porcentaje de variabilidad en materiales de chile ancho ciclos 2015-2016	30
<b>Tabla 2.8</b>	Valores propios de las variables en el ACP en la caracterización de poblaciones de chile ancho. Ciclos 2015-2016	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
<b>Figura 1.1</b>	Tipos de chiles criollos documentados para México	4
<b>Figura 2.1</b>	Gráfico de sedimentación en poblaciones de chile ancho. Ciclo 2015	23
<b>Figura 2.2</b>	Gráfico en dos dimensiones de CP1 y CP2 en poblaciones de chile ancho. Ciclo 2015	26
<b>Figura 2.3</b>	Gráfico de sedimentación en poblaciones de chile ancho. Ciclo 2016	27
<b>Figura 2.4</b>	Gráfico en dos dimensiones de CP1 y CP2 en poblaciones de chile ancho. Ciclo 2016	30
<b>Figura 2.5</b>	Gráfico de sedimentación en poblaciones de chile ancho. Ciclos 2015-2016	31
<b>Figura 2.6</b>	Gráfico en dos dimensiones de CP1 y CP2 en poblaciones de chile ancho. Ciclos 2015-2016	34
<b>Figura 3.1</b>	Gel de agarosa al 1.5 % con regulador TAE 1X que muestra las diluciones de ADN de chile a una concentración de 10 ng/ $\mu$ L. Marcador de peso corresponde 100 ng ( $\lambda$ $\frac{s}{c}$ ).	46
<b>Figura 3.2</b>	Gel de poliacrilamida al 6 % de amplicones AFLP EcoRI/Tru91 obtenidos en chiles anchos del Municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato	47
<b>Figura 3.3</b>	Agrupamiento de 5 poblaciones de chile ancho de San Luis de la Paz, Gto., mediante 428 AFLPs, mediante el uso de Rogers-SAHN-UPGMA, grupos (A) y (B)	49

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estimar la diversidad genética de cuatro poblaciones criollas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) del Municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato. Para cumplir lo anterior, se realizó la caracterización morfológica y molecular de cuatro poblaciones criollas sembradas en dos ciclos de cultivo en un invernadero tipo capilla de vidrio en el INIFAP-CEBAJ. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 poblaciones 2 repeticiones, considerando 18 plantas por repetición y la descripción morfológica se hizo de acuerdo al manual del SNICS (2014). Se registraron 15 caracteres; altura de planta (ALT), color de antocianinas en el nivel de los nudos (CAN), longitud de hoja (LH), anchura de hoja (AH), pubescencia de la hoja (PH), diámetro de fruto (FD), longitud de fruto (FL), relación longitud-anchura de fruto (FRLA), cavidad peduncular del fruto (FCP), profundidad de la cavidad peduncular del fruto (FPCP), grosor del pedúnculo del fruto (FRGP), longitud del pedúnculo del fruto (FRLP), grosor del pericarpio del fruto (FGP), tiempo inicio de floración (TIF) y tiempo de maduración (TM). Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), usando el paquete estadístico PAST Ver. 3.15. La caracterización molecular de las poblaciones fue mediante marcadores AFLP. Utilizando 18 individuos por población y un testigo, con seis combinaciones enzima/primer, que generaron 428 marcadores. Se generó una matriz de distancia genética mediante el coeficiente Rogers-Tanimoto. Posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados jerárquicos (SAHN) y finalmente, se construyó un dendrograma con el método de UPGMA, usando el programa estadístico NTSYSpc Ver. 2.20. Los resultados de la caracterización morfológica mostraron para el ciclo 2015 dos componentes principales que explicaron el 78.067 % y en el ciclo 2016 el 78.957 % de la variabilidad total entre las poblaciones. En el análisis conjunto para los ciclos 2015-2016 explicaron el 74.796 % de la variabilidad total. Por otro lado, en 2015 las variables con mayor capacidad explicativa para ambos componentes fueron: FRLA, FL, FD, LH, FCP, PH CAN, FRGP, TM, ALT, FGP, FPCP y en 2016 se



expresaron las siguientes características: ALT, FL, TIF, FRLA, FD, FRLP, FCP, LH, FPCP y FGP. La diversidad morfológica de las poblaciones de chile ancho se representa principalmente por la variación en las características morfológicas de planta y fruto. Aunque se formaron dos grupos; el primero conformado por las poblaciones Especial y Esmeralda con caracteres similares y el segundo con las poblaciones San Luis 1 y San Luis 2. En la caracterización molecular se obtuvieron 428 alelos. Las poblaciones estudiadas presentaron un 5 % de variabilidad genética que integró dos grupos a una distancia genética de 0.958. La diversidad en las poblaciones criollas de la región del Norte del Estado de Guanajuato se está perdiendo, por lo que es necesario realizar tanto la conservación de los materiales, como la incorporación de variación genética.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, diversidad genética, caracterización morfológica, caracterización molecular y poblaciones criollas.

## SUMMARY

The objective of the investigation was to estimate the genetic diversity of four creoles populations of ancho pepper (*Capsicum annum* L.) of the Municipality of San Luis de la Paz, Guanajuato. To comply with the above, the morphological and molecular characterization of four Creole populations planted in two crop cycles was carried out in a glass chapelain type greenhouse at INIFAP-CEBAJ. We used a completely randomized design with 4 populations 2 replicates, considering 18 plants per replicate and morphological description was done according to the SNICS manual (2014). 15 characters were recorded; ; plant height (ALT), color of anthocyanins at the level of the knots (CAN), leaf length (LH), sheet width (AH), leaf pubescence (PH), diameter of fruit (FD), length of fruit (FL), relationship length-width of fruit (FRLA), fruit peduncle cavity (FCP), depth of the peduncle cavity of the fruit (FPCP), fruit peduncle thickness (FRGP), fruit peduncle length (FRLP), thickness of fruit pericarp (FGP), flowering start time (TIF) and maturation time (TM). A principal component analysis (PCA) was performed using the PAST statistical package Ver. 3.15. The molecular characterization of the populations was by AFLP markers. We used 18 individuals per population along whit the tester, 6 enzyme/primer combinations used and 428 markers obtained. The statistical analysis performed to generate a matrix of genetic distance by the coefficient of Rogers-Tanimoto, subsequently, a cluster analysis (SAHN) and a dendrogram constructed by UPGMA method, using the statistical program NTSYSpc V.2.20. The results of the morphological characterization showed for the cycle 2015 two main components that explained the 78.067% and in the cycle 2016 78.957% of the total variability between the populations. In the joint analysis for the 2015-2016 cycles they explained 74.796% of the total variability. In 2015 the variables with the greatest explanatory capacity for both components were: FRLA, FL, FD, LH, FCP, PH CAN, FRGP, TM, ALT, FGP, FPCP and in 2016 the following characteristics were expressed: ALT, FL, TIF, FRL, FD, FRLP, FCP, LH, FPCP, and FGP. The morphological diversity of the populations of ancho pepper is represented

mainly by the variation in the morphological characteristics of plant and fruit. Although two groups were formed; the first one made up of the Especial and Esmeralda populations with similar characters and the second with the populations of San Luis 1 and San Luis 2. In the molecular characterization, 428 alleles. The populations studied showed 5 % genetic variability integrated two groups with a genetic distance of 0.958. Diversity in native populations of the northern region of Guanajuato State is being losing, so it is necessary both conservation of materials and the incorporation of genetic variation.

**Key words:** *Capsicum annuum*, genetic diversity, morphological characterization, molecular characterization and Creole populations.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El chile (*Capsicum annum* L.), pertenece a la familia Solanácea, es un cultivo originario de Mesoamérica (Pickersgill, 1989), su variabilidad genética está constituida por 30 especies; sin embargo, solamente cinco han sido domesticadas (*C. annum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. pubescens* y *C. baccatum*) (Hernández-Verdugo *et al.*, 1999). Por la extensión de su cultivo y el valor económico que representa su producción, *C. annum* es la especie cultivada más importante en todo el mundo y es en México donde se encuentra la mayor diversidad. Por otro lado, en el ámbito nacional solo algunos tipos de chile del país son ampliamente conocidos, entre los que se pueden mencionar los chiles Jalapeño, Ancho, Guajillo, Pasilla, Serrano, Manzano, Habanero, de Árbol y Piquín. La mayor parte de la diversidad, solo es conocida y utilizada a nivel regional o local (Laborde y Pozo, 1984; Pozo *et al.*, 1991).

En la producción de chile seco, en los últimos años se ha concentrado principalmente en los países asiáticos encabezados por la India, China y Bangladesh; México, se ubica en décimo lugar, trayendo como consecuencia que grandes volúmenes de chile seco sean importados de China y Perú, vía Estados Unidos con entrada libre de aranceles debido al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) (Lucas, 2011).

Durante 2015, la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), menciona que la producción de chile en sus diferentes variedades en México alcanzó las 2.3 millones de toneladas, con un valor que rebasa los 22 mil 500 millones de pesos. En chile seco, la producción alcanza las 98 mil 127 toneladas con un valor de 6,658 millones de pesos; los Estados que aportaron mayor volumen a la producción nacional son Chihuahua, Zacatecas, San Luis Potosí y Durango. La SAGARPA destacó que el consumo per cápita de chile verde en México es de 16 kilogramos al año y se cultiva en una superficie de 49 mil

hectareas, por lo que se considera una de las principales variedades del país. De acuerdo con el cierre de producción de 2015, reportado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), los chiles habanero, seco, verde y morrón superaron el estimado.

Entre los chiles más importantes en nuestro país se encuentran los denominados anchos, y dentro de estos sobresalen los subtipos mulato, ancho y miahuateco (Vélez *et al.*, 2010). Entre los cultivos hortícolas, el del chile es el más importante a nivel nacional. México es el país con la mayor variedad genética de *Capsicum*, que se produce en los 32 estados de la República; sin embargo, los principales estados productores son: Chihuahua, Sinaloa, Guanajuato, Zacatecas y Sonora. Las variedades que más se cultivan son: jalapeño, serrano, poblano, pimiento morrón y habanero (Aguirre y Muñoz, 2015).

Geográficamente, se puede dividir el país en seis zonas productoras de chile verde (Tabla 1.1), las cuales difieren entre sí en el tipo de chile que producen y el nivel de tecnología que aplican. En la zona del Golfo (Veracruz y Tamaulipas) se obtienen mayormente jalapeños y serranos; en el sur (Yucatán y Tabasco) hay jalapeños, costeños y habaneros; en la zona del Bajío (Guanajuato, Jalisco y Michoacán) se cultivan anchos, mulatos y pasilla; en la mesa central (Puebla e Hidalgo) se especializan en poblanos, miahuatecos y carricillos; en el norte (Chihuahua y Zacatecas) producen jalapeños, mirasol y anchos; y en la zona del Pacífico Norte (Baja California, Sinaloa y Sonora) tienen Bell, Anaheim, Jalapeños y Caribes. La riqueza genética del chile en México se debe en gran parte a la diversidad de climas y suelos, pero también a las prácticas tradicionales de cultivo que llevan a cabo los pequeños productores, quienes utilizan las semillas de los frutos seleccionados de las plantas nativas (Aguirre y Muñoz, 2015).

Tabla 1.1. División de las zonas productoras de *Capsicum* en México.

Zona productora	Estados	Morfotipo
Golfo	Veracruz y Tamaulipas	Jalapeño y Serrano
Sur	Yucatán y Tabasco	Costeño, Jalapeño y Habanero
Bajío	Guanajuato, Jalisco y Michoacán	Ancho, Mulato y Pasilla
Mesa central	Puebla e Hidalgo	Carricillo, Miahuateco y Poblano
Norte	Chihuahua y Zacatecas	Ancho, Jalapeño y Mirasol
Pacífico Norte	Baja California, Sinaloa y Sonora	Anaheim, Bell, Caribe y Jalapeño

Por otro lado, Aguilar-Rincón *et al.* (2014) con base en estudios *in situ* e información obtenida de productores identificaron 64 tipos de chiles. Además, afirman que Oaxaca es el Estado con mayor diversidad con al menos 25 tipos. Mientras que, Guerrero registró 12, Puebla 10 y en Veracruz se identificaron 9. En el Norte del país, que comprende los estados de Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Sonora y la Península de Baja California, sólo se registraron diferentes variantes de chile Piquín o Chiltepín (*C. annuum* var. *glabriusculum*) (Figura 1.1).



Al respecto, en 2016 la Red de Chile del Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), menciona que el hambre y la malnutrición crónicas afectan actualmente a más de mil millones de personas y en 2050, según los estudios, la población mundial habrá alcanzado los 9 200 millones de habitantes. Para alimentarlos a todos se debe aumentar la producción agrícola en un 60 %. Al mismo tiempo, la base de recursos se ve amenazada por el calentamiento global y el cambio climático degradando cada vez más los escasos recursos de tierra, agua y del medio ambiente en general. La erosión más alarmante junto con estos recursos es quizás la pérdida de los grupos sociales del territorio mexicano, generadores y formadores de la agrobiodiversidad genética del país.

Por sus cualidades nutritivas las hortalizas juegan un papel trascendental en el equilibrio de la dieta de la población mundial. Tiene un alto contenido de agua, fibra, vitaminas y antioxidantes. Poseen una baja densidad calórica y carecen de grasas (Vera-Sánchez *et al.*, 2016). En la dieta de los mexicanos, por lo menos un tipo de hortaliza es identificada en cada comida. Las hortalizas son consideradas por la FAO como el séptimo producto con mayor producción, con más de 275 millones de toneladas anuales (FAOSTAT, 2015).

La necesidad de estudiar, conservar y utilizar de forma sostenible la diversidad genética de las hortalizas es hoy más apremiante que nunca, porque en un mundo que se enfrenta a numerosos desafíos, esa diversidad es la base para enfrentar el cambio climático y lograr la seguridad alimentaria. La pérdida constante de diversidad genética para la alimentación y la agricultura reduce en gran medida las opciones actuales, y las de las generaciones futuras, para adaptarse a estos cambios y garantizar la seguridad alimentaria, el bienestar social y el desarrollo económico mundial (Vera-Sánchez *et al.*, 2016).



Los estudios etnobotánicos demuestran que alrededor de los chiles criollos principalmente, se desarrolla una economía local de la que dependen familias para sobrevivir o mejorar el bienestar familiar. En los últimos años afrontan diversos problemas como son la introducción de variedades mejoradas, el cambio en el uso de suelo, el abandono de los cultivos, la migración y los efectos del cambio climático, entre otros, que afectan directamente la economía del productor de Chile. En la mayoría de los casos se continúan cultivando gracias a la gran interrelación con la riqueza culinaria, inmersa en el complejo étnico cultural que caracteriza a México (Medina *et al.*, 2014; López *et al.*, 2015).

Al respecto, Vera-Sánchez *et al.* (2016) señalaron que la mayor diversidad está representada en las variedades locales, que poseen los pequeños agricultores, y de las cuales se carecen de estadísticas oficiales. Esta agrodiversidad representa la fuente de genes para la obtención de nuevas variedades, y que permitan conducir a avances en la medicina o en la industria, así como a mejoras agrícolas por medio de la investigación científica y tecnológica.

El conocimiento de la diversidad genética de especies ampliamente distribuidas es importante para su conservación y distinción genética y fenotípica, pues generalmente muestran variación morfológica, fisiológica y en la estructura genética de sus poblaciones (Wen y Hsiao, 2001).

La diversidad genética es el número total de características genéticas dentro de cada especie. Esta diversidad se reduce cuando hay “cuellos de botella”, es decir, cuando una población disminuye substancialmente y quedan pocos individuos. A mayor diversidad genética, las especies tienen mayores probabilidades de sobrevivir a cambios en el ambiente. Las especies con poca diversidad genética tienen mayor riesgo frente a esos cambios. En general, cuando el tamaño de las poblaciones se reduce, aumenta la reproducción entre organismos emparentados (consanguinidad) y hay una reducción de la diversidad genética. La diversidad genética se puede

medir utilizando la diversidad de genes, la heterocigosidad, o el número de alelos por locus (CONABIO, 2009).

Ohsawa e Ide (2007) mencionan que la variación de diversidad genética puede deberse a diversos factores como el altitudinal, por lo que es común encontrar diferentes fenotipos de una misma especie, entre poblaciones desarrolladas a diferentes altitudes. Por lo anterior, Rodríguez y Sytsma (2005) ha sugerido el desarrollo de los análisis morfológicos en combinación con los moleculares para mejorar la distinción entre especie o variedad dentro de los géneros o dentro de las especies de un género.

La diversidad genética de las especies *de Capsicum* se puede evaluar usando varias características, incluyendo características agronómicas, morfológicas y moleculares (Costa *et al.*, 2015). Hoy en día los biólogos evolutivos usan tanto datos morfológicos como moleculares para establecer hipótesis de relaciones filogenéticas entre organismos, para estimar la variación dentro de las poblaciones y para probar hipótesis de adaptaciones ecológicas. Sin embargo es común observar incongruencias entre los análisis basados en datos morfológicos y basados en los datos moleculares (Hillis y Wiens, 2000).

Para los mejoradores convencionales la identificación descriptiva de los caracteres morfológicos son importantes ya que han sido utilizados tradicionalmente para distinguir variedades vegetales. Sin embargo, este tipo de caracterización no siempre refleja la variación genética real, debido a que el fenotipo está determinado parcialmente por la información genética del individuo, e influenciado por el ambiente donde se desarrolla. Además de ser ineficientes, costosos y del tiempo que involucran para su medición (Singh *et al.*, 2004).

Al respecto Hillis y Wiens (2000) señalaron que el principal argumento en favor de la utilización de caracteres moleculares es que son universales. En muchos casos,

principalmente cuando se requiere comparar linajes con divergencia temprana, es imposible establecer hipótesis de homología morfológica; en cambio, existen genes presentes en todos los genomas celulares, que pueden proveer de información para reconstrucciones filogenéticas, donde los caracteres morfológicos son inaplicables (Avice, 1994). Los datos moleculares tienen la ventaja de trabajar directamente con la base genética de la variación, mientras que la base genética de la mayoría de los caracteres morfológicos se asume. Asimismo, en el acercamiento molecular los caracteres se pueden seleccionar y definir de una manera relativamente objetiva.

También, Rentarúa (2006) menciona que se puede apreciar que tanto los acercamientos moleculares como morfológicos tienen ventajas y desventajas; que ambos enfoques siguen desempeñando un papel crucial en casi todos los grupos de organismos y que hasta nuestros días las especies se describen y se identifican con base en ambas clases de datos.

Debido a la importancia de conocer la diversidad genética presente en materiales criollos de chile ancho en San Luis de la Paz Guanajuato, se plantea realizar un estudio de caracteres morfológicos y moleculares, que permita identificar la diversidad de esta especie de variedades criollas de chile ancho de interés económico para los agricultores de la región; por ello se plantea los siguientes objetivos:

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo general**

Estimar la diversidad genética de cuatro poblaciones criollas de chile ancho (*C. annuum* L.) por su descripción morfológica y perfil molecular.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Describir fenotípicamente cuatro genotipos criollos de chile ancho.

Caracterizar cuatro genotipos criollos y un testigo comercial de chile ancho por su perfil molecular.

## **1.2 Hipótesis**

Existe una amplia diversidad morfológica y molecular en poblaciones de chile ancho del Norte del Estado de Guanajuato.

**CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CUATRO POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE ANCHO DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO**

**RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación consistió en realizar una caracterización morfológica de cuatro poblaciones criollas de chile ancho (*Capsicum annuum* L.) procedentes del Municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato. La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero en el INIFAP-CEBAJ en 2015 y 2016. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 poblaciones 2 repeticiones, considerando 18 plantas por repetición como lo indica el manual de descriptores del SNICS. Se registraron los siguientes caracteres; altura de planta (ALT), color de antocianinas en el nivel de los nudos (CAN), longitud de hoja (LH), anchura de hoja (AH), pubescencia de la hoja (PH), diámetro de fruto (FD), longitud de fruto (FL), relación longitud-anchura de fruto (FRLA), cavidad peduncular del fruto (FCP), profundidad de la cavidad peduncular del fruto (FPCP), grosor del pedúnculo del fruto (FRGP), longitud del pedúnculo del fruto (FRLP), grosor del pericarpio del fruto (FGP), tiempo inicio de floración (TIF) y tiempo de maduración (TM). Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), usando el paquete estadístico PAST Ver. 3.15. Los resultados del ACP para el ciclo 2015 mostraron dos componentes principales y explicaron el 78.067 % y en el ciclo 2016 el 78.957 % de la variabilidad total entre las poblaciones. En el análisis conjunto para los ciclos 2015-2016 explicó el 74.796 % de la variabilidad total. Por otro lado, en 2015 las variables con mayor capacidad explicativa para ambos componentes fueron: FRLA, FL, FD, LH, FCP, PH CAN, FRGP, TM, ALT, FGP y FPCP y en 2016 las siguientes características: ALT, FL, TIF, FRLA, FD, FRLP, FCP, LH, FPCP y FGP.

**Palabras clave:** *Capsicum annuum*, caracterización morfológica, análisis de componentes principales.

**CHAPTER II. MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF FOUR CREOLES  
POPULATIONS OF ANCHO PEPPER OF SAN LUIS DE LA PAZ,  
GUANAJUATO.**

**SUMMARY**

The objective of the present investigation was to carry out a morphological characterization of four creoles populations of ancho pepper (*Capsicum annuum* L.) from the Municipality of San Luis de la Paz, Guanajuato. The research was carried out under greenhouse conditions at INIFAP-CEBAJ in 2015 and 2016. We used a completely randomized design with 4 populations, 2 replicates, considering 18 plants per replicate as indicated in the SNICS manual. The following characters were recorded; plant height (ALT), color of anthocyanins at the level of the knots (CAN), leaf length (LH), sheet width (AH), leaf pubescence (PH), diameter of fruit (FD), length of fruit (FL), relationship length-width of fruit (FRLA), fruit peduncle cavity (FCP), depth of the peduncle cavity of the fruit (FPCP), fruit peduncle thickness (FRGP), fruit peduncle length (FRLP), thickness of fruit pericarp (FGP), flowering start time (TIF) and maturation time (TM). A principal component analysis (PCA) was performed using the PAST statistical package Ver. 3.15. The results of the ACP for the 2015 cycle showed two main components and explained 78.067% and in the 2016 cycle 78.957% of total variability among populations. In the joint analysis for the 2015-2016 cycles explained 74.796% of the total variability. In 2015 the variables with greater explanatory capacity for both components were: FRLA, FL, FD, LH, FCP, PH CAN, FRGP, TM, ALT, FGP and FPCP and in 2016 the following characteristics: ALT, FL, TIF, FRLA, FD, FRLP, FCP, LH, FPCP and FGP.

**Key words:** *Capsicum annuum*, morphological characterization, principal component analysis.

## 2.1 INTRODUCCIÓN

Mesoamérica y México como parte importante de esta región, es reconocida como centro de origen y/o domesticación de cultivos agrícolas de importancia mundial. En México, el chile es una de las especies hortícolas más importantes debido al valor de su producción y a la alta demanda de mano de obra que genera. Se cultiva casi en todos los Estados de la república, desde altitudes a nivel del mar hasta los 2500 m y por ser su centro de origen, se han generado una gran diversidad de tipos y variedades, lo cual constituye un valioso recurso para su mejoramiento genético (Laborde y Pozo 1984; Hernández-Pérez *et al.*, 2011). En este sentido, Hernández-Verdugo *et al.* (2012) afirman que *Capsicum* spp. fue una de las primeras plantas domesticadas en el Continente Americano.

Por su parte, Aguilar-Rincón *et al.* (2010) mencionan que el chile ancho se cultiva en los Estados de Zacatecas, Durango, San Luis Potosí, Guanajuato y en menor grado en el Estado de Puebla. En verde se utiliza en la preparación de chiles rellenos o rajas. Sin embargo, la mayor parte se consume en seco como condimento en la elaboración de adobos o moles. A pesar de la gran diversidad genética y fenotípica de *C. annum* en México, las variantes regionales de gran importancia económica y social son poco reconocidas en el ámbito nacional.

El conocimiento de la variación morfológica y sus patrones de distribución geográfica es de considerable interés para entender la evolución de las especies vegetales y trabajar en su conservación (Solís-Neffa, 2010). Entre los factores geográficos que influyen en la diferenciación de las poblaciones están el clima, la latitud y la altitud. El clima es considerado uno de los principales factores que afectan la distribución y variación de las especies vegetales debido a que puede actuar directamente sobre los procesos fisiológicos del crecimiento y reproducción o indirectamente a través interacciones ecológicas, tales como la competencia por

recursos. Varios estudios han mostrado que la precipitación y la temperatura influyen sobre los patrones geográficos de variación morfológica. (Hernández-Verdugo *et al.*, 2012).

Los marcadores morfológicos o fenotípicos han sido utilizados tradicionalmente para distinguir variedades (Tapia *et al.*, 2005; Aduña *et al.*, 2006; Piña-Escutia *et al.*, 2010). Al respecto, Hernández (2013) propuso que la caracterización morfológica de recursos fitogenéticos es la determinación de un conjunto de caracteres mediante el uso de descriptores definidos que permiten diferenciar taxonómicamente a las plantas y determino por lo tanto la caracterización es el primer paso en el mejoramiento de los cultivos y programas de conservación.

En 2002, la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) recomienda que para medir la variabilidad es necesario utilizar descriptores discriminatorios y establecer el experimento con un mínimo de cinco plantas por accesión en lotes homogéneos en dos replicaciones, de este modo se obtendrá mejor y mayor información en el análisis estadístico. Al realizar la caracterización se deben utilizar variables morfológicas confiables que discriminen permitiendo así la diferenciación entre grupos. Estas variables están ya establecidas en las llamadas “guías técnicas para la descripción varietal”.

Villota-Cerón *et al.* (2012) realizaron un estudio de caracterización morfológica de 68 introducciones de *Capsicum* y con la selección de introducciones promisorias para aumentar la oferta varietal de este género. Por otro lado, Santiago-Luna *et al.* (2016) mencionan que respecto a los patrones de diversidad fenotípica, se determinaron diferencias entre las poblaciones de Santa María Tonameca y Santo Domingo de Morelos. Estas últimas fueron altamente variables en los caracteres evaluados. Determinando tres grupos de diversidad fenotípica, en planta, fruto y los asociados al rendimiento por planta. Al respecto, Polaco (2011) realizó un



estudio morfológico en el yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl), encontrando que la caracterización morfoagronómica clasificó los diez biotipos colectados en tres grupos, siendo la variable peso de tubérculos (58.77 %) la que más contribuyó a explicar la variabilidad.

Por otro lado, Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2017) realizaron una caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento con frutos de forma cuadrada o rectangular cultivados bajo invernadero; encontraron 5 variables a nivel cualitativo y 8 cuantitativas. Los datos muestran una amplia variabilidad en cuanto a la altura de la planta, área foliar, diámetro del tallo, longitud del tallo, ancho del fruto, longitud del fruto, relación largo/ancho del fruto y espesor de la pared del fruto. Además, afirmaron que esta información es útil para los productores en el proceso de selección del genotipo en su sistema productivo, según el nicho de mercado de interés y que la caracterización morfológica de genotipos es una actividad que permite la selección de las variedades más promisorias de un cultivo, para su posterior utilización en programas de mejoramiento.

En la Macro Red Hortalizas (2016), se menciona que en total se han caracterizado 1,226 accesiones; donde el 50 % se refiere a caracteres morfológicos y el 27 % de evaluación agronómica. De los cuales se destacan los principales resultados de los proyectos de caracterización del cultivo del chile, con 715 accesiones identificadas de rendimientos en fresco y seco, precocidad, calidad y tamaño de fruto, resistencia a patógenos, pigmentos, colorantes y capsaicina.

En base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue la descripción fenotípica de cuatro genotipos criollos de chile ancho bajo condiciones controladas de invernadero.

## 2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.2.1 Ubicación del experimento

Esta investigación se realizó en un invernadero tipo capilla de vidrio, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío (INIFAP-CEBAJ), ubicado en el km 6 de la carretera federal Celaya-San Miguel de Allende, en Celaya, Guanajuato, localizado a los 20° 34' Latitud Norte y 100° 50' Longitud Oeste y una altitud de 1765 m (Google Maps). El clima es semicálido con precipitación pluvial media anual de 400 a 700 mm.

### 2.2.2 Material genético

El material biológico (Tabla 2.1) fue donado por parte del Ing. José Antonio Morín Prado de la empresa Agrisan, ubicada en Avenida Juárez No. 306 y la acaparadora de semillas Juan amigo de la comunidad Estación de Lourdes del Municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato, México. Ambas empresas se localizan a los 21° 29' Latitud Norte y 100° 70' Longitud Oeste y una altitud de 1990 m (Google Maps).

Tabla 2.1. Información de datos del material biológico de las cuatro poblaciones criollas de chile ancho.

Nombre de la población	Tipo de chile	Origen de la población	Procedencia
San Luis 1	Ancho	Criollo	Acaparadora Juan amigo
San Luis 2	Ancho	Criollo	Acaparadora Juan amigo
Especial	Ancho	Criollo	Empresa Agrisan
Esmeralda	Ancho	Población F2	Empresa Agrisan

### **2.2.3 Practicas agronómicas**

#### **2.2.3.1 Siembra en charolas**

Para el manejo sanitario se realizó una desinfección de semillas para prevención de hongos utilizando el fungicida Captan 80 WG a una dosis de 150 g/100 kg de semilla, la cual fue mezclada en un recipiente con 500 ml de agua junto con la semilla. Se usaron charolas de siembra de plástico de 50 cavidades que fueron desinfectadas en una solución de cloro al 10 %. El sustrato que se utilizó para la producción de plántula fue Peat Moss No. 3 estéril.

El experimento se realizó en dos ciclos; el primer ciclo de siembra se realizó el día 30/03/2015 y el segundo ciclo se realizó el día 18/03/2016. Se hizo la siembra de 36 semillas de cada una de las cuatro poblaciones criollas de chile para un total de 144 plantas. Se depositó sólo una semilla por cavidad; a una profundidad de 0.5 cm, las charolas fueron identificadas por genotipo y fecha de siembra.

Las charolas fueron colocadas en la cámara de germinación a una temperatura de 25°C y se aplicó un riego ligero calculando que le alcanzara para la germinación y se cubrió el sustrato húmedo con un plástico negro, teniendo en cuenta que este se sellara totalmente las charolas para evitar evaporación

#### **2.2.3.2 Preparación y desinfección del sustrato**

Se utilizaron 144 macetas de 12 pulgadas, las cuales fueron desinfectadas en una solución de cloro al 10 %. La preparación del sustrato se elaboró con 10 % de Tezontle, 10 % de hoja y 80 % de tierra lama y fue esterilizado con Busan 30W (2-tiocianometiltio benzotiazol) para la prevención de *Phytophthora capsici*.

#### **2.2.3.3 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro poblaciones y dos repeticiones; cada repetición se constituyó de 18 macetas por población.

#### **2.2.3.4 Trasplante de plántulas**

El trasplante se realizó cuando las plantas tenían en promedio 11 cm de altura y contaban con 6 hojas verdaderas.

#### **2.2.3.5 Fertilización**

Se aplicó la dosis recomendada por el INIFAP, basado en la Guía Técnica de Marchitez de Chile (INIFAP, 2011). Este programa de fertilización está dosificado por etapas fenológicas para ser aplicado en el riego durante el desarrollo del cultivo y hasta los primeros 115 días después del trasplante, realizando 7 aplicaciones al trasplante en un periodo de 10 días de Sulfato de amonio ( $110 \text{ kg ha}^{-1}$ ), en el desarrollo se realizan 10 aplicaciones en un periodo de 15 días con Nitrato de potasio ( $35 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Sulfato de amonio ( $130 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y MAP técnico ( $30 \text{ kg ha}^{-1}$ ), para el crecimiento de 10 aplicaciones en un periodo de 20 días de Cloruro de Potasio ( $70 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Nitrato de Calcio ( $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Fosfonitrato ( $110 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y Nitrato de potasio ( $75 \text{ kg ha}^{-1}$ ), y para el cuajado y desarrollo de frutos son 15 aplicaciones en periodo de 30 días con los fertilizantes Nitrato de magnesio ( $75 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y Nitrato de calcio ( $75 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Para el trasplante se realizó una fertilización base con fertilizante YaraMila Complex (15-15-15) 40 g por maceta.

#### **2.2.3.6 Control fitosanitario**

Se aplicó el insecticida Confidor (imidacloprid) a una dosis de 15 ml en el sistema de riego, y el insecticida de contacto Nudrin 90 (metilcarbamoil) con una dosis de 12 ml para el control de mosquita blanca y araña roja.

Se realizó la aplicación preventiva de fungicidas como Busan 30W (2-tiocianometiltio benzotiazol) para el control de *P. capsici* a una concentración de 50 ppm de producto comercial, aplicados cada 20 días a partir del trasplante. Además, se aplicó de forma simultanea Forum (dimatomorf) con una dosis de

22.45 ml del producto comercial y Cercobin (tiafanato metil) con una dosis de 20 ml del producto comercial contra *Fusarium* spp. y *R. solani*, aplicados cada 18 y 39 días a partir del trasplante.

#### **2.2.3.7 Cosecha y extracción de semillas**

La cosecha se realizó de forma manual para ambos ciclos. Se recolectaron los frutos de manera individual por planta de cada unidad experimental y fueron colocadas en diferente bolsa para su respectivo etiquetado.

La extracción de la semilla se realizó de forma manual; una vez extraída las semillas fueron secadas de manera natural expuestas al sol, y colocadas en sobres e identificando cada planta por genotipo.

#### **2.2.4 Variables registradas**

Para la descripción morfológica de las poblaciones criollas de chile ancho; San Luis 1, San Luis 2, Especial y Esmeralda se utilizó la guía técnica desarrollada por el Sistema Nacional de Investigación y Certificación de Semillas (SNICS, 2014), la cual establece los lineamientos para la caracterización de variedades vegetales de *Capsicum annuum* L.

La toma de datos de los caracteres se realizó en dos repeticiones con 18 plantas por repetición. Se registraron 47 características morfológicas, las cuales se organizaron por tipos de caracteres y fueron promediados para obtener los valores estadísticos descriptivos (Tabla 2.2).

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CUATRO POBLACIONES CRIOLLAS DE  
CHILE ANCHO DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO

Tabla 2.2. Descriptores y escalas de medición evaluadas en cuatro poblaciones criollas de chile ancho. INIFAP-CEBAJ, 2015-2016.

Características	Clave	Carácter/ observación	Escala de medición
Plántula: Coloración antocianica del hipocótilo	CAH	QL/VG	Ausente 1 o presente 9
Planta: Hábito de crecimiento	HC	PQ/VG	Erecta 3, semierecta 5, postrada 7
Planta: Altura	ALT	QN/MS	Cm
Planta: Entrenudos acortados	EA	QL/VG	Presente 1 o ausente 9
Planta: Variedades con entrenudos acortados	VEA	QN/MS	Número de entrenudos, de uno a tres 1, más de tres 2
Planta: Color de antocianinas en el nivel de los nudos	CAN	QN/VG	Ausente o muy débil 1, débil 3, medio 5, fuerte 7, muy fuerte 9
Tallo: Pubescencia	TP	QL/VG	Escasa 3, intermedia 5, densa 7
Hoja: Forma	FH	PQ/VG	Deltoide 1, oval 2, lanceolada 3
Hoja: longitud	LH	QN/MS	Cm
Hoja: anchura	AH	QN/VG	Cm
Hojas: color	CH	PQ/VG	Verde claro 3, intermedio 5, obscuro 7
Hoja: ampollado de la superficie	ASH	PQ/VG	Débil 1, medio fuerte 2
Hoja: posición del pedúnculo	PPH	PQ/VG	Erecto 1, no erecto 2
Hoja: margen entera	MEH	PQ/VG	Entera 3, ondulada 5, ciliada 7
Hoja: pubescencia	PH	PQ/VG	Laxa 3, media 5, densa 7
Pecíolo: longitud	PL	QN/VG	Cm
Flor: Posición	FP	QL/VG	Erecta 3, intermedia 5, pendiente 7
Flor: Color de las anteras	FCA	PQ/VG	Blancas 1, amarillas 2, moradas 3
Flor: Color del filamento	FCF	PQ/VG	Blanco 1, amarillo 2,

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CUATRO POBLACIONES CRIOLLAS DE  
CHILE ANCHO DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO

Flor: Excerción del estigma	FEE	PQ/VG	morado 3 Inserto 3, al mismo nivel 5, excerto 7
Fruto: Color antes de madurez	FCAM	PQ/VG	Blanco verdoso 1, amarillento 2, verde 3, púrpura 4
Fruto: Intensidad del color antes de madurez	FICAM	QN/MS	Claro 3, medio 5, oscuro 7
Fruto: Posición	FP	QL/VG	Erecta 1, horizontal 2, pendiente 3
Fruto: Longitud	FL	QN/MS	Cm
Fruto: Diámetro	FD	QN/MS	Cm
Fruto: Relación Longitud / anchura	FRLA	QN/MS	Cm
Fruto: Forma	FF	PQ/VG	Aplanada 1, redonda 2, corazón 3, cuadrada 4, rectangular 5, trapezoidal 6, triangular 7, triangular estrecha 8, de cuerno 9
Fruto: Forma de la sección transversal	FFST	PQ/VG	Elíptica 1, angular 2, circular 3
Fruto: Ondulación transversal	FOT	PQ/VG	Débil 1, media 2, fuerte 3
Fruto: Color en madurez	FCM	PQ/MS	Amarillo 1, naranja 2, rojo 3, café 4
Fruto: Intensidad del color en madurez	FICM	PQ/VG	Claro 3, medio 4, oscuro 7
Fruto: Brillantez	FB	QN/VG	Débil 3, media 5, fuerte 7
Fruto: Cavidad peduncular	FCP	QL/VG	Ausente 1 o presente 9
Fruto: Profundidad de la cavidad peduncular	FPCP	QN/MS	Cm
Fruto: Forma del ápice	FFA	PQ/VG	Agudo 1, redondeado 2, hundido 3, hundido y agudo 4
Fruto: Textura	FT	PQ/VG	Liso 1, corchoso 2, rugoso 3
Fruto: Número predominante de lóculos	FNL	QN/MS	Solo dos 1, dos a tres 2, tres a cuatro 3, cuatro o

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CUATRO POBLACIONES CRIOLLAS DE  
CHILE ANCHO DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO

			más 4
Fruto: Profundidad de depresiones interlocales	FPDI	PQ/MS	Ausentes o muy poco profundas 1, poco profundas 3, medias 5, profundas 7, muy profundas 9
Fruto: Grosor del pericarpio	FGP	QN/MS	Delgado 3, mediano 5, grueso 7
Fruto: Posición de la placenta	FPP	PQ/VG	Compacta 3, semidistribuida 5, distribuida 7
Fruto: Longitud del pedúnculo	FRLP	QN/MS	Cm
Fruto: Grosor del pedúnculo	FRGP	QN/MS	Cm
Fruto: Aspecto del cáliz	FAC	PQ/VG	No desarrollado 1, desarrollado 2
Fruto: Margen del cáliz	FMC	PQ/VG	Entero 1, intermedio 2, dentado 3
Fruto: Tiempo de inicio de floración	TIF	QN/MS	Temprana 3, intermedia 5, tardía 7
Fruto: Tiempo de maduración	TM	QN/MS	Temprana 3, intermedia 5, tardía 7

---

### 2.3 ANALISIS ESTADÍSTICO

Todos los datos que se generaron del descriptor se capturaron en el programa Microsoft Excel 2007. De las 47 variables registradas se realizaron análisis de moda y media para discriminar variables de caracteres no informativos, obteniendo 15 variables con mayor capacidad explicativa de la variabilidad observada entre las poblaciones criollas de Chile Ancho. Con los datos morfológicos se generó una matriz por ciclo y con los datos de ambos ciclos, se generó una matriz binaria conjunta.



Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y se obtuvo el gráfico de dispersión de los componentes, el porcentaje de varianza, los valores propios de las variables y el gráfico en dos dimensiones de la dispersión de las variables dentro de los componentes, usando el programa PAST (PAleontological STatistics) Ver. 3.15.

## 2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ACP para el ciclo 2015, considerando sólo 15 variables que representan la mayor parte de la variabilidad; muestra la formación de tres componentes principales y que explicaron para el primer componente una concentración del 45.389 % de la variabilidad total de las poblaciones; el segundo componente principal, el 32.678 % y el tercer componente solo concentra el 21.483 % (Tabla 2.3). Con base a lo anterior, Flores-Hernández *et al.* (2017) mencionan que, de acuerdo con el análisis de componentes principales, la matriz de valores propios mostró que los tres primeros componentes concentraron 73 % de la variación total en parientes silvestres de tomate.

Tabla 2.3. Agrupación de los componentes y porcentaje de variabilidad en materiales de chile ancho. Ciclo 2015.

<b>Componente principal</b>	<b>Valor propio</b>	<b>Porcentaje de varianza</b>
1	6.875	45.389
2	4.901	32.678
3	3.222	21.483

Teniendo en cuenta la interpretación y toma de decisiones de los datos presentados en el gráfico de sedimentación (Figura 2.1), se tendrían que seleccionar los primeros dos componentes ya que en conjunto explican el 78.067 % de la variabilidad total, como lo sugieren López-Santiago *et al.* (2008).

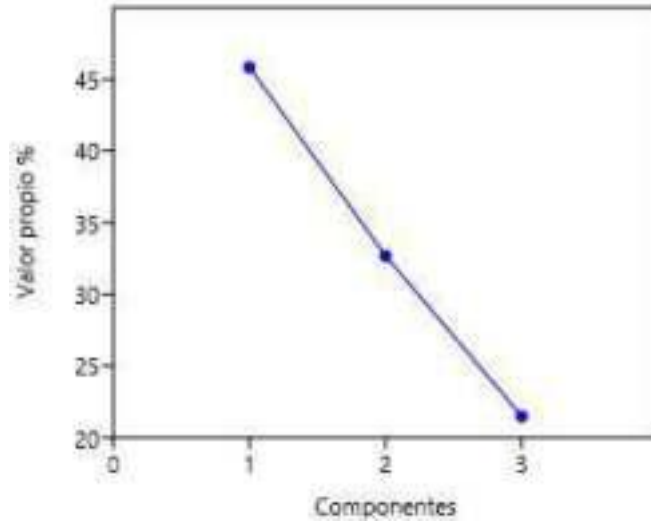


Figura 2.1. Gráfico de sedimentación en poblaciones de chile ancho. Ciclo 2015.

En la Tabla 2.4 se pueden observar los resultados que cada una de las variables aportaron a los componentes principales; el primer componente principal concentró el 45.389 % de toda la variabilidad y estuvo constituido por 6 variables; FRLA (0.380), FL (0.376), FD (0.368), LH (0.366), FCP (0.309) y PH (0.302). El segundo componente principal concentró el 32.678 % de la variabilidad total y lo conformaron; CAN (0.418), FRGP (0.409), TM (0.345), ALT (0.343), FGP (0.339) y FPCP (0.300).

Por su parte, Toledo-Aguilar *et al.* (2011) encontraron gran variabilidad morfológica en las variedades nativas de chile poblano de la Sierra Nevada del Estado de Puebla, representada en sus características vegetativas, reproductivas y los componentes de rendimiento. En sentido, Santiago-Luna *et al.* (2016) determinaron tres grupos de diversidad fenotípica (tres componentes), los cuales se relacionaron con características de planta, fruto y los asociados al rendimiento por planta.

Tabla 2.4. Valores propios de las variables en el ACP en la caracterización de poblaciones de chile ancho. Ciclo 2015.

Variabes	ABV	CP1	CP2
Altura de planta	ALT	0.226	0.343
Color de antocianinas en el nivel de los nudos	CAN	0.106	0.418
Longitud de la hoja	LH	0.366	0.116
Anchura de la hoja	AH	0.055	-0.120
Pubescencia de la hoja	PH	0.302	0.269
Fruto longitud	FL	-0.376	0.074
Fruto diámetro	FD	-0.368	-0.109
Fruto relación longitud/anchura	FRLA	-0.380	0.012
Fruto cavidad peduncular	FCP	0.309	-0.243
Fruto profundidad de la cavidad peduncular	FPCP	0.282	-0.300
Fruto grosor pedúnculo	FRGP	0.150	0.409
Fruto longitud pedúnculo	FRLP	-0.101	0.186
Fruto grosor pericarpio	FGP	-0.244	0.339
Tiempo inicio de floración	TIF	0.016	-0.043
Tiempo de maduración	TM	0.135	-0.345

En la Figura 2.2, se presenta la conformación de dos grupos en diferentes ejes de los dos componentes principales. En el primer grupo, la población Esmeralda (ESM) se identifica con las variables positivas en el primer eje y son; CAN, FRGP, ALT, PH y LH. El segundo eje muestra la población Especial (ESP) relacionada con las variables; FPCP, FCP, TM, AH y TIF. Por su parte, Flores-Hernández *et al.* (2017) encontraron que los días a madurez de fruto entre las especies de parientes silvestres del tomate también fueron muy contrastantes, por la alta correlación entre esta variable y los días a la floración.

Al respecto, Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2017) realizaron una caracterización morfológica en 15 genotipos de pimiento y concluyen que una de las características principales que debe presentar el cultivo de pimiento es un buen desarrollo vegetativo, con adecuada cobertura de hojas; ya que esto reduce el riesgo de quemaduras del fruto por exposición solar, pues generalmente las plantas más pequeñas y compactas presentan una mejor cobertura de los frutos.

Finalmente, el segundo grupo se encuentra en el tercer eje de los dos componentes principales, donde la población San Luis 1 (SL1) se explica con las variables; FRLP, FL, FRLA. Estos resultados coinciden con los reportados por Bautista-Cruz *et al.* (2012) y Castellón-Martínez *et al.* (2014) quienes mencionan que existe una relación similar entre el largo y ancho de fruto.

En el cuarto eje se encuentra la población San Luis 2 (SL2), con la variable FD, la cual se relaciona de forma negativa. En este respecto, Castañón-Nájera *et al.* (2008) realizaron una caracterización de chile y afirman que las variables más representativas de los Morfotipos fueron el color de las anteras, la posición de la flor y el ancho del fruto.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CUATRO POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE ANCHO DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO

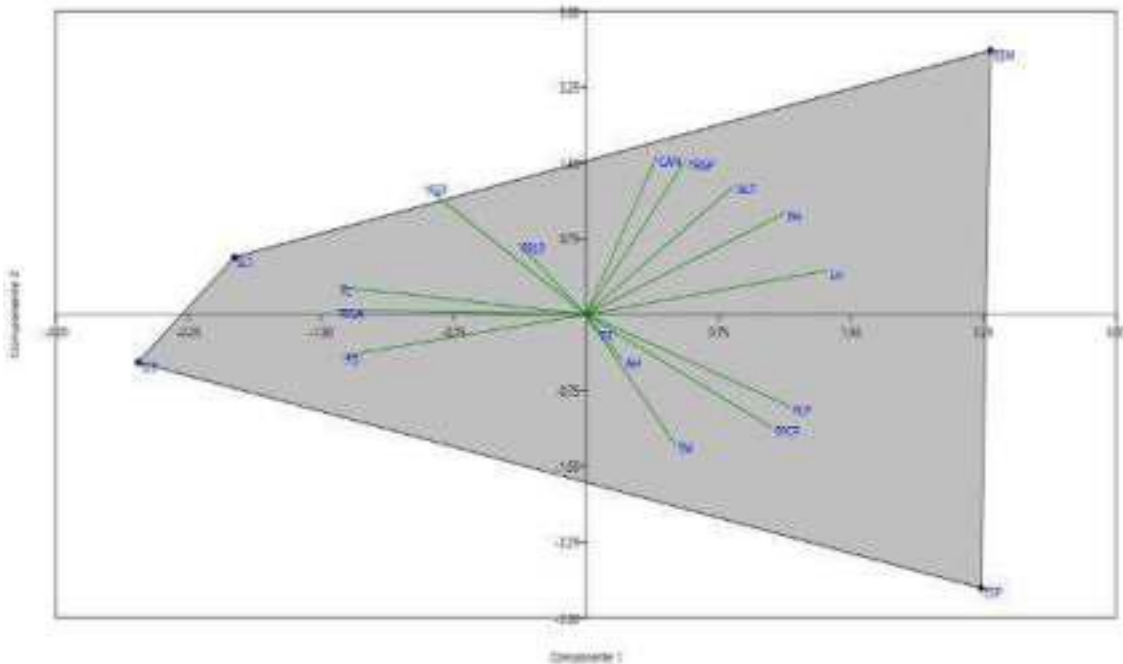


Figura 2.2. Gráfico en dos dimensiones de CP1 y CP2 en poblaciones de Chile Ancho. Ciclo 2015.

Para el ciclo 2016, se obtuvieron tres componentes principales que explicaron el 46.587, 32.370 y 21.043 % de la variabilidad total entre las poblaciones evaluadas (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Agrupación de los componentes y porcentaje de variabilidad en cada componente en materiales de Chile Ancho. Ciclo 2016.

Componente principal	Valor propio	Porcentaje de varianza
1	6.988	46.587
2	4.855	32.370
3	3.156	21.043

De acuerdo con el gráfico de sedimentación (Figura 2.3), se tendrían que seleccionar los primeros dos componentes; ya que en conjunto explican el 78.957 % de la variabilidad total. Al respecto, Santiago-Luna *et al.* (2016) menciona que

en poblaciones de chile Tusta los dos primeros componentes principales se explicaron el 92,4 % de la varianza total.

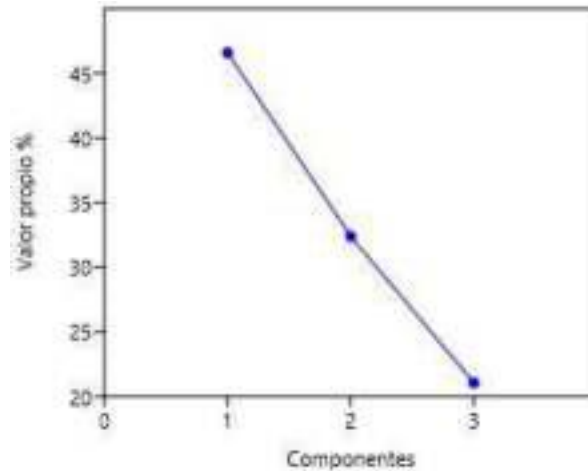


Figura 2.3. Gráfico de sedimentación en poblaciones de chile ancho. Ciclo 2016.

En la Tabla 2.6 se pueden observar los resultados sobre la importancia de cada variable en los componentes principales generados; en el componente principal 1 (46.587 %), las variables que influencia mostraron fueron la ALT (0.375), FL (0.375), TIF (0.345), FRLA (0.341) y FD (0.299). El segundo componente principal que concentró el 32.370 % de la variabilidad total, estuvo explicado principalmente por las variables FRLP (0.412), FCP (0.403), LH (0.399), FPCP (0.338) y FGP (0.310).

El incremento del rendimiento en pimiento se puede llevar a cabo seleccionando plantas de acuerdo a características como número de frutos por planta, altura de la planta, y número de ramas principales, las cuales junto con el diámetro y longitud del fruto presentan alta variabilidad (Ado y Samawira, 1987; Elizondo-Cabalqueta y Monge-Pérez, 2017). En longitud de hoja y ancho de hoja existe contraste entre ambas variables. Estas características son producto de la evolución y diversificación que han desarrollado las especies al sobrevivir en

condiciones extremas y tolerar factores bióticos y abióticos adversos (Eigenbrode *et al.*, 1993; Flores-Hernández *et al.*, 2017).

Tabla 2.6. Valores propios de las variables de mayor valor descriptivo respecto a su componente principal en poblaciones de chile ancho. Ciclo 2016.

VARIABLES	ABV	CP1	CP2
Altura de planta	ALT	0.375	-0.043
Color de antocianinas en el nivel de los nudos	CAN	-0.287	0.283
Longitud de la hoja	LH	0.179	0.399
Anchura de la hoja	AH	0.252	0.206
Pubescencia de la hoja	PH	0.107	-0.196
Fruto longitud	FL	0.375	-0.057
Fruto diámetro	FD	0.299	0.227
Fruto relación longitud/anchura	FRLA	0.341	-0.115
Fruto cavidad peduncular	FCP	0.169	0.403
Fruto profundidad de la cavidad peduncular	FPCP	-0.193	0.338
Fruto grosor pedúnculo	FRGP	0.181	0.120
Fruto longitud pedúnculo	FRLP	-0.039	0.412
Fruto grosor pericarpio	FGP	0.137	0.310
Tiempo inicio de floración	TIF	0.345	0.028
Tiempo de maduración	TM	0.287	0.221

En la Figura 2.4, se observa la conformación de dos grupos en diferentes ejes de los dos componentes principales. En el primer grupo se observa a la población SL1 y las variables más vinculadas en forma positiva con el primer eje son LH, FGP, FD, TM, AH, FRGP y TIF. El segundo eje muestra la población SL2 y sus variables principales que la describen (FRLA, FL, ALT y PH).

Adetula y Alakojo (2006), encontraron diferencias significativas en color de fruto a la madurez en *Capsicum frutescens*; por lo que señalan que este carácter es muy importante al momento de la selección de los frutos. Por su parte, Moya *et al.* (2005) realizaron un análisis de componentes principales para la selección y evaluación de nuevas líneas y variedades de tomate de crecimiento indeterminado con altos rendimientos y calidad de fruto; y concluyen que el peso de fruto, altura de planta, diámetro de fruto y días a madurez explicaron la mayor variabilidad entre especies silvestres y cultivadas.

El segundo grupo, se encuentra en el tercer eje de los dos componentes principales, donde se ubicó la población ESM con las variables FRLP, FCP, FPCP y CAN y el cuarto eje vinculado en forma negativa, está la población ESP, aunque no presenta variables que la identifiquen.

Al respecto, Martínez-Martínez *et al.* (2014) determinaron diferencias entre progenitores e híbridos en chiles nativos de Oaxaca en las variables de días a floración, fructificación y maduración de frutos, altura de planta, número y peso de frutos por planta y longitud y ancho de frutos.



CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE CUATRO POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE ANCHO DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO

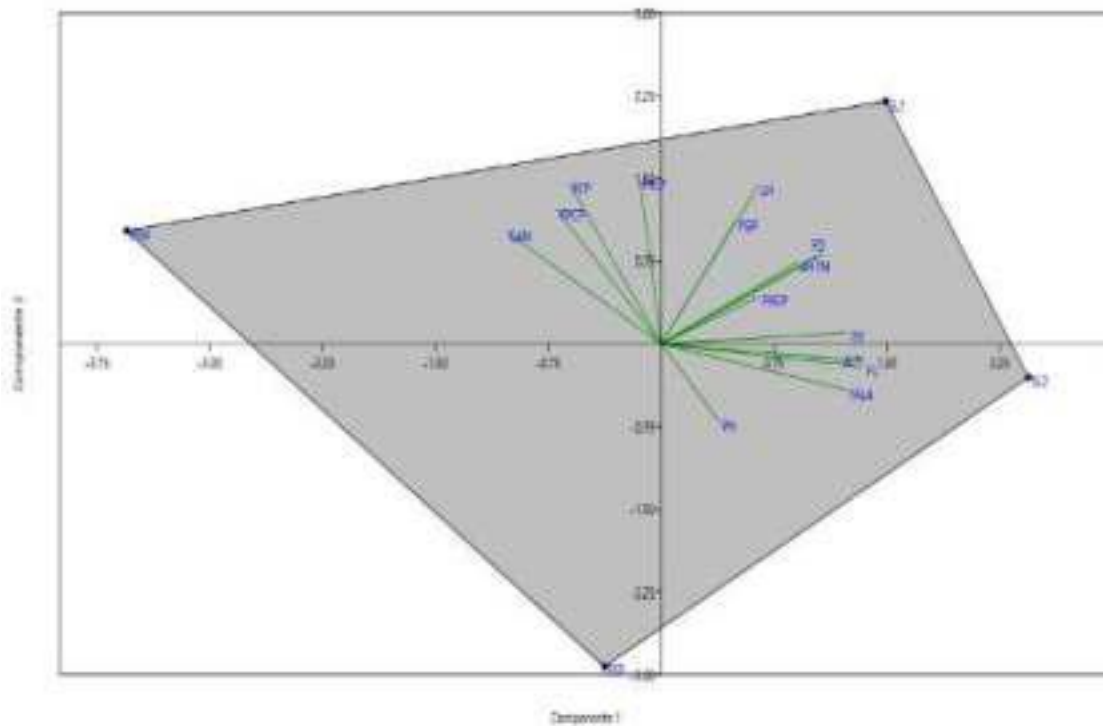


Figura 2.4. Gráfico en dos dimensiones de CP1 y CP2 en poblaciones de Chile Ancho. Ciclo 2016.

Finalmente, se realizó un ACP para los datos conjuntos de los ciclos 2015-2016; donde se formaron siete componentes principales y explicaron el 64.939, 9.857, 8.015, 7.691, 5.633, 3.640 y 0.223 %, respectivamente de la variabilidad total morfológica observada entre las poblaciones estudiadas (Tabla 2.7).

Tabla 2.7. Agrupación de los componentes y porcentaje de variabilidad en materiales de Chile Ancho ciclos 2015-2016.

Componente principal	Valor propio	Porcentaje de varianza
1	9.740	64.939
2	1.478	9.857
3	1.202	8.015
4	1.153	7.691
5	0.844	5.633
6	0.546	3.640
7	0.033	0.223

De acuerdo con la interpretación y toma de decisiones de los datos presentados en el gráfico de sedimentación (Figura 2.5), se tendrían que seleccionar los primeros dos componentes, ya que en conjunto explican el 74.796 % de la variabilidad total de las poblaciones en los dos ciclos de estudio. Estudios realizados por Conteras-Molina *et al.* (2016) usando ACP mostraron que los primeros tres componentes principales explicaron el 69.6 % de la variación en maíces nativos en la Sierra Nororiental de Puebla.

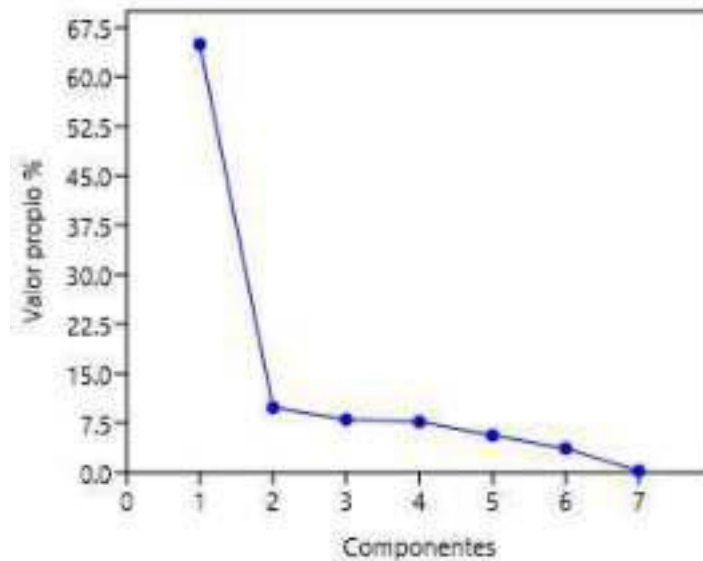


Figura 2.5. Gráfico de sedimentación en poblaciones de chile ancho. Ciclos 2015-2016.

En la Tabla 2.8, se observan las variables que mayor influencia tienen para cada componente; en este sentido, el primer componente principal explicó el 64.939 % de toda la variabilidad y estuvo constituido por 7 variables; AH (0.316), LH (0.313), FL (0.312), FRLA (0.297), FRGP (0.296), FD (0.295) y TIF (0.293). El segundo componente principal explicó el 9.857 % de la variabilidad total y estuvo constituido por las variables; FGP (0.613), FRLP (0.462) y CAN (0.444).

Algunos de estos resultados coinciden con los trabajos de Pardey *et al.* (2006), quienes encontraron alta variabilidad en tamaño, peso y color de fruto. También

Medina *et al.* (2006), encontraron diferencias morfológicas, principalmente en fruto y follaje en diferentes poblaciones del género *Capsicum*.

Del mismo modo, se ha reportado que el ancho del fruto en chile puede variar entre 5,9 y 10,2 cm (Moreno *et al.*, 2011). Los resultados obtenidos respecto al diametro del fruto indican que puede existir diferencias en esta variable comparandola entre ambos ciclos. Por otra parte, Castañón-Nájera *et al.* (2008) mencionan que los morfotipos silvestres de chile presentan frutos de poca longitud y ancho. Esta diferencia entre morfotipos es posible que se deba a los cambios producidos por la domesticación.

Tabla 2.8. Valores propios de las variables en el ACP en la caracterización de poblaciones de chile ancho. Ciclos 2015-2016.

Variables	ABV	CP1	CP2
Altura de planta	ALT	0.224	0.179
Color de antocianinas en el nivel de los nudos	CAN	0.202	0.444
Longitud de la hoja	LH	0.313	0.052
Anchura de la hoja	AH	0.316	0.010
Pubescencia de la hoja	PH	0.253	-0.266
Fruto longitud	FL	-0.312	0.013
Fruto diámetro	FD	0.295	-0.023
Fruto relación longitud/anchura	FRLA	-0.297	-0.025
Fruto cavidad peduncular	FCP	-0.099	0.222
Fruto profundidad de la cavidad peduncular	FPCP	0.274	-0.060
Fruto grosor pedúnculo	FRGP	-0.296	0.188
Fruto longitud pedúnculo	FRLP	0.202	0.462
Fruto grosor pericarpio	FGP	-0.147	0.613
Tiempo inicio de floración	TIF	0.293	-0.043
Tiempo de maduración	TM	0.228	0.115

En la Figura 2.6, se observa la conformación de dos grupos en diferentes ejes de los dos componentes principales. El primer grupo, lo formaron las poblaciones ESMC15 y SL2C15 del ciclo 2015 y las variables que se vinculan en forma positiva con el primer eje son; CAN, FRLP, ALT, TM, LH y AH. El segundo eje muestra las poblaciones ESPC15 y SL1C15 del ciclo 2015, con las variables; TIF, FD, FPCP y PH.

El segundo grupo, se encuentra en el tercer eje de los dos componentes principales; donde sobresalen las poblaciones SL1C16 y ESMC16 del ciclo 2016 con las variables; FGP, FCP, FRGP y FL. El cuarto eje se vincula de forma negativa y se encuentran las poblaciones ESPC16 y SL2C16 del ciclo 2016, con la variable FRLA.

De acuerdo con López *et al.* (2016), la forma predominante de la sección longitudinal es ondulada y angular con una fuerte ondulación transversal, así como característica predominante la presencia de la cavidad peduncular de profundidad media en híbridos de chile poblano ancho.

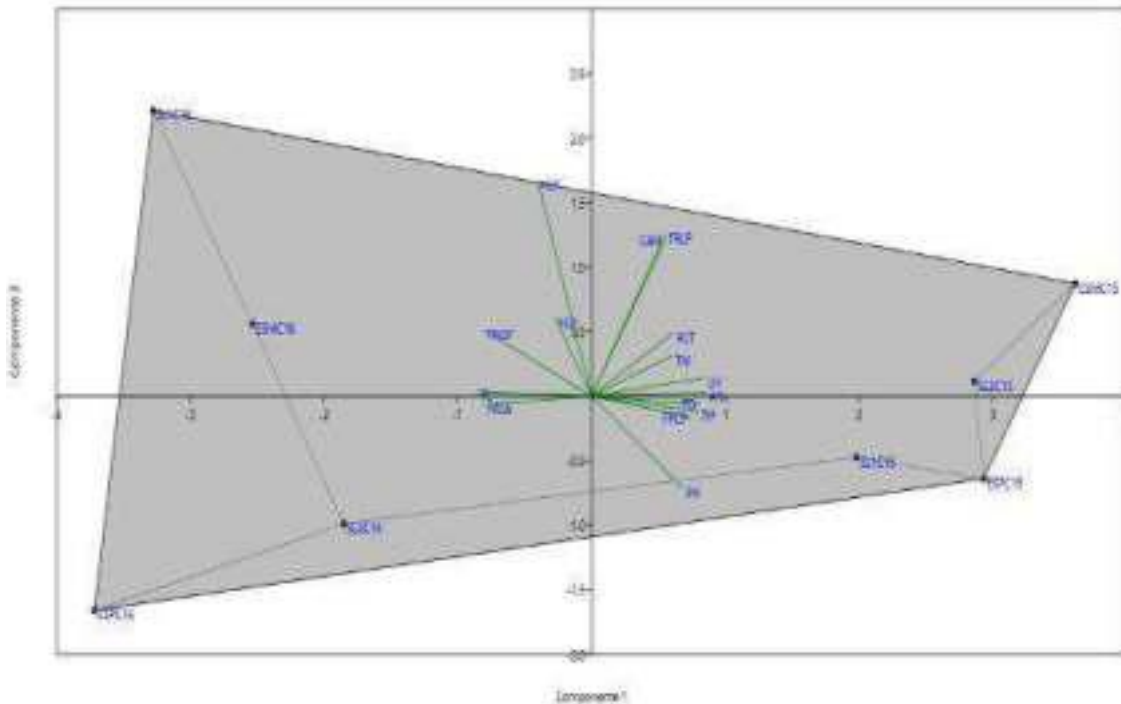


Figura 2.6. Gráfico en dos dimensiones de CP1 y CP2 en poblaciones de Chile Ancho. Ciclos 2015-2016.

## 2.5 CONCLUSIONES

La diversidad morfológica de las poblaciones de Chile Ancho se representa principalmente por la variación en las características morfológicas de planta y fruto. Aunque se formaron dos grupos; el primero conformado por las poblaciones Especial y Esmeralda con caracteres similares y el segundo con las poblaciones SL1 y SL2.

Con los resultados obtenidos del ACP para el ciclo 2015, se obtuvieron dos componentes principales que explicaron el 78.067 % de toda la variabilidad total y estuvo constituido por las variables FRLA, FL, FD, LH, FCP, PH CAN, FRGP, TM, ALT, FGP y FPCP.

Se encontró que la población Esmeralda (ESM) la definen las variables CAN, FRGP, ALT, PH y LH y la población Especial (ESP) con las variables FPCP, FCP, TM, AH y TIF. La población San Luis 1 (SL1) con las variables; FRLP, FL, FRLA y la población San Luis 2 (SL2) con la característica FD.

Para el ciclo 2016, el ACP obtuvo dos componentes principales que explicaron el 78.957 % de la variabilidad total entre las poblaciones. En el CP1 las variables con mayor expresión fueron ALT, FL, TIF, FRLA y FD. En el CP2 las variables más importantes fueron FRLP, FCP, LH, FPCP y FGP.

Para el ciclo 2016, se obtuvieron dos grupos. En el primero se encuentran las poblaciones San Luis 1 y San Luis 2. La SL1 se identifica con LH, FGP, FD, TM, AH, FRGP, TIF y SL2 con las variables FRLA, FL, ALT y PH. En el segundo grupo las poblaciones Esmeralda y Especial. ESM se explica con FRLP, FCP, FPCP, CAN y ESP no presentó variable que la identificara.

En el ACP conjunto de los ciclos de evaluación 2015-2016, dos componentes principales explicaron el 74.796 % de la variabilidad total. Donde las características más relevantes fueron AH, LH, FL, FRLA, FRGP, FD, TIF, FGP, FRLP y CAN. Por otro lado, En el ciclo 2015 las poblaciones se relacionaron con los caracteres de planta y fruto; mientras que, en el ciclo 2016 predominaron en las poblaciones caracteres de fruto únicamente.

## 2.6 LITERATURA CITADA

Adetula A. O.; Alakojo S. A. 2006. Genetic characterization and evaluation of some pepper accessions *Capsicum frutescens* (L.): The Nigerian "Shombo" collections. American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science 1(3): 273-281.

- Ado, I. & Samawira, I. 1987. Estimates of genetic parameters of yield components in peppers (*Capsicum annuum*). East African Agricultural and Forestry Journal (Kenia). 52(3): 136-140.
- Adugna, W., M. T. Labuschagne, and C. D. Viljoen. 2006. The use of morphological and AFLP markers in diversity analysis of linseed. Biodiversity and Conservation 15: 3193-3205.
- Acosta R., G. F., Chávez S., N. 2003. Arreglo topológico y su efecto en rendimiento y calidad de la semilla de chile Jalapeño. Agricultura Técnica en México 29: 49–60.
- Aguilar-Rincón, V.H., T. Corona-Torres, P. López-López, L. Latournerie-Moreno, M. Ramírez-Meraz, H. VillalónMendoza, y J.A. Aguilar-Castillo. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UNAL y UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México, MEX.
- Bautista-Cruz, M., J.C. Carrillo-Rodríguez, J.L. ChávezServia, e Y. Villegas-Aparicio. 2012. Diferencias morfológicas entre variantes de chile (*Capsicum annuum* L.) de Oaxaca, en invernadero. En: Memorias de la Novena Convención Mundial del Chile. Zacatecas, México. 5-7 de julio 2012. Comité Nacional de Productores de Chile A.C., Consejo Estatal de Productores de Chile en Zacatecas S.C., Universidad Autónoma de Zacatecas, Fundación Produce Zacatecas, Comité Estatal de Sanidad Vegetal A.C. y Comité Estatal Sistema Producto de Zacatecas A.C. Zacatecas, MEX. p. 373-379.
- Castañón-Nájera G, Latournerie-Moreno L, Mendoza-Elos M, Vargas-López A y Cárdenas-Morales H. 2008. Colección y caracterización de Chile (*Capsicum* spp) en Tabasco, México. Revista Internacional de botánica experimental ΦYTON. 77:189-202.

- Castellón-Martínez, E., J.C. Carrillo-Rodríguez, J.L. Chávez-Servia, y A.M. Vera-Guzmán. 2014. Variación fenotípica de morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) nativo de Oaxaca, México. Rev. Int. Bot. Exp. Phytón 83:225-236.
- Contreras-Molina O, Gil-Muñoz A, López P. A, Reyes-López D y Guerrero-Rodríguez J. de D. 2016. Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. Núm. 17 12 de noviembre - 31 de diciembre, 2016 p. 3633-3647.
- Eigenbrode S. D., J. T. Trumble and R. A. Jones. 1993. Resistance to beet armyworm, *Hemipterans*, and *Liriomyza* spp. in *Lycopersicon* accessions. Journal of the American Society for Horticultural Science 118:525-530.
- Elizondo-Cabalчета E y Monge-Pérez J. E. 2017. Caracterización morfológica de 15 genotipos de pimiento (*Capsicum annuum*) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. Revista InterSedes. VOL. 18, NO. 37. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/isucr.v18i37.28652>.
- Flores-Hernández L. A, Lobato-Ortiz R, García-Zavala J. J, Molina-Galán J. D, Sargerman-Jarquín D. M y Velasco-Alvarado M. J. 2017. Parientes silvestres del tomate como fuente de germoplasma para el mejoramiento genético de la especie. Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 40, núm. 1, pp. 83-91.
- Hernández-Pérez M, López-Benítez A, Rodríguez-Herrera S. A, Borrego-Escalante F, Ramírez-Meraz M y López-Benítez S. R. 2011. Análisis conglomerado de 15 cruces de chile para variables fenológicas y de rendimiento. Agronomía mesoamericana 22(1):45-50. issn: 1021-7444.
- Hernández-Verdugo S, Porras F, Pacgeco-Olvera A, López-España R. G, Villareal-Romero M, Parra-Terraza S y Osuna-Encino T. 2012. Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annuum* var.



- glabriusculum*) silvestre del Noroeste de México. Polobotánica. Núm. 33, pp. 175-191, ISSN 1405-2768.
- Hernández Villarreal AE. 2013. Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Revista Bio Ciencias. ISSN 2007-3380. 2(3): 113-118.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. 2011. Guía para el manejo de la marchitez del chile en Guanajuato. ISBN: 978-607-95301-3-6.
- Macro Red de Hortalizas. 2016. Conservación y utilización sostenible de las Hortalizas Nativas de México. SAGARPA. SNICS. ISBN: 978-607-7668-91-6.
- Martínez-Martínez R, Méndez-Infante I, Castañeda-Aldaz H. M, Vera-Guzmán A. M, Chávez-Servía J. L y Carrillo-Rodríguez J. C. 2014. Heterosis interpoblacional en agromorfología y capsaicinoides de chiles nativos de Oaxaca. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 37 (3): 199 – 207.
- Medina C., C. I.; Lobo A., M.; Farley G., A. 2006. Variabilidad fenotípica en poblaciones de ají y pimentón de la colección colombiana del género *Capsicum*. Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria 7: 25-39.
- Moreno-Pérez E. C., Avendaño-Arrazate C. H., Mora-Aguilar R. Cadena-Iñiguez J., Aguilar-Rincón V. H. y Aguirre-Medina J. F. 2011. Diversidad morfológica en colectas de chile guajillo (*Capsicum annum* L.) del Centro-Norte de México. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(1): 23-30.
- Moya C., M. Álvarez, D. Plana, M. Florido y C. J. B. Lawrence. 2005. Evaluación y selección de nuevas líneas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con altos rendimientos y frutos de alta calidad. Cultivos Tropicales 26:39-43.
- López-Santiago J, Nieto-Angel R, Barrientos-Prieto A. F, Rodríguez-Pérez E, Colinas-Leon M. T, Borys M. W y González-Andrés F. 2008. Selección de

- variables morfológicas para la caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.).  
Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 97-111.
- López U. S, Ramirez M. M, Sanchez A. D. 2016. Características Morfológicas y potencial de rendimiento del híbrido de chile poblano ancho: HAP4F. Mejoramiento y Recursos Genéticos. Memorias 13<sup>a</sup> Convención Mundial del Chile. Campeche. Campeche. P.136.
- Pardey, C.; García, M.; y Vallejo-Cabrera, F. A. 2006. Caracterización morfológica de cien introducciones de *Capsicum* del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Acta Agronómica 55(3):1 - 9.
- PAST. PAleontological STatistics. Version 3.15. Natural History Museum University of Oslo. 1999-2017.
- Piña-Escutia J. L, Vences-Contreras C, Gutiérrez-Martínez M. G, Vázquez-García L. M y Arzate-Fernández M. 2010. Caracterización morfológica y molecular de nueve variedades botánicas de *Tigridia pavonia* (L.f.) DC. Agrociencia 44: 147-158.
- Polaco Puerta M. Francisco. 2011. Caracterización morfológica y molecular de materiales de Yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón colectados en la eco región eje cafetero de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Coordinación General de Posgrados Palmira.
- Santiago-Luna E. G, Carrillo-Rodríguez J. C, Chávez-Servía J. L, Raymundo-Enrique del Valle y Villegas-Aparicio Y. 2016. Variación fenotípica en poblaciones de chile Tusta. Agron. Mesoam. 27(1):139-149. ISSN 2215-3608 DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21893>
- Solís-Neffa, V.G., 2010. "Geographic patterns of morphological variation in *Turnera sidoides* subsp. *pinnatifida* (Turneraceae)". Plant Syst. Evol., 284: 231-253.

- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. SNICS. 2014. Guía técnica para la descripción varietal de chile (*Capsicum annuum* L.).
- Tapia, C. E., E. M. A. Gutiérrez, M. L. Warburton, V. A. Santacruz, and M. A. Villegas. 2005. Characterization of mandarin (*Citrus* spp.) using morphological and AFLP markers. *Interciencia* 30 (11): 687-693.
- Toledo-Aguilar R; López-Sánchez H; López P. A; Guerrero-Rodríguez J. D; Santacruz-Varela A; Huerta-de la Peña A. 2011. Características vegetativas, reproductivas y de rendimiento de fruto de variedades nativas de chile "Poblano". *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(3): 139-150.
- Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). 2002. <http://www.upov.int/portal/index.html.es>
- Villota-Cerón D, Bonilla-Betancourt M. L, Carmen-Carrillo H, Jaramillo-Vásquez J y García-Dávila M. A. 2012. Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existentes en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica C.I. Palmira, Colombia.

### **CAPÍTULO III. DIVERSIDAD GENÉTICA DE CUATRO POBLACIONES CRIOLLAS DE CHILE ANCHO DE SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO**

#### **RESUMEN**

Con el fin de conocer la diversidad genética con fines de mejoramiento en chile ancho de la región de San Luis de la Paz, Guanajuato, fueron analizadas cuatro poblaciones criollas y un testigo comercial, mediante marcadores AFLP. Se utilizaron 18 individuos por población junto con el testigo, con seis combinaciones enzima/primer, que generaron 428 marcadores. Con el análisis estadístico se generó una matriz de distancia genética mediante el coeficiente Rogers-Tanimoto, posteriormente con ella un análisis de conglomerados jerárquicos (SAHN) y finalmente se construyó un dendrograma por el método de UPGMA, usando el programa estadístico NTSYSpc V.2.20. Con las 6 combinaciones se obtuvieron 428 alelos. Las poblaciones estudiadas presentaron un 5 % variabilidad genética que integró dos grupos a una distancia genética de 0.958. La diversidad en las poblaciones criollas de la región del norte del estado de Guanajuato se está perdiendo, por lo que es necesario realizar tanto la conservación de los materiales como la incorporación de variación genética.

**Palabras clave:** chile ancho, criollo, diversidad genética, Dendrograma, Distancia genética.

### **CHAPTER III. GENETIC DIVERSITY OF FOUR CREOLES POPULATIONS OF ANCHO PEPPER OF SAN LUIS DE LA PAZ, GUANAJUATO**

#### **SUMMARY**

In order to knowing the genetic diversity for breeding purposes in ancho chili of the region of San Luis de la Paz, Guanajuato, we analyzed four creoles populations and a commercial tester by markers AFLP. We used 18 individuals per population along whit the tester, 6 enzyme/primer combinations used and 428 markers obtained. The statistical analysis performed to generate a matrix of genetic distance by the coefficient of Rogers-Tanimoto, subsequently, a cluster analysis (SAHN) and a dendrogram constructed by UPGMA method, using the statistical program NTSYSpc V.2.20. The populations studied showed 5 % genetic variability integrated two groups with a genetic distance of 0.958. Diversity in native populations of the northern region of Guanajuato State is being losing, so it is necessary both conservation of materials and the incorporation of genetic variation.

**Key words:** Ancho pepper, Creole, Genetic diversity, Dendrogram, Genetic distance.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Las poblaciones nativas o autóctonas de Chile (*Capsicum annuum* L.) muestran alta heterogeneidad y divergencias, y pueden constituirse como progenitores para formular estrategias genotécnicas que exploren y exploten la máxima heterosis a partir de esas divergencias genéticas (Martínez-Martínez *et al.*, 2014). El potencial evolutivo de las especies que viven en condiciones naturales dependen de sus niveles de variación genética y la manera como se distribuye dentro y entre sus poblaciones (Hernández-Verdugo *et al.*, 2001).

La diversidad genética es una propiedad de una comunidad de organismos de ciertas especies en la cual sus miembros tienen variaciones en sus cromosomas debido a un gran número de antecesores ligeramente diferentes. Estas propiedades hacen a la comunidad en general más resistente a enfermedades o a las condiciones ambientales cambiantes (Palleroni, 1997). La diversidad se manifiesta en cuanto a la riqueza o variedad de organismos vivos y de la información genética que poseen.

La diversidad genética típicamente se estudia con medidas tales como el polimorfismo, la heterocigosidad, diversidad alélica y frecuencias alélicas y genotípicas. La diversidad alélica es el número promedio de los alelos por locus y las frecuencias alélicas y genotípicas corresponden a las proporciones de cada alelo y cada genotipo para cada locus analizado en una población (García de León, 2003).

La importancia de los marcadores radica en que ofrecen la posibilidad de estudiar poblaciones de organismos y seleccionar aquellos que presentan rasgos de interés para el hombre. En ocasiones, el uso de marcadores permite seleccionar los individuos aun antes de que expresen el rasgo de interés. Gracias al empleo

de marcadores ha sido posible mejorar muchas especies que son la base de la alimentación del mundo (Solís y Andrade, 2005).

En este estudio se analizaron cuatro poblaciones de *C. annuum* criollas de la región de San Luis de la Paz, del estado de Guanajuato, para describir su diversidad genética, mediante el uso de AFLP, lo cual permitirá estudiar la relación que existe entre las poblaciones para fines de mejoramiento.

### **3.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.2.1 Material vegetativo y siembra**

Se colectaron semillas de cuatro poblaciones criollas de Chile Ancho del municipio de San Luis de la Paz en el Estado de Guanajuato, que fueron denominadas como San Luis 1, San Luis 2, Especial y Esmeralda, un testigo comercial (SSC 2947 F1) de la marca SHAMROCK SEED COMPANY, INC., y dos controles 2353-5 y 2460 procedentes del INIFAP-CEBAJ. Las cuales fueron sembradas en charolas de plástico con una capacidad de 50 pozos, el sustrato que se utilizó fue Peat Moss No. 3 esterilizado, en un recipiente se humedeció de una forma homogénea, se llenaron las charolas y se sembró depositando una semilla por pozo. En seguida las charolas fueron colocadas en la cámara de germinación con una temperatura de 25°C. Se realizó el trasplante cuando las plantas tenían un promedio de 11 cm y contaban con 6 hojas verdaderas, la unidad experimental fue en macetas de 12 pulgadas, la preparación del sustrato se colocó 10 % de Tezontle, 10 % de hoja y 80 % de tierra lama y fueron cultivadas en un invernadero del INIFAP-CEBAJ.

#### **3.2.2 Trabajo de laboratorio**

Se realizó la extracción de ADN genómico de tejido fresco que fue colectado de las hojas jóvenes de las plantas y fue transportado en una hielera para que se mantuviera fresco, se utilizó el protocolo de CTAB (Doyle *et al.*, 1987). El análisis

genético se realizó con marcadores moleculares tipo AFLP con base en el protocolo de Vos *et al.* (1995) con adaptadores e iniciadores con base en sitios de restricción para las enzimas MseI y EcoRI. Se analizaron 92 muestras con 6 combinaciones siendo estas ACT/CCA, AGG/CTT, ACT/CGC, AGT/CCA, ACA/CTT y AAG/CGC, para la amplificación de las muestras estudiadas. Todas las reacciones de amplificación y de acondicionamiento de los amplicones se realizaron en un termociclador Veriti 96 Well Thermal Cycler Applied Biosystems. Para obtener las huellas AFLP el producto de la amplificación selectiva se desnaturalizó y se mezcló con 3  $\mu$ l de solución amortiguadora de carga azul calentado por 5 min a 95°C y enfriado súbitamente en hielo. Se cargaron 0.6  $\mu$ l de muestra desnaturalizada en un gel de poliacrilamida al 6 %. Los productos amplificados se separaron por electroforesis vertical en un secuenciador automático modelo 4200 LI-COR, durante aproximadamente 3 horas.

### **3.2.3 Análisis de datos**

Se realizaron las lecturas de los AFLP por medio del programa Cross Checker 2.0 en el cual se generó la matriz binaria. A partir de la matriz binaria se realizó un análisis estadístico generando una matriz de distancia genética mediante el coeficiente Rogers, posteriormente un análisis de conglomerados jerárquicos (SAHN) y se construyó un dendrograma por el método de UPGMA, usando el paquete estadístico NTSYSpc V.2.20.

## **3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Previo a la extracción de ADN se evaluó la obtención de la buena calidad por el protocolo mencionado en materiales y métodos y se estandarizó a una concentración de 10 ng/ $\mu$ L.



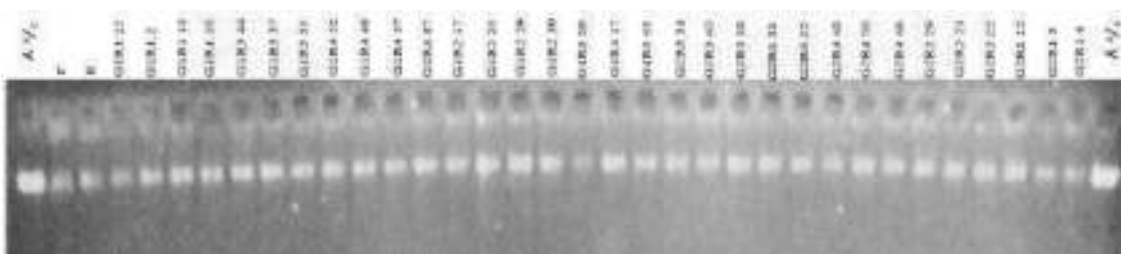


Figura 3.1. Gel de agarosa al 1.5 % con regulador TAE 1X que muestra las diluciones de ADN de Chile a una concentración de 10 ng/  $\mu$ L. Marcador de peso corresponde 100 ng ( $\lambda$   $\phi$ /c).

Se realizó un análisis genético por marcadores moleculares tipo AFLP, en la Figura 3.2 se observan los datos genéticos de las 92 poblaciones de Chile Ancho, el testigo comercial y los controles, los cuales fueron analizados con 6 combinaciones de iniciadores (ACT/CCA, AGG/CTT, ACT/CGC, AGT/CCA, ACA/CTT y AAG/CGC) generando un total de 428 bandas, de las cuales se encontraron 8 bandas polimórficas y el resto se presentaron baja frecuencia polimórfica, el número de bandas polimórficas que se obtuvieron fue bajo comparado con el reportado por Paran *et al.* (1998) donde estudiaron 34 poblaciones de la cual la mayoría eran comerciales y encontraron una alta similitud genética, de esta forma, las poblaciones de San Luis de la Paz presentan una similitud entre las poblaciones de 95 %, y esto puede deberse a que los agricultores realizan intercambios de semillas o utilizan para sus siembras las mismas variedades híbridas.

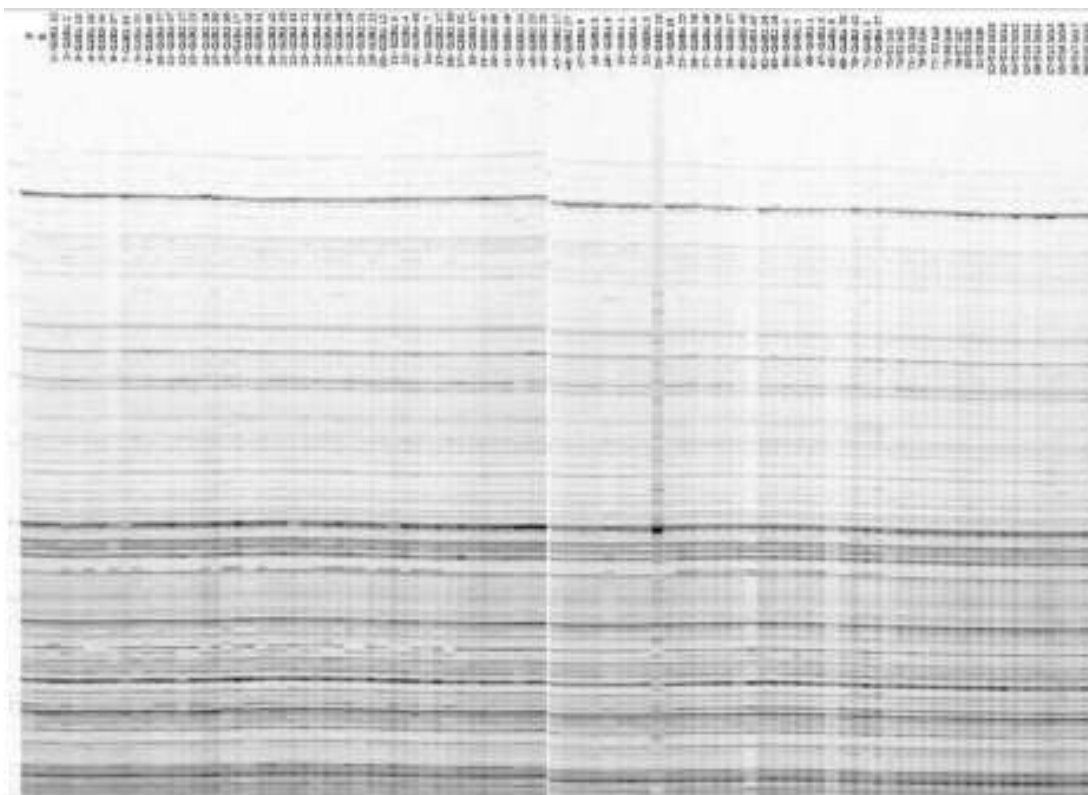


Figura 3.2. Gel de poliacrilamida al 6 % de amplicones AFLP EcoRI/Tru91 obtenidos en chiles anchos del Municipio de San Luis de la Paz, Guanajuato.

La Figura 3.3 muestra las cuatro poblaciones criollas y el testigo comercial que presentan una distancia genética promedio de 0.958, conformándose dos grupos. El grupo (A) se integró por las poblaciones San Luis 1 con 15 individuos, San Luis 2 con 18 individuos especial con 1 individuo, así como los controles 2353-5 (S) y 2460 (F). El grupo (B) se conformó por la población San Luis 1 con 3 individuos, Especial con 17 individuos, Esmeralda y el testigo comercial con 18 individuos.

Las poblaciones presentaron únicamente el 5 % de variación genética, a diferencia de Hernández *et al.* (2006), quienes encontraron 21 % de diversidad entre las poblaciones que ellos estudiaron: 10 silvestres y 3 domesticadas, con una distancia genética promedio de 0.212 la cual se considera relativamente alta para

las poblaciones domesticadas en comparación con las silvestres, por su parte Contreras *et al.* (2011), encontraron una variación genética de 89.2 % en los chiles del tipo poblano, estas variaciones son debido a la diversidad genética de las poblaciones estudiadas por ellos, denotando así que en el caso de San Luis de la Paz, Gto., posiblemente se esté presentando un “cuello de botella” por su baja diversidad genética.

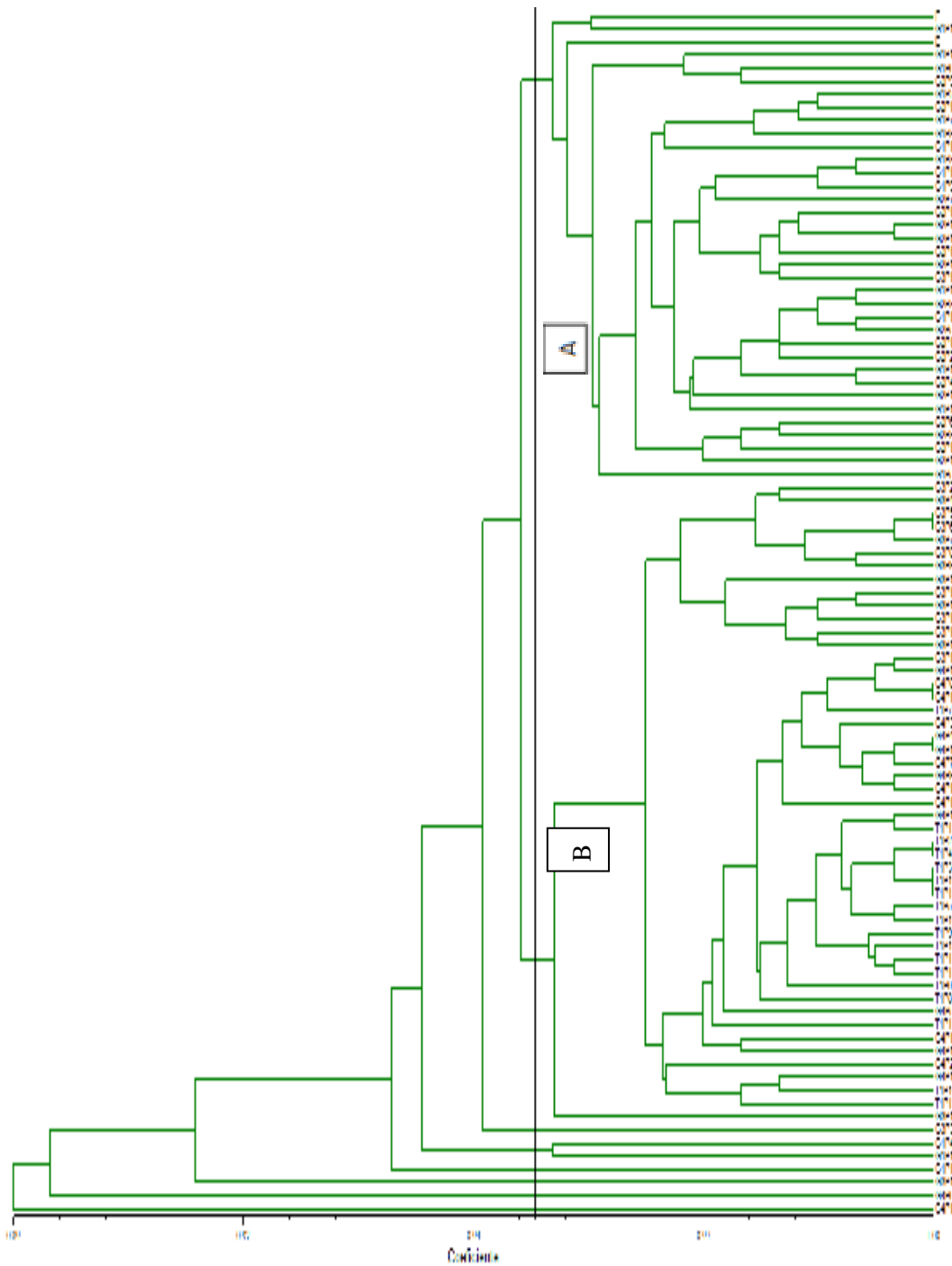


Figura 3.3. Agrupamiento de 5 poblaciones de chile ancho de San Luis de la Paz, Gto., mediante 428 AFLP, mediante el uso de Rogers-SAHN-UPGMA, grupos (A) y (B).

Manuscrito publicado en el libro Memorias 13ª Convención Mundial del Chile. Octubre 2016

### 3.4 CONCLUSIONES

Las poblaciones estudiadas presentaron solamente un 5 % variabilidad genética. La diversidad encontrada integró las poblaciones en dos grupos a una distancia genética de 0.958.

Por tanto, la diversidad en las poblaciones criollas de la región del norte del estado de Guanajuato se está perdiendo, es necesario realizar acciones para la conservación de los materiales e incorporar variación genética en forma sistemática.

### 3.5 LITERATURA CITADA

- Contreras T. A, López S. H, Santacruz V. A, Valadez M. E, Aguilar R. V, Corona T. T, López P. 2011. Diversidad genética en México de variedades nativas de chile 'Poblano' mediante microsatélites. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 34 (4): 225 – 232.
- Cross Checker Ver.2.91. is a simple PC software package, developed for analysis of genetic fingerprints such as RFLP, RAPD and AFLP.
- Doyle J. J. and Doyle J. L. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochem. Bull. 19: 11-15.
- García de León F. 2003. Análisis de datos genéticos en Ganado bovino. Memorias del Curso-Taller "Genotipificación de especies de interés económico-ecológico". 28-30 de Octubre de 2003. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica. Reynosa Tamps. pp. 118.
- Hernández-Verdugo, S., R.G. Guevara-González, R.F. Rivera-Bustamante, C. Vázquez-Yanes y K. Oyama, 1998. "Los parientes silvestres del chile (*Capsicum* spp.) Como recursos genéticos". Bol. Soc. Bot. Méx., 62: 171-181.
- Hernández-Verdugo S, González-Rodríguez A, Sánchez-Peña P, Casas A, y Oyama K. 2006. Estructura y diferenciación genética de poblaciones silvestres y domesticadas

de Chile del Noroeste de México analizada con isoenzimas y RAPDS. Rev. Fitotec. Mex. Col. 29(Núm. Especial 2): 25 – 29.

Martínez-Martínez R, Méndez-Infante I, Castañeda-Aldaz H. M, Vera-Guzmán A.M, Chávez-Servia J.L y Carrillo-Rodríguez J.C. 2014. Heterosis interpoblacional en agromorfología y capsaicinoides de chiles nativos de Oaxaca. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 37 (3): 199 – 207.

NTSYSpc Ver. 2.2. Numerical Taxonomy System.

Palleroni N. J. 1997. Prokaryotic diversity and the importance of culturing. Antonie van Leeuwenhoek 72: 3-19.

Paran I, Aftergoot E. y Shifriss Ch. 1998. Variation in *Capsicum annuum* revealed by RAPD markers. Euphytica 99: 167 – 173.

Soli, R. L. & Andrade, T. A. 2005. ¿Que son los marcadores moleculares? Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana. Vol. XVIII. Num. 1. <http://www.uv.mx.cienciahombre/revista/vol18num1/articulo/molecular/index.ht>.

Vos P.R. Hogers, M. Bleeker, M. REijans, T. van de Lee, M. Hornes, A. Frijters, J.Pot, J. Peleman, M. Kuiper y M. Zabeau. 1995. AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. Nucl. Acids Res. 23: 4405-4414.

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES

### **Caracterización morfológica de cuatro poblaciones criollas de chile ancho de San Luis de la Paz, Guanajuato.**

La diversidad morfológica de las poblaciones de chile ancho se representa principalmente por la variación en las características morfológicas de planta y fruto. Aunque se formaron dos grupos; el primero conformado por las poblaciones especial y esmeralda con caracteres similares y el segundo con las poblaciones SL1 y SL2.

Con los resultados obtenidos del ACP para el ciclo 2015, se obtuvieron dos componentes principales que explicaron el 78.067 % de toda la variabilidad total y estuvo constituido por las variables FRLA, FL, FD, LH, FCP, PH CAN, FRGP, TM, ALT, FGP y FPCP.

Se encontró que la población Esmeralda (ESM) la definen las variables CAN, FRGP, ALT, PH y LH y la población Especial (ESP) con las variables FPCP, FCP, TM, AH y TIF. La población San Luis 1 (SL1) con las variables; FRLP, FL, FRLA y la población San Luis 2 (SL2) con la característica FD.

Para el ciclo 2016, el ACP obtuvo dos componentes principales que explicaron el 78.957 % de la variabilidad total entre las poblaciones. En el CP1 las variables con mayor expresión fueron ALT, FL, TIF, FRLA y FD. En el CP2 las variables más importantes fueron FRLP, FCP, LH, FPCP y FGP.

Para el ciclo 2016, se obtuvieron dos grupos. En el primero se encuentran las poblaciones San Luis 1 y San Luis 2. La SL1 se identifica con LH, FGP, FD, TM, AH, FRGP, TIF y SL2 con las variables FRLA, FL, ALT y PH. En el segundo grupo las poblaciones Esmeralda y Especial. ESM se explica con FRLP, FCP, FPCP, CAN y ESP no presentó variable que la identificara.

En el ACP conjunto de los ciclos de evaluación 2015-2016, dos componentes principales explicaron el 74.796 % de la variabilidad total. Donde las características más relevantes fueron AH, LH, FL, FRLA, FRGP, FD, TIF, FGP, FRLP y CAN. Por otro lado, En el ciclo 2015 las poblaciones se relacionaron con los caracteres de planta y fruto; mientras que, en el ciclo 2016 predominaron en las poblaciones caracteres de fruto únicamente.

### **Diversidad genética de cuatro poblaciones criollas de chile ancho de San Luis de la Paz, Guanajuato**

Las poblaciones estudiadas presentaron un 5 % variabilidad genética.

La diversidad encontrada integró dos grupos a una distancia genética de 0.958.

La diversidad en las poblaciones criollas de la región del norte del estado de Guanajuato se está perdiendo, por lo que es necesario realizar la conservación de los materiales e incorporar variación genética.



**CAPÍTULO V. LITERATURA GENERAL CITADA**

- Aguilar-Rincón V. H., T. CoronaTorres, P. López-López, L. Latournerie-Moreno, M. RamírezMeraz, H. Villalón-Mendoza, J. A. Aguilar-Castillo, H. López-Sánchez y A. Aguilar-Meléndez. 2014. Diversidad de chiles en México (Mapa). 2ª ed.
- Aguirre Hernández E y Muñoz Ocotero V. 2015. El chile como alimento. Ciencia. P.16-23.
- Avise, C.J. 1994. Molecular markers, natural history and evolution. Chapman & Hall, New York.
- CONABIO. 2009. Biodiversidad Mexicana. URL:<http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/>
- Costa L. V, Lopes R, Lopes M. T. G y Alves S. R. M. 2015. Cross compatibility of domesticated hot pepper and cultivated sweet pepper. DOI: 10.12702/1984-7033.v09n01a06.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. <http://www.fao.org/faostat/en/>
- Hernández-Verdugo, S., P. Dávila y K. Oyama, 1999. "Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*". Bol. Soc. Bot. Méx., 64: 65- 84.
- Hillis D.M., J.J. Wiens. 2000. Molecules versus morphology in systematics. In: J.J. Wiens (Ed.). Phylogenetic analysis of morphological data. Smithsonian Institution Press. Washington. Pp. 1-19.
- Laborde C., J. A. y O. Pozo C. 1984. Presente y pasado del chile en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (SARH-INIA). Publicación Especial No. 85. México. 80 p.
- López L. P., D. Pérez B. y R. Rodríguez H. 2015. Impacto económico del chile Huacle en el Estado de Oaxaca. Memorias. 12ª Convención Mundial del Chile. Jalisco, México. Págs. 179-183.
- Lucas-Santoyo, L. G. 2011. Fertilización fosfatada en chile Guajillo (*Capsicum annuum* L.) y su interacción con hongos micorrízicos arbusculares. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillos, Estado de México, México. 155 p.

- Medina M. T., A. Mora O., J. C. Martínez A., H. Villalón M., G. Sánchez R., M. Ramírez M. y P. Osuna A. 2014. Análisis socioeconómico de recursos forestales no maderables: caso chiles piquines en Tamaulipas, México. Memorias del 6° Congreso Internacional de la Academia Mexicana Multidisciplinaria. p. 319-323.
- Ohsawa, T., and Y. Ide. 2007. Global patterns of genetic variation in plant species along vertical and horizontal gradients in mountains. *Global Ecol. and Biogeography* 17: 153–162.
- Pickersgill B. 1989. Genetic Resources of *Capsicum* for Tropical Regions. *In: Tomato and Pepper Production in the Tropics*. Asian Vegetable Research and Development Center. Tainan, Taiwan. pp. 2-8.
- Piña-Escutia J.L, Vences-Contreras C, Gutiérrez-Martínez M. G, Vázquez-García L. M, Arzate-Fernández A. M. 2010. Caracterización morfológica Y molecular de nueve variedades botánicas de *Tigridia pavonia* (L.f.) DC. *Agrociencia* 44: 147-158.
- Plan Rector Nacional. 2016. COMITÉ NACIONAL SISTEMA PRODUCTO CHILE. CONAPROCH A.C. <http://www.sinarefi.org.mx/inicio/acercadesinarefi.html>
- Pozo-Campodónico O., S. Montes-Hernandez, E. Redondo-Juarez. 1991. Chile (*Capsicum* spp.). En R. Ortega, G. Palomino, F. Castillo, V. González y M. Livera (eds.). *Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, México. pp. 217-238.
- Rentaría A.M. 2006. Las herramientas moleculares. Breve revisión de los marcadores moleculares. Pp. 541-557.
- Rodríguez, A., and K. J. Sytsma. 2005. Phylogenetics of the "tiger flower" group (*Tigridieae: Iridaceae*): molecular and morphological evidence. *Aliso* 22 (1): 412–424.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/Paginas/BNSAGEN E052017.as>
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/)
- Singh. 2004. Intellectual Property (IP) Rights and Innovation in Small and Medium-Sized Enterprises, wipo, Ginebra, p. 23.

- Vélez Torres M, Robledo Paz A, Corona Torres T, Aguilar Rincón V, Ramírez Vallejo P y Suárez Espinosa J. 2010. Obtención de plantas haploides en Chile Miahuateco (*Capsicum annuum* L.) Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 1, núm. 2, abril-junio, 2010, pp. 187-199.
- Vera-Sánchez, KS., Cadena-Iñiguez, J., Latournerie-Moreno, L., Santiaguillo-Hernández, J.F., RodríguezContreras, A., Basurto-Pena, F.A., Castro-Lara, D., Rodríguez-Guzmán, E., López-López, P., Ríos-Santos, E. 2016. Conservación y utilización sostenible de las Hortalizas Nativas de México. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, México. 132p.
- Wen, C. S., and J. Y. Hsiao. 2001. Altitudinal genetic differentiation and diversity of Taiwan lily (*Lilium longiflorum* var. *Formosanum*; Liliaceae) using RAPD markers and morphological characters. Int. J. Plant Sci. 162(2): 287-295.

## Anexo 1. Matriz de caracterización morfológica ciclo 2015.

Población/Carácter	ALT	CAN	LH	AH	PH	FL	FD	FRLA	FCP	FPCP	FRGP	FRLP	FGP	TIF	TM
SL1	1,25	3,78	15,11	6,96	4,83	4,33	9,94	4,77	4,11	2,89	3,33	3,75	0,56	6,11	4,72
SL2	1,42	3,89	14,69	7,47	4,75	4,39	10,43	4,86	3,44	2,77	3,17	4,68	0,49	6,72	5,33
ESP	1,39	3,11	15,93	7,32	5,15	3,56	8,86	4,40	6,78	6,06	3,17	3,71	0,29	6,44	5,61
ESM	3,71	5,56	16,39	7,28	6,05	3,72	8,31	4,42	4,78	3,56	3,56	4,38	0,49	6,50	5,00

## Anexo 2. Matriz de caracterización morfológica ciclo 2016.

Población/Carácter	ALT	CAN	LH	AH	PH	FL	FD	FRLA	FCP	FPCP	FRGP	FRLP	FGP	TIF	TM
SL1	0,85	3,00	10,20	4,80	2,90	8,58	4,73	6,65	6,11	0,70	4,56	3,81	1,86	4,44	4,67
SL2	0,97	1,28	9,80	5,14	5,14	8,68	4,48	6,58	5,22	0,68	4,11	3,68	0,50	5,44	5,28
ESP	0,76	1,78	9,14	4,33	3,87	8,50	4,29	6,57	4,56	0,48	4,28	2,62	0,48	3,83	3,17
ESM	0,51	4,08	9,57	4,57	3,75	8,22	4,18	5,51	6,56	0,91	4,03	3,99	0,52	3,36	3,61

## Anexo 3. Matriz de caracterización morfológica datos conjunto ciclos 2015-2016.

Población/Carácter	ALT	CAN	LH	AH	PH	FL	FD	FRLA	FCP	FPCP	FRGP	FRLP	FGP	TIF	TM
SL1C15	1,25	3,78	15,11	6,96	4,83	4,33	9,94	4,77	4,11	2,89	3,33	3,75	0,56	6,11	4,72
SL2C15	1,42	3,89	14,69	7,47	4,75	4,39	10,43	4,86	3,44	2,77	3,17	4,68	0,49	6,72	5,33
ESPC15	1,39	3,11	15,93	7,32	5,15	3,56	8,86	4,40	6,78	6,06	3,17	3,71	0,29	6,44	5,61
ESMC15	3,71	5,56	16,39	7,28	6,05	3,72	8,31	4,42	4,78	3,56	3,56	4,38	0,49	6,50	5,00
SL1C16	0,85	3,00	10,20	4,80	2,90	8,58	4,73	6,65	6,11	0,70	4,56	3,81	1,86	4,44	4,67
SL2C16	0,97	1,28	9,80	5,14	5,14	8,68	4,48	6,58	5,22	0,68	4,11	3,68	0,50	5,44	5,28
ESPC16	0,76	1,78	9,14	4,33	3,87	8,50	4,29	6,57	4,56	0,48	4,28	2,62	0,48	3,83	3,17
ESMC16	0,51	4,08	9,57	4,57	3,75	8,22	4,18	5,51	6,56	0,91	4,03	3,99	0,52	3,36	3,61

## Anexo 4. Matriz binaria de caracterización molecular por medio de AFLP.

Marcador/Población	F	E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
ACTCCA_369,1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ACTCCA_208,6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	
AGGCTT_275,2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	
ACTCGC_568,6	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
ACTCGC_386,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
ACTCGC_252,8	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	
ACTCGC_248,6	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	
ACTCGC_229,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ACTCGC_100,0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ACAATT_463,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AAGCGC_255,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AAGCGC_100,0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	

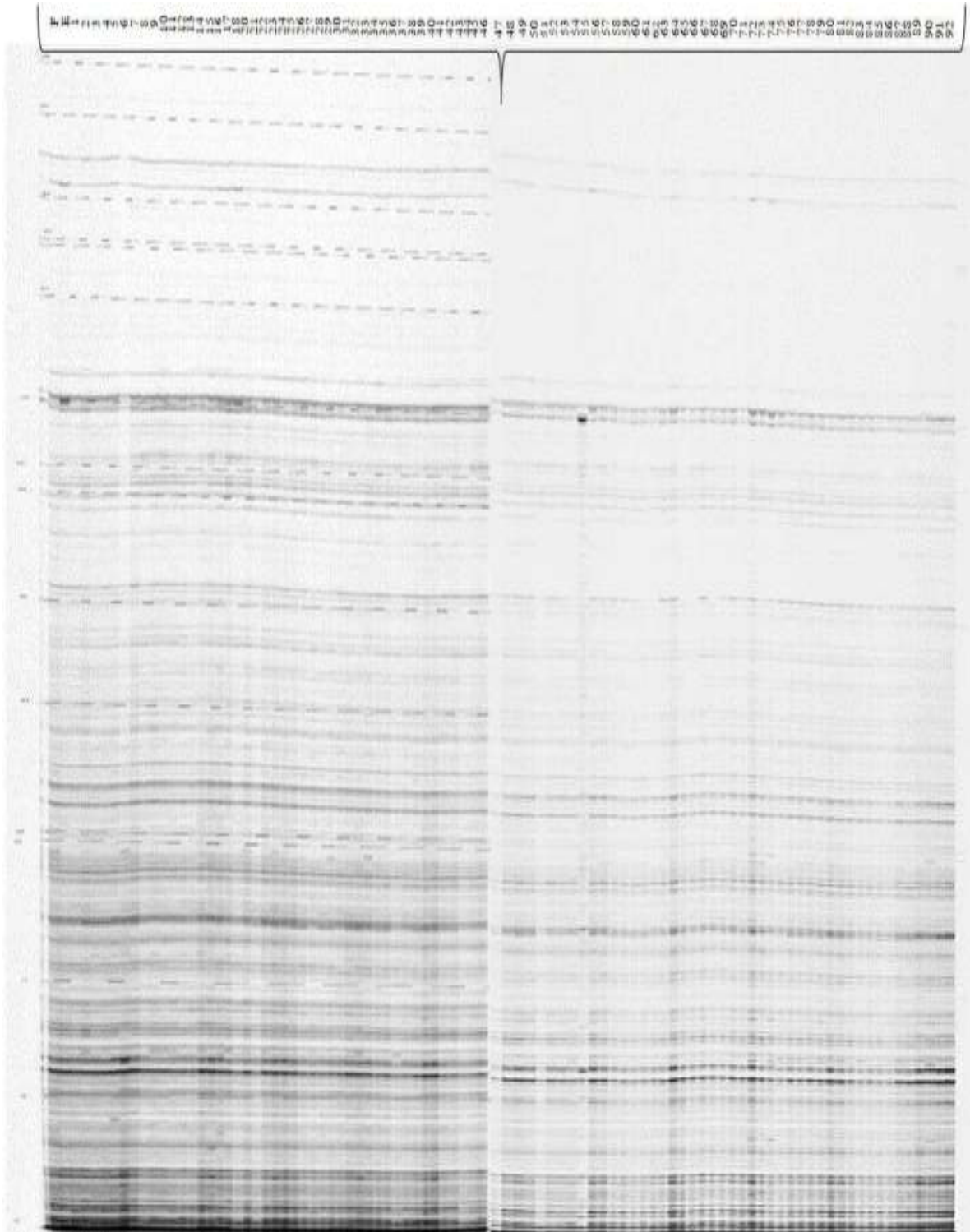
## Anexo 5. Matriz binaria de caracterización molecular por medio de AFLP (continuación).

Marcador/Población	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
ACTCCA_369,1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ACTCCA_208,6	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGGCTT_275,2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	
ACTCGC_568,6	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACTCGC_386,0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
ACTCGC_252,8	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	
ACTCGC_248,6	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
ACTCGC_229,9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ACTCGC_100,0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
ACAATT_463,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AAGCGC_255,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AAGCGC_100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

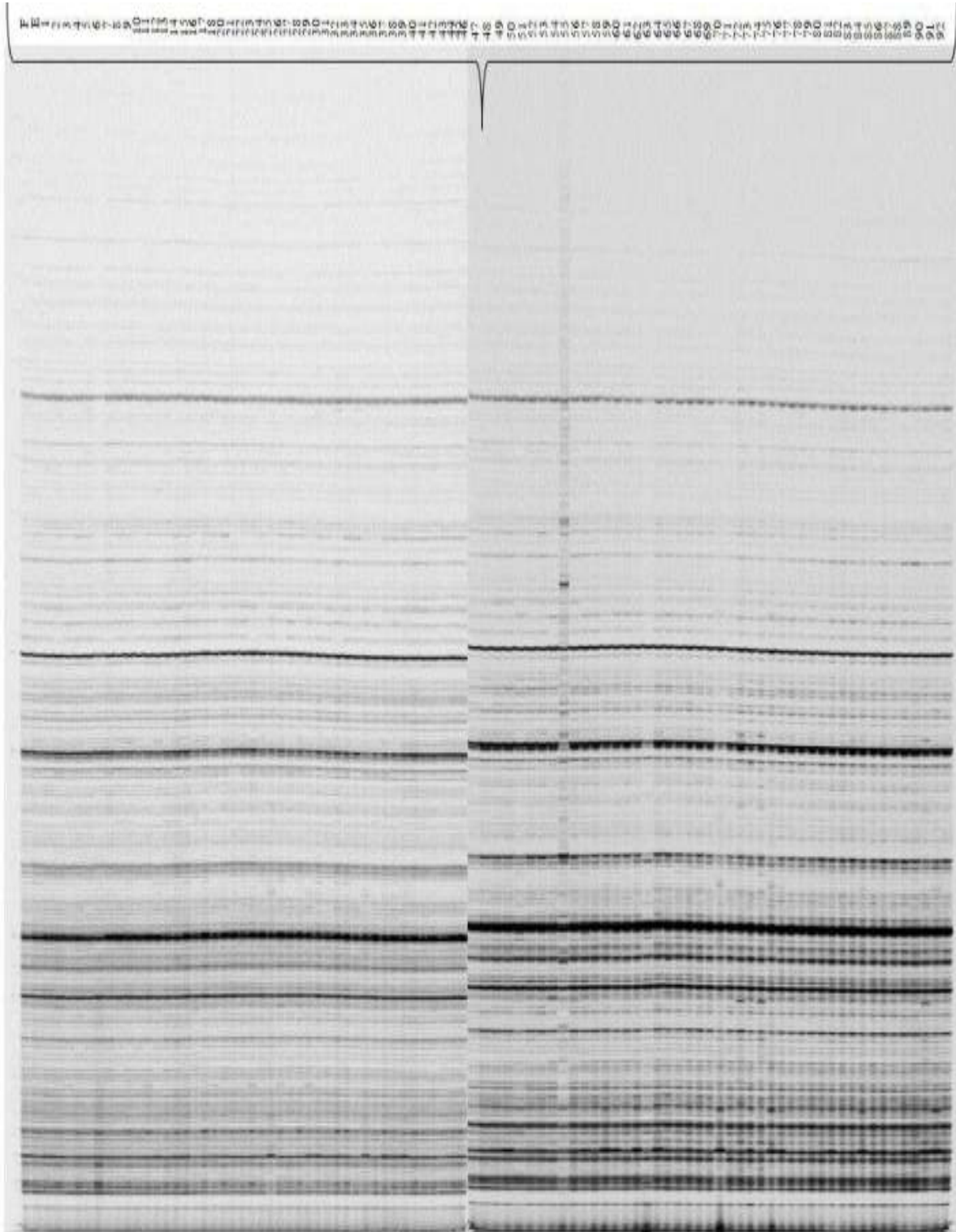
## Anexo 5. Matriz binaria de caracterización molecular por medio de AFLP (continuación).

Marcador/Población	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
ACTCCA_369,1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACTCCA_208,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AGGCTT_275,2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACTCGC_568,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACTCGC_386,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
ACTCGC_252,8	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0
ACTCGC_248,6	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
ACTCGC_229,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ACTCGC_100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ACACTT_463,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AAGCGC_255,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AAGCGC_100,0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo 6. Combinación EAGT\_MCCA en gel de poliacrilamida al 6 % de amplicones AFLP Eco/Tru91 obtenidos en chiles anchos.

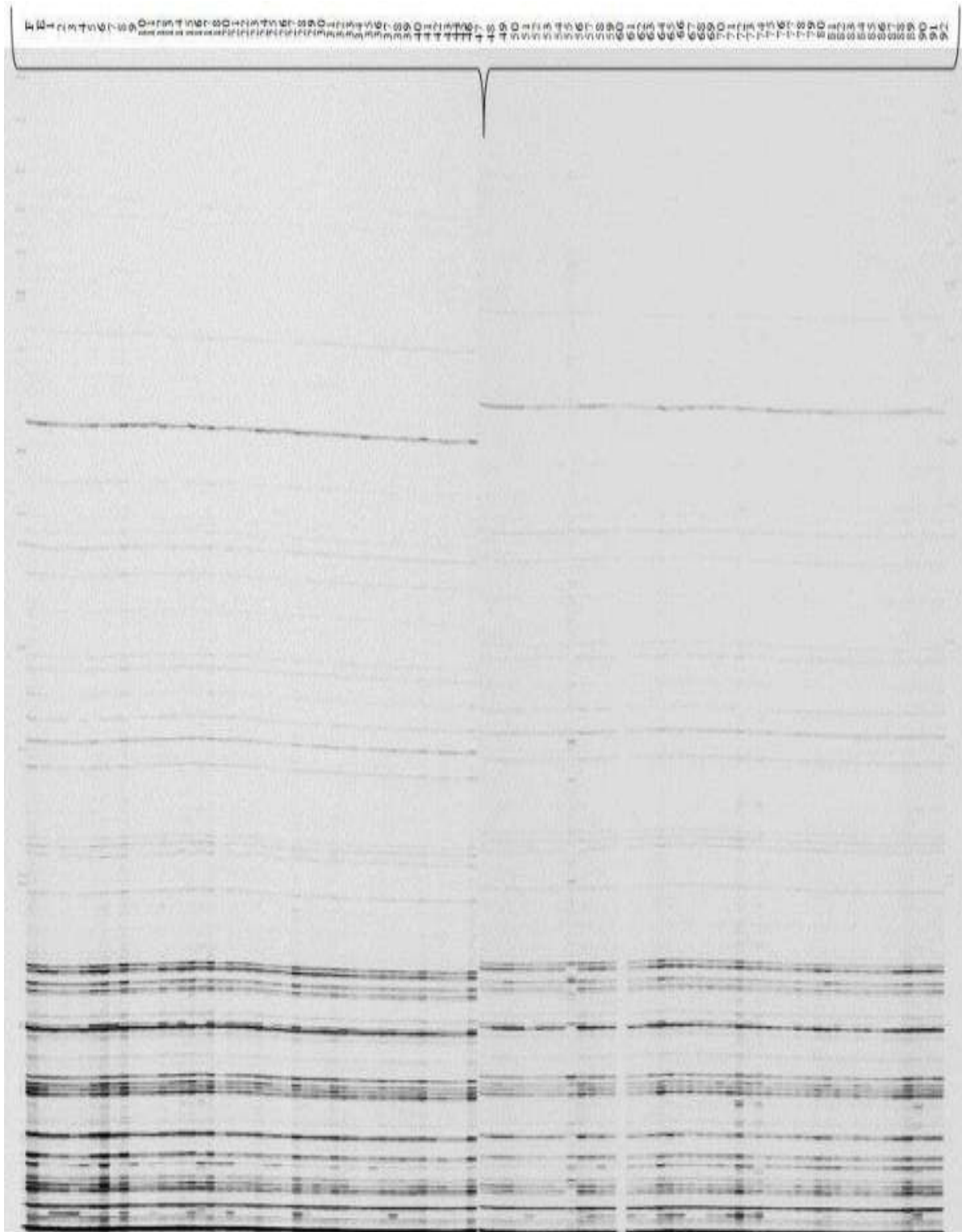


Anexo 7. Combinación EACA\_MCTT en gel de poliacrilamida al 6 % de amplicones AFLP Eco/Tru91 obtenidos en chiles anchos.

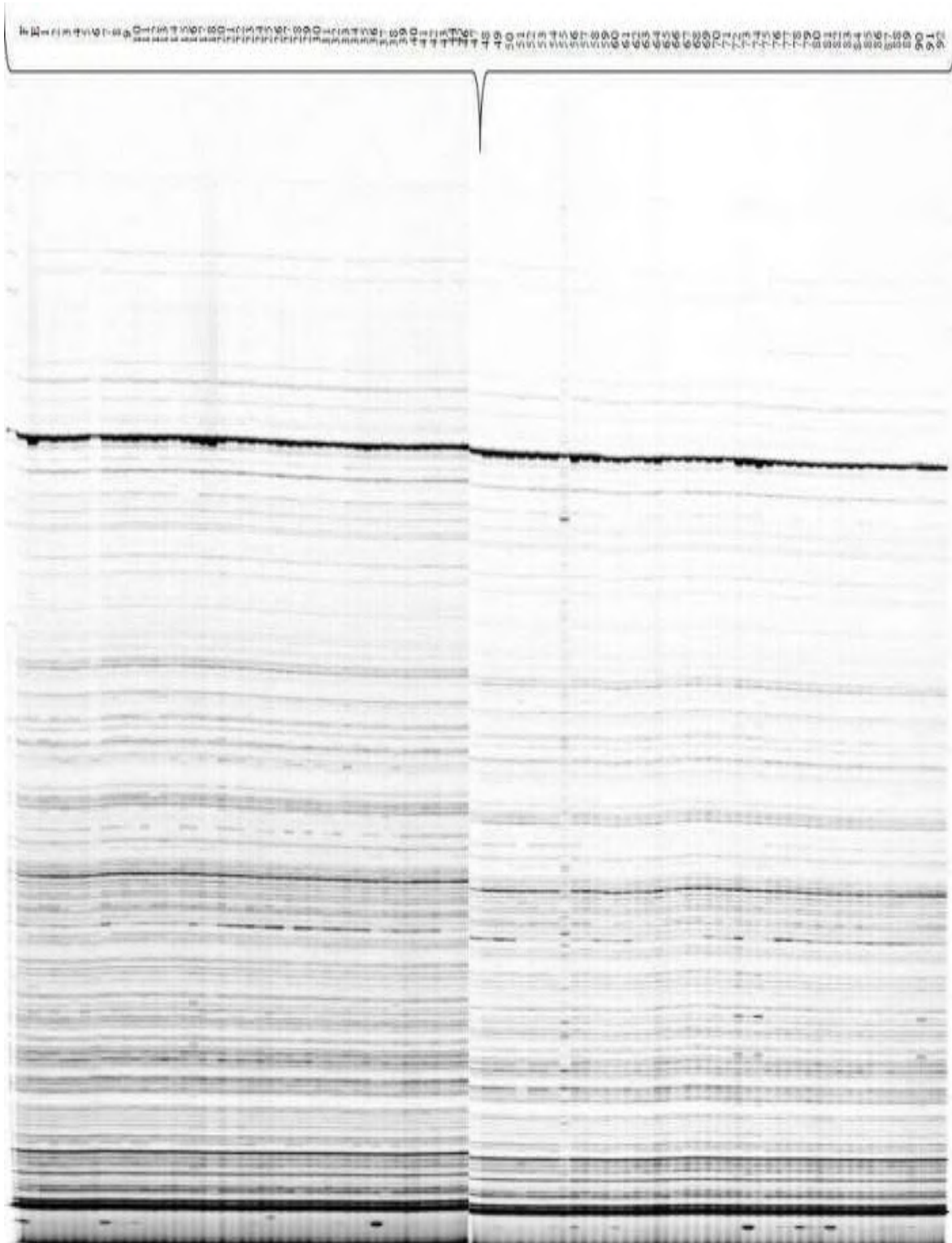




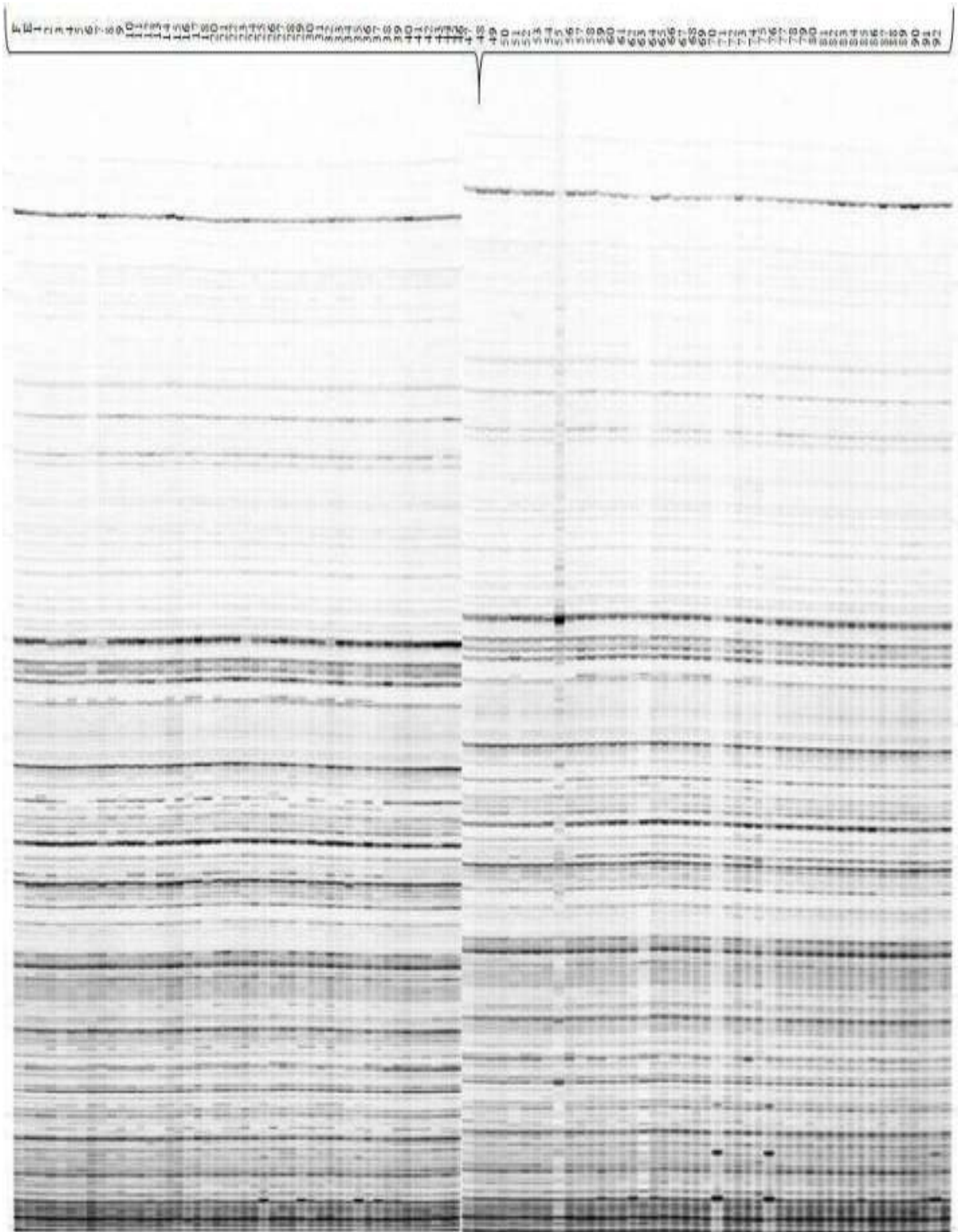
Anexo 8. Combinación EAAG\_MCGC en gel de poliacrilamida al 6 % de amplicones AFLP Eco/Tru91 obtenidos en chiles anchos.



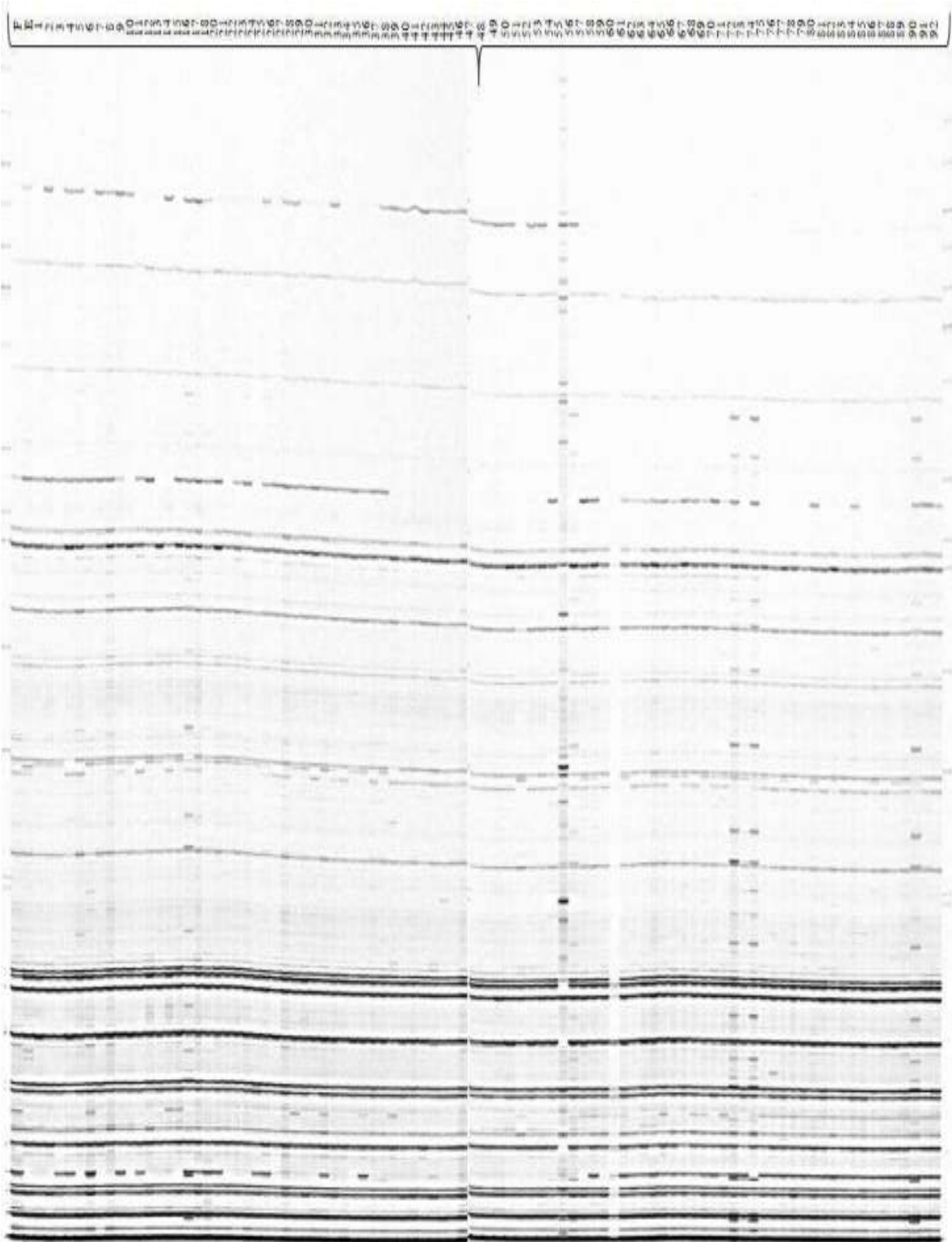
Anexo 9. Combinación EACT\_MCCA en gel de poliacrilamida al 6 % de amplicones AFLP Eco/Tru91 obtenidos en chiles anchos.



Anexo 10. Combinación EAGG\_MCTT en gel de poliacrilamida al 6 % de amplicones AFLP Eco/Tru91 obtenidos en chiles anchos.



Anexo 11. Combinación EACT\_MCGC en gel de poliacrilamida al 6 % de amplicones AFLP Eco/Tru91 obtenidos en chiles anchos.





TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**“ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE GLUTEN EN LÍNEAS F6 DE TRIGO HARINERO  
DE GLUTEN FUERTE”**

**QUE PRESENTA**

**JUAN ROLANDO HURTADO GUERRA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: DR. ERNESTO SOLÍS MOYA**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO DE 2017**

La tesis “ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE GLUTEN EN LÍNEAS F6 DE TRIGO HARINERO DE GLUTEN FUERTE”, fue realizada por el alumno **Juan Rolando Hurtado Guerra**, bajo la dirección del **Dr. Mariano Mendoza Elos** y asesoría de **Dr. Ernesto Solís Moya** revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Mariano Mendoza Elos**

**Cédula: 3998828**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Ernesto Solís Moya**

**Cédula: 8189311**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**

**Cédula: 3262824**

## DEDICATORIAS

A dios. Por permitirme seguir viviendo en esta vida llena de bendiciones, emociones y experiencias tan maravillosas y por poder estar en sus manos.

A mis padres José Juan Hurtado Barrón y Angélica Guerra Malagón. Por todo su amor y apoyo incondicional por seguir alentándome para seguir adelante día a día y por ser un ejemplo para mí y una inspiración para poder superarme como persona.

A mis hermanas Ivet, Itzel y Liliam. Por todo el apoyo y su amor que me dan día tras día para seguir adelante y no dejarme caer, porque son causa de tristezas, alegrías y un sin fin de recuerdos que siempre estarán presentes en mi corazón.

A mis sobrinas Joselyn Guadalupe y Marely Cristal, por ser una inspiración para seguir esforzándome día a día y por qué las quiero como si fueran mis hijas.

A mis abuelitos Jesús Hurtado Silva, Albina Barrón Guerrero, Elvira Malagón Lara (Q.E.P.D). Por todo el amor que siempre me han brindado y sus sabios consejos.

A mis tíos. Saúl Hurtado Barrón (Q.E.P.D) porque siempre fue como un padre para mí y siempre lo llevo en mi corazón, German Hurtado Barrón y Lorenzo Hurtado Barrón por todo el apoyo que me han brindado y porque siempre han creído en mí, Maricela Hurtado Barrón, Lourdes Hurtado Barrón, Ramón Guerra Malagón, Maricela Guerra Malagón, Guadalupe Guerra Malagón, Nancy Guerra Malagón, todos ellos por siempre apoyarme en todo momento y darme buenos consejos, Jaime Guerra Malagón (Q.E.P.D) Por sus buenos consejos que siempre me dio.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Tecnológico Nacional de México, Posgrado del Instituto Tecnológico de Roque por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría.

A todos los Doctores del programa de Posgrado que me dieron clases, por transmitirme sus conocimientos y experiencias para mi formación.

Al Dr. Ernesto Solís Moya. Por el apoyo que ha brindado en todo momento y por compartirme sus conocimientos y darme la oportunidad de trabajar con él en la presente tesis.

Al Dr. Mariano Mendoza Elos. Por haberme dado la oportunidad de ser mi director de tesis dentro del instituto y por sus sabios consejo para la realización de mi tesis.

Al Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel. Por haber sido mi asesor y sus sabios consejos para poder realizar mi tesis.

A la M.C. Lourdes Ledesma Ramírez. Por todo el apoyo que siempre me ha brindado, por sus consejos que siempre me da y por la paciencia para ser mi consejera para la realización de mi tesis.

Al Dr. Carlos Guzmán y al M.C. Héctor Gonzales por permitirme hacer mis pruebas en el laboratorio de calidad de trigo en el CIMMyT.

A los integrantes del laboratorio de calidad de trigo de CIMMyT. Nayelli, Cintia, Ever, Orlando, Arturo, Gabriel y Fausto por el apoyo que me brindaron en mi estancia en el laboratorio.

A mis amigas Lupia Hernández, Olga Coyote. Por su apoyo incondicional.



	Pág.
Índice	i
Índice de tablas	vi
Índice de figuras	viii
Resumen	x
Summary	xi
<b>I Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II Objetivos</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
2.3 Hipótesis	4
<b>III Revisión de literatura</b>	<b>5</b>
3.1 Origen e importancia del trigo	5
3.1.1 Producción de trigo a nivel mundial	7
3.1.2 Producción de trigo en México	8
3.1.3 Producción de trigo en el Estado de Guanajuato	8
3.2 Usos potenciales del trigo	9
3.2.1 Productos de panificación	9
3.2.2 Sémola y pasta	11
3.3 Composición química del grano de trigo	12
3.3.1 Hidratos de carbono	12
3.3.2 Otros componentes	13

3.3.3	Anatomía de la semilla de trigo	15
3.3.4	Gluten	17
3.3.4.1	Composición del gluten	18
3.3.4.2	Proteínas del gluten	20
3.3.4.2.1	Clasificación	22
3.3.4.2.2	Con base en su solubilidad	23
3.3.4.2.3	Con base en su funcionalidad	24
3.3.4.3	Fuerza general del gluten (Sedimentación- SDS)	28
3.3.4.4	Propiedades visco-elásticas del gluten	29
3.3.5	Almidón	30
3.3.5.1	Forma y tamaño	30
3.3.5.2	Almidón dañado	31
3.4	Propiedades Físicas del grano de trigo	32
3.4.1	Tamaño y peso	32
3.4.2	Peso hectolitrico	32
3.4.3	Propiedades mecánicas (textura) del grano de trigo	33
3.4.4	Dureza del grano de trigo	34
3.5	Mejoramiento genético del trigo	35
3.6	Objetivos del mejoramiento del Trigo	36
3.7	Productores	36
3.8	Molineros	36
3.9	Panadero (industria)	37

3.10	Consumidor	37
<b>IV</b>	<b>Materiales y Métodos</b>	<b>38</b>
4.1	Localización	38
4.2	Genotipos usados	38
4.3	Registro del material	39
4.4	Limpieza del material	39
4.5	Análisis en el SeedCount	39
4.6	Determinación de proteína, humedad y dureza del grano	39
4.7	PSI's	40
4.8	Determinación del peso y color de grano	40
4.9	Acondicionamiento de la muestra para moler	41
4.10	Molienda	41
4.11	Determinación de proteína y humedad de la harina	42
4.12	Sedimentación (SDS)	42
4.12.1	Aparatos utilizados	42
4.12.2	Preparación de la muestra	43
4.12.3	Procedimiento	43
4.13	Determinación de gluten	44
4.13.1	Terminología	44
4.13.2	Determinación del gluten húmedo	44
4.13.2.1	Instrumental	44
4.13.2.2	Reactivos	45
4.13.2.3	Preparación de la muestra.	46

4.13.2.4	Procedimiento	46
4.13.2.5	Cálculos	47
4.13.3	Determinación de gluten seco	47
4.13.3.1	Instrumental	47
4.13.3.2	Procedimiento	47
4.13.3.3	Cálculos	48
4.14	Cálculos para determinar el número de genes por medio de la $\chi^2$	48
<b>V</b>	<b>Resultados</b>	<b>50</b>
5.1	Gluten húmedo	50
5.1.1	Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada	50
5.1.2	Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada	51
5.1.3	Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada	53
5.2	Gluten seco	54
5.2.1	Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada	54
5.2.2	Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada	56
5.2.3	Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada	57
5.3	Índice de Gluten	58
5.3.1	Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada	58
5.3.2	Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada	60
5.3.3	Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada	61
5.4	Proteína de la harina	62
5.4.1	Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada	62
5.4.2	Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada	64

5.4.3	Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada	65
5.5	Rendimiento Harinero	67
5.5.1	Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada	67
5.5.2	Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada	68
5.5.3	Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada	69
5.6	Sedimentación	71
5.6.1	Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada	71
5.6.2	Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada	72
5.6.3	Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada	73
<b>VI</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>75</b>
<b>VII</b>	<b>Literatura citada</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 3.1</b>	Proteínas presentes en las fracciones de Osborne. 23
<b>Tabla 3.2</b>	Clasificación de las proteínas de la harina de trigo con base en su funcionalidad. 25
<b>Tabla 3.3</b>	Clasificación de las proteínas del gluten, gliadinas y globulinas, con base en sus pesos moleculares. 27
<b>Tabla 3.4</b>	Clasificación de las gluteninas con base al contenido de azufre. 28
<b>Tabla 5.1</b>	Determinación del número de genes involucrados en el gluten húmedo para la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada. 50
<b>Tabla 5.2</b>	Determinación del número de genes involucrados en el gluten húmedo para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada. 51
<b>Tabla 5.3</b>	Determinación del número de genes involucrados en el gluten húmedo para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada. 53
<b>Tabla 5.4</b>	Determinación del número de genes involucrados en el gluten seco para la Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada. 54
<b>Tabla 5.5</b>	Determinación del número de genes involucrados en el gluten seco para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada. 56
<b>Tabla 5.6</b>	Determinación del número de genes involucrados en el carácter gluten seco en la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada. 57
<b>Tabla 5.7</b>	Determinación del número de genes involucrados en el índice de gluten para la Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada. 59
<b>Tabla 5.8</b>	Determinación del número de genes involucrados en el índice de gluten para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada. 60
<b>Tabla 5.9</b>	Determinación del número de genotipos involucrados en el índice de gluten para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada. 61
<b>Tabla 5.10</b>	Determinación del número de genes involucrados en la proteína de harina para la Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada. 62
<b>Tabla 5.11</b>	Determinación del número de genes involucrados en la proteína de haría para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada. 64

<b>Tabla 5.12</b>	Determinación del número de genes involucrados en la proteína de harina para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	65
<b>Tabla 5.13</b>	Determinación del número de genes involucrados en el rendimiento harinero para la Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.	67
<b>Tabla 5.14</b>	Determinación del número de genes involucrados en el rendimiento harinero para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada.	68
<b>Tabla 5.15</b>	Determinación del número de genes involucrados en el rendimiento harinero para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	69
<b>Tabla 5.16</b>	Determinación del número de genes involucrados en la sedimentación para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
<b>Figura 3.1</b>	Morfología del grano de trigo. Adaptada de Profesional Pasta (2007).	16
<b>Figura 5.1</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten húmedo de la cruzada Ene/zita//Bimbo 6 Canada.	51
<b>Figura 5.2</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten húmedo de la cruzada Cisne/Bimbo 6 Canadá.	52
<b>Figura 5.3</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten húmedo de la cruzada Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	54
<b>Figura 5.4</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten seco de la cruzada Ene/zita//Bimbo 6 Canada.	55
<b>Figura 5.5</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten seco de la cruzada Cisne/Bimbo 6 Canada.	57
<b>Figura 5.6</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten seco de la cruzada Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	58
<b>Figura 5.7</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al índice de gluten de la cruzada Ene/zita//Bimbo 6 Canada.	59
<b>Figura 5.8</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al índice de gluten de la cruzada Cisne/Bimbo 6 Canada.	61
<b>Figura 5.9</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al índice de gluten de la cruzada Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	62
<b>Figura 5.10</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo a la proteína de harina de la cruzada Ene/zita//Bimbo 6 Canada.	64
<b>Figura 5.11</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo a la proteína de la harina de la cruzada Cisne/Bimbo 6 Canada.	65
<b>Figura 5.12</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo a la proteína de la harina de la cruzada Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	66
<b>Figura 5.13</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al Rendimiento Harinero de la cruzada Ene/zita//Bimbo 6 Canada.	68



<b>Figura 5.14</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al Rendimiento Harinero de la cruza Cisne/Bimbo 6 Canada.	69
<b>Figura 5.15</b>	Frecuencia de genotipos de acuerdo al Rendimiento Harinero de la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	70
<b>Figura 5.16</b>	Frecuencia de Genotipos de acuerdo a la Sedimentación de la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.	71
<b>Figura 5.17</b>	Frecuencia de Genotipos de acuerdo a la Sedimentación de la cruza Cisne/Bimbo 6 Canada.	72
<b>Figura 5.18</b>	Frecuencia de Genotipos de acuerdo a la Sedimentación de la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.	74

## RESUMEN

El trigo es uno de los principales granos para la alimentación, el cual junto con el maíz y el arroz, se producen en diversos países. Después del maíz el trigo es el segundo cultivo más importante para la dieta alimentaria del pueblo mexicano. Con él se elaboran varios productos de consumo masivo como pan, tortilla, pastas, galletas, atole, papillas, obleas y pasteles. El consumo humano de trigo, no puede realizarse directamente, pues requiere un proceso previo de transformación que comienza con la molienda, mediante la que se obtiene la harina, que ubica a la industria harinera como el eslabón estratégico de la cadena producción-consumo y la coloca como la principal fuente de demanda de grano (Gómez 2014).

El objetivo general del presente trabajo fue Analizar la cantidad y calidad de gluten en líneas F6 de trigo Harinero de gluten fuerte, el trabajo se realizó en el laboratorio de calidad industrial de trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo (CIMMYT) ubicado en el Km. 45 Carretera México-Veracruz, El Batán Texcoco Estado de México. Se usaron 3 materiales del INIFAP (CEBAJ) líneas F6 las cuales tienen en común el progenitor femenino y diferente progenitor masculino, todos son harineros de gluten fuerte con genoma AABBDD (Huerta y González, 2000).

La mejor línea de las tres poblaciones fue la 506 de la cruce Eneida F94/Bimbo 6 Canada ya que presenta valores más próximos a los óptimos recomendados para la elaboración de pan y para tener una buena calidad y cantidad de gluten.

## SUMMARY

Wheat is one of the main grains for food, which together with maize and rice, are produced in various countries. After corn, wheat is the second most important crop for the diet of the Mexican people. With it are elaborated several products of massive consumption like bread, tortilla, pastas, cookies, atole, papillas, wafers and cakes. The human consumption of wheat can not be carried out directly, since it requires a previous process of transformation that begins with the milling, through which the flour is obtained, which places the flour industry as the strategic link of the production-consumption chain and As the main source of grain demand.

The general objective of the present work was to analyze the quantity and quality of gluten in lines F6 of durum wheat flour, the work was carried out in the wheat industrial quality laboratory of the International Center for the Improvement of Corn and Wheat (CIMMYT) located in The Km. 45 Carretera México-Veracruz, El Batán Texcoco State of Mexico. Three materials of INIFAP (CEBAJ) lines F6 were used which have in common the female progenitor and different male progenitor, all are flour of gluten strong with genome AABBDD.

The best line of the three populations was the 506 of the cross Eneida F94/Bimbo 6 Canada as it presents values closer to the optimal ones recommended for the bread making and to have a good quality and quantity of gluten.

## I. INTRODUCCIÓN

El trigo es uno de los pocos cultivos que se ha dispersado por todo el mundo. Pertenece al género *Triticum*, el cual se originó en las tierras fértiles de la Mesopotamia, un área localizada en lo que ahora es el oriente medio (Gómez 2014)

Las principales áreas productoras de trigo bajo condiciones de riego en México son Sonora (43.1 %), Baja California (14.1%), El Bajío (28 %) Tlaxcala (4.9 %) (SIAP, 2013).

La región noroeste de México, se caracteriza por la siembra de trigo de gluten fuerte y cristalino mientras que en El Bajío se siembran trigos suaves (Peña, 2008). El ambiente de esta región también es adecuado para la producción de trigos fuertes, que pueden alcanzar 11% de proteína en el grano y rendimiento mayor a 9 t/ha, estos resultados se han obtenido en las variedades Monarca F2007 y Josecha F2007, liberadas en el año 2007 (Gómez 2014).

El trigo es uno de los principales granos para la alimentación, el cual junto con el maíz y el arroz, se producen en diversos países. Después del maíz el trigo es el segundo cultivo más importante para la dieta alimentaria del pueblo mexicano. Con él se elaboran varios productos de consumo masivo como pan, tortilla, pastas, galletas, atole, papillas, obleas y pasteles. El consumo humano de trigo, no puede realizarse directamente, pues requiere un proceso previo de transformación que comienza con la molienda, mediante la que se obtiene la harina, que ubica a la industria harinera como el eslabón estratégico de la cadena producción-consumo y la coloca como la principal fuente de demanda de grano (Gómez 2014).

Sólo hace 200 años se empezó a moler el trigo hasta convertirlo en una harina blanca con un alto contenido de gluten. Gracias a la hibridación la proporción de gluten ha aumentado espectacularmente. La composición habitual de la harina de trigo es en un 70% almidón, un 10% proteínas; un 2% de polisacáridos, y 2% de

lípidos. El gluten representa el 80% de las proteínas del trigo, que están formadas por un grupo complejo de proteínas insolubles en agua, en el que dominan la gliadina y glutenina, siendo el responsable de la elasticidad de la masa, lo que permite su fermentación así como la consistencia elástica y esponjosa de panes y masas horneadas. La palabra gluten deriva de la palabra griega que significa pegamento, y son sus propiedades elásticas y adhesivas las que hacen que una rodaja de pan o un trozo de pastel no se desmenucen.

El porcentaje de gluten define a veces los tipos de harina: por ejemplo las harinas de fuerza son aquellas que poseen un alto contenido de gluten (puede superar el 11% de peso total). El panadero puede aumentar la fuerza y calidad de las harinas agregando una cantidad variable de gluten, de entre 1 y 4 kg por cada 100 kg de harina. Cuando se añade a la harina aumenta el contenido proteico de la misma para que ciertos panes especiales con alto contenido en fibra o de centeno, puedan panificarse obteniendo de ellos un volumen aceptable. Por cada 1% de gluten añadido, la mezcla aumentará un 0,6% su contenido en proteína. De esta forma, si tenemos una harina con 13% de proteínas y se añade 1% de gluten, la mezcla se transforma en 13,6% de contenido proteico

Los contenidos de proteína habituales son los siguientes, teniendo en cuenta que el gluten es el 80% de la proteína presente en la harina de trigo: La harina para bollería tiene normalmente 9,7% de proteína, la de pastelería o galletas en torno al 9,10%; la harina de uso genérico un 10-12%, la del pan entre 12,5 a 13,5%; la harina de alto contenido en gluten un 14-15%; la llamada “harina de gluten” (realmente gluten refinado) el 45%.

### **Clasificación del tipo de gluten del trigo**

En México, los trigos se han clasificado comercialmente en grupos según las características del gluten y por el destino de su uso final:

**Grupo 1. Trigos fuertes:** generalmente más altos en peso específico, excelente volumen de pan y buen rendimiento en harina: el gluten es fuerte y elástico, apto para la industria mecanizada de panificación y mejorador de trigos suaves y débiles.

**Grupo 2. Trigos de gluten medio fuerte y elástico:** apto para la industria del pan hecho a mano y mejorador de trigos suaves y débiles.

**Grupo 3. Trigo de gluten suave y extensible:** apto para la industria galletera, tortillas, entre otros, se utiliza para mejorar las propiedades de trigo tenaces.

**Grupo 4. Trigos tenaces:** tienen gluten corto y poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera, donas y galletas.

**Grupo 5. Trigos cristalinos de gluten corto y tenaz,** aptos para industria de pastas y sopas (**Norma Oficial Mexicana, NMX-FF1996-SCFI**).

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

- Analizar la cantidad y calidad de gluten en líneas F6 de trigo Harinero de gluten fuerte.

### 2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar por el número de genes, el gluten presente en las líneas F6 de trigo harinero de gluten fuerte y demás genotipos.
- Analizar la cantidad de proteína en las líneas F6 de trigo harinero de gluten fuerte y sus progenitores.

### 2.3. Hipótesis

- Las líneas F6 de trigo harinero de gluten fuerte tienen en su genoma dos, tres o cuatro genes de aditividad.
- Las líneas F6 de trigo harinero de gluten fuerte contienen mayor % de proteína que las variedades actuales.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Origen e importancia del trigo

Trigo (*Triticum* spp) es el término que designa al conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*. Todos ellos son plantas anuales de la familia de las gramíneas, y su cultivo se ha extendido por todo el mundo. La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *triticum*, que significa ‘quebrado’, ‘triturado’ o ‘trillado’, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. Con el término trigo se designa tanto a la planta como a sus semillas comestibles, tal y como ocurre con los nombres de otros cereales. El trigo es uno de los tres cereales más cultivados globalmente, junto al maíz y el arroz, y el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde la Antigüedad. El trigo se cultiva preferentemente para ser destinado al consumo humano. El grano del trigo se utiliza para hacer harina, harina integral, sémola y malta, así como una gran variedad de productos alimenticios derivados de estos, como pan, galletas, cerveza, whisky, pasta, cereales de desayuno, aperitivos, etc. En Europa, el trigo fue la principal fuente de almidón para la fabricación de papel y cartón, hasta que se introdujo el cultivo del maíz (Gómez *et al.*, 2007).

El trigo se ha cultivado desde hace miles de años. El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región Asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área y están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones (CIMMYT, 2008). Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hace más de doce mil años eran el tipo *Triticum Monococcum* y *T. dicocccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se desgranaban al madurar (Escobar, 1997).



El trigo produjo más alimento al ser cultivado por iniciativa de los seres humanos, pues de otra manera este no hubiera podido tener éxito en estado salvaje; este hecho provocó una auténtica revolución agrícola en el denominado creciente fértil. Simultáneamente, se desarrolló la domesticación de la oveja y la cabra, especies salvajes que habitaban la región, lo cual permitió el asentamiento de la población y con ello, la formación de comunidades humanas más complejas, como lo demuestra también el surgimiento de la escritura, concretamente la Escritura Cuneiforme, creada por los Sumerios y por tanto, el principio de la historia y el fin de la prehistoria (Fierro, 1997).

Se tienen datos del cultivo de trigo desde hace aproximadamente 10000 años en Persia y Mesopotamia. Se cree que Egipto fue uno de los primeros países que lo cultivo. En América fue introducido por los españoles primero en Chile y Bolivia se admite que Sebastián Cobo sembró trigo por primera vez en 1526 (Diccionario Enciclopédico Cervantes. 1999).

Se encontró en las pirámides de Egipto y es mencionado en la Biblia. El trigo se cultiva en todo el mundo, cubriendo una gran parte de la superficie cultivada. El trigo fue uno de los primeros granos cultivados, se localizó inicialmente en el Oriente Medio hace unos 9000 u 11000 años. Posteriormente, 4000 años a. C., se extendió la zona geográfica de su cultivo, convirtiéndose en el alimento básico en Inglaterra y China. Sin embargo, con el paso del tiempo el arroz contribuyó más notablemente al desarrollo de la cultura asiática, mientras que el trigo constituyó la base de la alimentación en Europa y Asia Occidental; a su vez, el maíz constituía el principal alimento del continente americano. Los españoles introdujeron el trigo en México hacia el año 1520, y posteriormente lo hicieron en las demás colonias americanas.

A nivel mundial, el trigo es el cereal más utilizado para la alimentación humana por su alto valor energético, mayor contenido de proteína con respecto a otros cereales (maíz y arroz) y por sus características de procesamiento únicas. Representa uno de

los cereales que más se utiliza como materia prima para elaborar una gran diversidad de alimentos procesados y otros productos no alimentarios (Peña *et al.*, 2007).

Entre los cereales, solo la harina de trigo tiene la capacidad de formar una masa resistente, viscoelástica y cohesiva capaz de retener gas y producir productos horneados ligeros y aireados (Hoseney, 1994). Este es el motivo por el cual el pan y los bizcochos crecen o levantan en el horno y no caen. Las proteínas del trigo y más específicamente el gluten son las responsables de esta característica única del trigo.

### **3.1.1 Producción de trigo a nivel mundial**

El trigo es uno de los cultivos más abundantes en el mundo, cultivándose en 115 países. Los principales países productores son China, Estados Unidos e India; una gran extensión de cultivo se localiza también en Rusia, Europa, Canadá, Australia y Argentina. El trigo es uno de los principales cereales que se cultivan en Estados Unidos, considerándose como el cuarto productor a escala mundial y el primero en volumen de exportación. Los estadounidenses consumen el 36% del total de la cosecha de Estados Unidos y el 50% se destina a exportación. Respecto a Iberoamérica, destaca como país eminentemente productor Argentina, seguido de Brasil, y con una producción muy similar México y Chile (Buzzeti y García 2015).

De acuerdo a las estimaciones que realizó el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en su informe *World Agricultural Supply and Demand Estimates (Wasde)* de junio de 2015, la temporada 2014/15 finalizó con una producción mundial de 726 millones de toneladas, 9.6 millones de toneladas por sobre la producción de la temporada anterior y 10.99 millones de toneladas por sobre la demanda estimada para la temporada 2014/15 (Buzzeti y García 2015).

El aumento en la producción de Argentina (2 millones de toneladas), China (4.2 millones de toneladas), Rusia (7 millones de toneladas) y Ucrania (2.5 millones de

toneladas), además de la Unión Europea (12.0 millones de toneladas), contrastó con las bajas de Canadá (8.2 millones de toneladas), Turquía (3.5 millones de toneladas), Estados Unidos (3 millones de toneladas) y Australia (2.9 millones de toneladas). En el caso de Argentina, la producción se vio favorecida por el buen clima y altos rendimientos (Buzzeti y García 2015).

### **3.1.2 Producción de trigo en México**

La producción nacional de trigo para el año agrícola 2013/2014 fue de 3.7 millones de toneladas, 9.9% más respecto al año agrícola anterior. Este crecimiento fue posible gracias al incremento en el rendimiento del cultivo (5.7 toneladas por hectárea), a pesar de que cayó la superficie sembrada en 10% respecto al ciclo previo (CANIMOLT, 2015).

De los 3 millones 688 mil toneladas de trigo que se produjeron en el año agrícola 2013/2014, el 96% se concentró en tan solo 9 estados: Sonora, 50%; Baja California, 14%; Guanajuato y Sinaloa, 8%; Michoacán, Jalisco y Chihuahua, 4%; Tlaxcala y Nuevo León, 2%. Es importante destacar que el 55% de la producción total fue de trigo cristalino, mientras que el 45% fue de trigo panificable. Por otra parte, el 94% del volumen registrado fue cosechado en el ciclo agrícola Otoño-Invierno y el 6% restante en el ciclo agrícola Primavera-Verano (CANIMOLT, 2015).

En el ciclo Otoño-Invierno 2015-2016 se sembraron 646,922 hectáreas de las cuales se cosecharon 635,757 y se tuvieron 5,067 hectáreas siniestradas, se tuvo un rendimiento promedio de 5.83 toneladas por hectárea, el total de la producción fue de 3, 707, 802 toneladas de trigo en México (SIAP, 2016).

### **3.1.3 Producción de trigo en el Estado de Guanajuato**

En el estado de Guanajuato se produce el trigo principalmente en el ciclo otoño-invierno bajo condiciones de riego, también se produce en el ciclo primavera-verano en menor escala bajo condiciones de temporal.

En el ciclo Otoño-Invierno 2015-2016 en el Estado de Guanajuato se sembraron 40,360 hectáreas de las cuales se cosecharon 40,342 hectáreas y se tuvieron 18 hectáreas siniestradas, se obtuvo un rendimiento promedio de 6.84 toneladas por hectárea siendo el Estado de Guanajuato donde se obtiene el mayor rendimiento promedio por hectárea, se obtuvo una producción de 276,172 toneladas colocando a Guanajuato como el cuarto estado productor de trigo a nivel nacional (SIAP, 2016).

### **3.2 Usos potenciales del trigo**

#### **3.2.1 Productos de panificación**

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de la harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación panaria, como *Saccharomyces cerevisiae* (Mesas y Alegre, 2002).

Se refieren a los obtenidos de las mezclas de harinas de cereales o harinas integrales o leguminosas, agua potable, fermentados o no, pueden contener: sal comestible, mantequilla, margarina, aceites comestibles hidrogenados o no, leudante, polvo de hornear, especias y otros ingredientes opcionales tales como, azúcares, mieles, frutas, jugos u otros productos comestibles similares, pueden emplear o no aditivos para alimentos; sometidos a proceso de horneado, cocción o fritura; con o sin relleno o con cobertura, pueden ser mantenidos a temperatura ambiente, en refrigeración o en congelación según el caso (CANIMOLT, 2016).

#### **Productos de panadería industrial**

Los obtenidos por procesos continuos de fabricación, estandarizados, con alto grado de automatización y en lotes de mayor escala. Pueden utilizar aditivos para alimentos y comercializarse tanto a granel como pre envasados (CANIMOLT, 2016).

**Productos de panadería tradicional**

Los obtenidos por un proceso artesanal, básicamente manual, de formas variadas y nombres de uso común con una vida útil corta, utilizan ocasionalmente aditivos para alimentos de acuerdo al producto y se venden a granel o pre envasados (CANIMOLT, 2016).

**Productos de bollería**

Los que son cocidos por horneado de la masa fermentada preparada con harina de trigo, agua, sal, azúcares, grasas comestibles, leudante, aditivos para alimentos e ingredientes opcionales (CANIMOLT, 2016).

En estas masas se incluye un porcentaje de grasas y azúcares superior al utilizado en otro tipo de productos, así el nivel de grasas varía entre el 5 y el 20% y el de azúcar entre el 10% y el 15%. Además de grasas y azúcares es habitual incluir productos lácteos, normalmente leche desnatada en polvo y huevo u ovoproductos en su formulación (Pallares *et al.*, 2007).

**Pan blanco**

Se define como el de consumo habitual en el día, elaborado con harina de trigo, sal, levadura y agua, al que se le pueden añadir ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados (Mesas y Alegre, 2002).

Producto que resulta de hornear una masa obtenida de harina fermentada por acción de leudante, agua y sal comestible, acondicionadores y mejoradores de masa, adicionado o no de aceites y grasas comestibles, leche, otros ingredientes y aditivos para alimentos (CANIMOLT, 2016).

**Pan de harina integral**

*“Es el pan elaborado con harina integral”.* Su textura es menos fina que la del pan común y tiene un elevado contenido en fibra. Hay que diferenciarlo del pan de

salvado que es un pan pseudointegral en cuya elaboración se emplean harinas refinadas o blancas a las que se añaden fragmentos enteros de salvado (la corteza del grano de trigo). En este caso el pan carece del germen que es la parte más rica en vitaminas, minerales y ácidos grasos esenciales (Bardón *et al.*, 2010).

### **Pan dulce**

Producto de panificación constituido por harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites comestibles o aceites hidrogenados, levaduras, adicionada o no de aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus presentaciones, sal y leche; amasado, fermentado, moldeado y cocido al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles (CANIMOLT, 2016).

### **Pastel o panque**

Producto que se somete a batido y horneado, preparado con harinas de cereales o leguminosas, azúcares, grasas o aceites, leudante y sal; adicionada o no de huevo y leche, crema batida, frutas y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos (CANIMOLT, 2016).

### **Pay**

Producto elaborado con harina de cereales o galleta molida, azúcares, agua y sal, con o sin leudante, grasas o aceites comestibles, fruta, crema pastelera, ingredientes opcionales y aditivos para alimentos; moldeado en forma de corteza para contener un relleno dulce o salado, puede ser cubierto horneado, frito o congelado (CANIMOLT, 2016).

## **3.2.2 Sémola y pasta**

### **Sémola**

La sémola es una harina de granulo grueso libre de tegumentos y germen, y es obtenida de la molienda del trigo maduro.

La producción nacional de sémola se realiza con trigos cristalinos (durum) del noreste de nuestro país. La industria molinera en el 2007 consumió poco más de 600,000 toneladas de trigo. Lo de más se exporta o se utiliza para forraje (porcicultores).

## **Pastas**

Es el producto que se obtiene por amasado mecánico de harina de trigo, sémola o semolina, o mezcla de estas con agua, adicionada o no de gluten y huevo.

Las pastas mexicanas cada día se colocan mejor en los mercados externos, en el año 2007 se vendieron más de 47, 450 toneladas.

La pasta en México es un producto que tiene expectativas de crecimiento en la exportación (CANIMOLT, 2016).

### **3.3 Composición química del grano de trigo**

La harina de trigo es la única que tiene la habilidad de formar una masa cohesiva y tenaz, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción. Esta propiedad se debe a su composición química, y en especial a las proteínas y su capacidad para formar gluten. La composición del trigo puede variar según la región, las condiciones de cultivo y el año de cosecha (Gómez *et al.*, 2007).

#### **3.3.1 Hidratos de carbono**

Los hidratos de carbono se forman a partir de dióxido de carbono y agua durante la fotosíntesis. Estos sirven como estructura de soporte en la planta y la semilla, son la fuente de energía para muchas de las reacciones metabólicas y se depositan en la semilla para suministrar energía durante el desarrollo de la nueva planta. Los mono y disacáridos se encuentran en el grano en muy pequeñas cantidades, fructosa 0.06%, glucosa 0.08%, galactosa 0.02%, sacarosa 0.54% y maltosa 0.05% (porcentajes de

materia seca). Los oligosacáridos, como la rafinosa (0.19%) también se encuentran en proporciones muy bajas (Hoseney 1994, Matz 1999).

Los granos de cereales almacenan energía en forma de almidón. El almidón es el hidrato de carbono mayoritario en el grano de trigo maduro, representando entre el 65-70% de la harina de trigo (suponiendo una tasa de extracción del 80% y una humedad del 14%). El almidón se acumula en forma de gránulos que se forman dentro de los amiloplastos. Los gránulos de almidón de la harina de trigo y de otros cereales muestran una distribución de tamaño bimodal, los gránulos más pequeños (tipo-B) son esféricos y presentan un diámetro inferior a 10  $\mu\text{m}$ , en tanto que los grandes (tipo-A) son lenticulares y tienen un diámetro cercano a 20  $\mu\text{m}$  (Rojas *et al.*, 2000). El interior de los gránulos está formado por regiones cristalinas y amorfas alternas, por lo que el almidón es descrito como un polímero semicristalino o parcialmente cristalino (Eliasson y Gudmundsson 1996). Las propiedades funcionales del almidón se deben esencialmente a los dos hidratos de carbono de mayor masa molecular, amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal compuesta de  $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces glicosídicos  $\alpha$ - (1-4), aunque se ha establecido que algunas moléculas son ramificadas a través de enlaces  $\alpha$ -(1-6) (Buleón *et al.*, 1998). La amilopectina, por el contrario, es un polímero altamente ramificado con masas moleculares superiores a 108. La cadena principal está formada por  $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces  $\alpha$ -(1-4) y eslabonadas con cientos de pequeñas cadenas mediante enlaces  $\alpha$ -(1-6) en los puntos de ramificación. El enlace  $\alpha$ -1,4 imparte a la molécula un giro natural, con lo que la conformación de las cadenas es helicoidal (Greenwood 1976).

Los gránulos de almidón, debido a su estado nativo parcialmente cristalino, experimentan, cuando son sometidos a tratamiento térmico, distintos cambios o transiciones de fase, entre los que destacan los llamados gelatinización y retrogradación (Belitz y Grosch 1999). Estos cambios van a influir en el volumen final



de los productos horneados y en su tendencia al endurecimiento, y dependerán, entre otros factores, de la proporción amilosa/amilopectina (Gómez *et al.*, 2007).

El endospermo del grano de trigo también contiene una pequeña proporción de polisacáridos, además del almidón, que nutricionalmente se incluyen dentro del grupo de las fibras, entendiéndose como tal a todos aquellos componentes de las células vegetales resistentes a la hidrólisis enzimática que se produce en el proceso digestivo, y que incluye a los polisacáridos no digeribles y las ligninas. Estos componentes son mayoritariamente arabinosilanos y  $\beta$ -D-glucanos solubles, además de pequeños porcentajes de celulosa y glucomanos. El endospermo del grano de trigo tiene cantidades relativamente altas de arabinosilanos y muy bajas de  $\beta$ -D-glucanos. A su vez, las paredes celulares de las capas de salvado de los granos presentan una apreciable cantidad de celulosa y arabinosilanos (Gómez *et al.*, 2007).

### **3.3.2 Otros componentes**

En el grano de trigo se encuentran presentes distintos tipos de lípidos, tales como ácidos grasos, glicéridos simples, galactoglicéridos, fosfoglicéridos, esteroides, esfingolípidos, dioles, tocoferoles, carotenoides e hidrocarburos. Los lípidos tipo acil son los que se encuentran en mayor proporción; entre ellos predominan los triglicéridos que contienen ácido palmítico, esteárico, oleico, linoleico y  $\alpha$ -linolénico, encontrándose los mono y diglicéridos en menor proporción. Los ácidos grasos saturados constituyen el 11-26% del total y los no saturados el 72-85% (Gómez *et al.*, 2007).

Los minerales están en muy pequeña proporción en el grano de trigo, y es aún su presencia en el endospermo (inferior al 1%). Los componentes mayoritarios de esta fracción son los fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. También se encuentran cantidades significativas de hierro, magnesio, zinc y cobre (Matz 1999). Gran parte del fósforo presente en los cereales se encuentra como ácido fítico el cual se combina con el calcio y el magnesio para formar la fitina (fitatos de calcio y

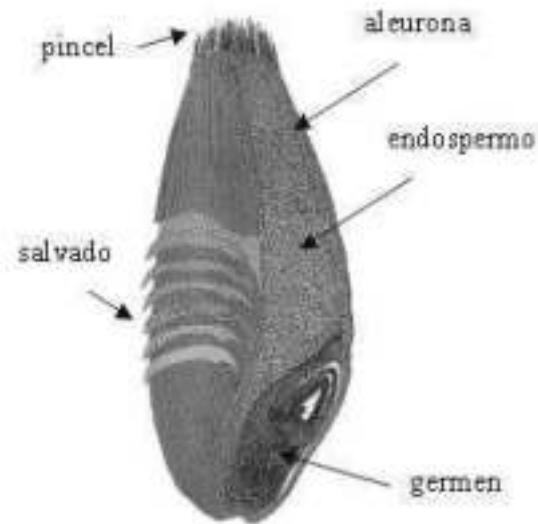
magnesio), que es insoluble, por lo que el fósforo presente en esta forma es mal asimilado por el cuerpo humano. Además el ácido fítico se puede combinar con numerosos iones reduciendo su asimilación en el organismo (Gómez *et al.*, 2007).

En los granos existen fitasas que en condiciones adecuadas pueden hidrolizar la fitina con la consiguiente liberación de fosfatos; esto ocurre durante el proceso de fermentación de la masa panaria (Gómez *et al.*, 2007).

Los granos de cereales son muy ricos en vitaminas del grupo B. La más importante es la niacina o vitamina PP que se encuentra en el salvado, aunque la mayor parte como niacina inasimilable. A la niacina le siguen en importancia el ácido pantotéico o vitamina B3 que se concentra en la capa de aleurona, y en menor medida en el endospermo, la piridoxina o B6 situada fundamentalmente en la capa de aleurona, la tiamina o B1 centrada en el escutelo y la riboflavina o B2 que se distribuye mayoritariamente en el salvado y el germen. Además de las vitaminas del grupo B los granos de cereales también son ricos en vitamina E (Gómez *et al.*, 2007).

### **3.3.3 Anatomía de la semilla de trigo**

Los granos de trigo son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. Están formados por tres partes principales (Figura 1) el salvado, o parte externa, el germen o embrión y el endospermo, que es la parte más interna del grano. El germen sobresale en uno de los extremos y en el otro hay un mechón de pelos finos, el resto del grano se denomina endospermo, el cual es un depósito de alimentos para el embrión que representa el 82% del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco), una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada (Gómez *et al.*, 2007).



**Figura 3.1.** Morfología del grano de trigo. Adaptada de Profesional Pasta (2007).

El pericarpio y la testa, juntamente con la capa aleurona, conforman el salvado de trigo. El salvado está formado por numerosas capas ricas en vitaminas y minerales, así como con un alto contenido en proteína. La capa de aleurona se localiza entre el salvado y el endospermo. Esta capa juega un papel fundamental en el desarrollo del embrión durante la germinación (Ritchie *et al.*, 2000). La capa de aleurona contiene concentraciones altas de diversas sustancias nutritivamente importantes, y por ello resulta muy interesante conseguir su aprovechamiento (Antoine *et al.*, 2002). El germen es la parte donde se inicia el origen de una nueva planta. El germen de trigo es una de las fuentes más ricas en vitaminas del grupo B y E, y contiene proteínas, grasas y minerales. El endospermo está formado principalmente por almidón, proteínas y, en menor medida, celulosas, y presenta un bajo contenido de vitaminas y minerales. La harina blanca está formada predominantemente por el endospermo (Gómez *et al.*, 2007).

Los trigos se clasifican en función de la estación de cultivo, el color, la dureza y textura del endospermo (relacionada con la forma de romperse el grano durante la molienda) y por su contenido proteico (relacionado con las propiedades funcionales de la harina). La textura del endospermo puede ser vítrea (cristalina, córnea,

acerada) o harinosa (almidonosa, yesosa). El carácter vítreo de los granos suele estar relacionado con un alto contenido proteico, mientras que el carácter harinoso suele asociarse con rendimientos más elevados. Los granos vítreos son translúcidos y aparecen brillantes al observarlos, al contrario de los harinosos que son opacos y más oscuros bajo una fuente de luz. De hecho el carácter vítreo de los granos se determina mediante técnicas de análisis de imagen (Dowell 2000, Symons *et al.*, 2003, Xie *et al.*, 2004). Esta opacidad de los granos harinosos es simplemente un efecto óptico, ocasionado por las diminutas vacuolas o fisuras llenas de aire que se encuentran en el interior de las células del endospermo o entre éstas. Estas fisuras forman superficies reflectantes internas que impiden la transmisión de la luz y dan al endospermo una apariencia blanca, que no tienen los granos vítreos en los cuales las células están totalmente llenas de una matriz almidón-proteína. En los granos vítreos la luz se difracta en la interfase aire-grano, pero luego viaja a través del grano sin sufrir ninguna difracción. Debido a la presencia de estos espacios los granos harinosos son menos densos que los vítreos (Gómez *et al.*, 2007).

### **3.3.4 Gluten**

Aunque el trigo se consume desde hace miles de años, el descubrimiento del gluten es relativamente reciente. Jacopo Bartholomew Beccari, un profesor de Química de la Universidad de Boloña, descubrió el gluten en 1728, cuando lo aisló lavando a mano una masa de harina. Lo describió como un material gelatinoso opuesto a cualquier material soluble amiláceo. Igualmente, observó que este material gelatinoso, una vez aislado, no era capaz de ser mezclado más con agua y tenía propiedades físicas únicas (Beach, 1961). Este descubrimiento fue significativo porque hasta ese momento se pensaba que las proteínas eran solo de origen animal (Villanueva, 2014).

El siguiente paso en la investigación del gluten ocurrió en 1823, cuando Osborne y Voorhees desarrollaron el procedimiento de fraccionamiento hasta hoy utilizado. Las proteínas del gluten fueron separadas en cuatro fracciones sobre la base de

diferencias en solubilidad en el sistema clásico de cuatro solventes: agua, sal diluida, 70 % etanol y ácido/álcali diluidos, que corresponden a albuminas, globulinas, prolaminas y glutelinas, respectivamente (Osborne y Voorhees, 1893). Ninguna de las proteínas individualmente podía ser clasificada correctamente como gluten. Sin embargo, la combinación de prolamina y glutelina produjeron el producto descubierto por Beccari dos centurias antes. Osborne (1907) describió sus componentes proteicos como fracción gliadina monomérica y fracción glutenina polimérica muy agregada (Villanueva, 2014).

El tercer descubrimiento mayor, que cambió el entendimiento del gluten, fue la publicación de Balls y Hale (1936), en la que se describió el desdoblamiento del gluten después de la adición de agentes reductores. Los autores examinaron la pérdida de integridad del gluten en presencia de compuestos como cisteína y glutatión. No fueron capaces de identificar el fenómeno y pensaron que podía estar relacionado con la activación de una enzima que trozaba los enlaces disulfuros. El hallazgo inadvertido fue el reconocimiento de que los enlaces disulfuros son necesarios para la estructura y funcionalidad del gluten (Villanueva, 2014).

Estos tres descubrimientos claves ocurrieron en tres siglos diferentes y fueron vitales para el entendimiento inicial del gluten del trigo. Este ritmo de investigación fue acelerado con el paso del tiempo hasta la actualidad. Sin embargo, a pesar de toda la investigación realizada en el gluten del trigo, estamos todavía lejos del entendimiento completo de estas proteínas (Villanueva, 2014).

#### **3.3.4.1 Composición del gluten**

El gluten del trigo contiene alrededor de 80 % de proteínas, 5 a 10 % de lípidos, almidón residual, carbohidratos y proteínas insolubles en agua atrapadas en la masa (Nierle y El Baya, 1990). Está compuesto de dos clases principales de proteínas: gliadina (una prolamina) y glutenina (una glutelina) (Villanueva, 2014).

Las gliadinas son un grupo de proteínas con propiedades similares. Se caracterizan por su solubilidad en carbinos alifáticos inferiores, especialmente etanol, y en algunos carbinos aromáticos como el fenol. Se les conoce como proteínas solubles en alcohol. Tienen un peso molecular promedio de 40,000, son de cadena simple y extremadamente pegajosas cuando se hidratan. Además, muestran poca o ninguna resistencia a la extensión y parecen ser las responsables de la cohesión de la masa (Hoseney, 1994). Presentan un polimorfismo intervarietal muy marcado y sus patrones electroforéticos no son afectados por condiciones ambientales (Zillman y Bushuk, 1979).

Las gluteninas son un grupo heterogéneo de proteínas. Se caracterizan por su solubilidad en ácidos y álcalis diluidos. Son de cadena múltiple y peso molecular variable (de 10,000 a varios millones) que comprende a gluteninas de bajo y elevado peso molecular; resiente y gomosa, pero propensa a la ruptura. Las gluteninas, aparentemente, proporcionan a la masa la propiedad de resistencia a la extensión (Hoseney, 1994). Estudios de reconstitución han indicado que para una cosecha de una variedad en particular de trigo, la cantidad relativa de glutenina está directamente relacionada con la resistencia a la extensión de la masa (MacRitchie, 1980, 1987). Sin embargo, debido a la solubilidad inconsistente de las fracciones de gliadina y glutenina, y a la superposición de sus componentes, resulta difícil demostrar esta relación para diferentes variedades y cosechas (Villanueva, 2014).

Finney y Barmore (1948) mostraron que las proteínas del gluten eran las responsables de las diferencias en las propiedades de planificación de harinas de trigo de diferentes calidades panaderas. También se acepta que el volumen del pan está correlacionado con el contenido de proteína de la harina. Sin embargo, no hay consenso acerca de qué aspectos de las proteínas son los responsables por estas diferencias. La relación glutenina/gliadina en el gluten ha sido propuesta como un factor importante, pero no hay evidencia experimental que lo demuestre (MacRitchie, 1980). El contenido de tiol y disulfuro también han sido sugeridos como variables

importantes, pero no hay correlación analítica establecida (Bloksma, 1975; Graveland *et al.*, 1978). Los estudios de la composición de aminoácido, movilidad electroforética y distribución de peso molecular tampoco indican correlación alguna (McDonald y Gilles, 1967).

La disponibilidad de nitrógeno durante el crecimiento del trigo es un factor que determina el rendimiento de la cosecha, las proteínas del gluten y la calidad del grano (Gianibelli y Sarandon, 1990). El contenido de proteína del trigo depende en gran medida de factores agronómicos y ambientales como el nitrógeno y la humedad del suelo, y la temperatura durante las etapas de crecimiento (Bushuk, 1985).

La genética de la variedad del trigo es la que determina qué proteínas están presentes y la proporción relativa entre ellas (Hoseney, 1994). En el trigo existe una relación inversa entre contenido de proteína y rendimiento (Loffler *et al.*, 1985).

Los trigos comunes (duros y suaves) son hexaploides, es decir, contienen tres genomas A, B y D, mientras que el trigo *durum* es tetraploide y contiene solo genomas A y B. Los científicos han encontrado la localización en el cromosoma de algunos de los genes para proteínas y polipéptidos específicos (Hoseney, 1994).

#### **3.3.4.2 Proteínas del gluten**

Las proteínas del gluten son las proteínas de almacenamiento del trigo. Son fáciles de aislar porque son insolubles en agua. Tienen elevado contenido de ácido glutámico y prolina, bajo contenido de lisina y baja densidad de carga (Hoseney, 1994).

El gluten sirve como fuente primaria de carbono, nitrógeno y en menor medida azufre de la planta inmadura. La glutamina es el aminoácido más abundante y, junto con la prolamina y la glicina, conforma más del 50 % de los aminoácidos residuales en el gluten (Hoseney, 1994). Esto puede limitar los tipos de conformaciones estructurales

secundarias que son posibles para el gluten, especialmente si los tres aminoácidos tienden a ser localizados en posiciones conservadas en motivos repetitivos. Específicamente, el tipo II  $\beta$  ( $i \rightarrow i \pm 3$  enlaces de hidrogeno) y en menor grado el tipo I  $\beta$  son las conformaciones más probables cuando una x-prolina-glicina-x es abundante (Horton *et al.*, 2006).

Otras características adicionales del gluten son el número relativamente elevado de aminoácidos hidrofóbicos residuales (aproximadamente 35 %) y la baja densidad de carga debido a la relativa carencia de aminoácidos básicos y a la presencia de la forma amida de los aminoácidos ácidos. Metionina, triptófano y lisina son los aminoácidos limitantes en el gluten (Hoseney, 1994).

El procedimiento de fraccionamiento de Osborne fue un paso adelante en la identificación de los grupos principales de proteínas que comprenden el *gluten*. El desarrollo de la electroforesis condujo a este descubrimiento y la consecuente aclaración de que las gliadinas y gluteninas son dos grupos amplios de proteínas, cada una compuesta de muchas subunidades individuales (Villanueva, 2014).

Este primer estudio controlado de electroforesis para demostrar que el gluten del trigo está compuesto por más de dos proteínas distintas fue realizado en 1959 (Jones *et al.*, 1959). Dos fracciones fueron atribuidas tentativamente a la glutenina y cuatro a la gliadina utilizando electroforesis de frontera en movimiento. Woychik *et al.* (1961) fueron los primeros en fraccionar claramente la gliadina en subunidades individuales. Ellos reportaron la presencia de  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - y  $\omega$ -gliadinas con subunidades adicionales en las  $\alpha$  y  $\beta$  gliadinas ( $\alpha 1-2$  y  $\beta 1-4$ , respectivamente (Villanueva, 2014).

Desde la conclusión de esta investigación, sabemos que las cuatro fracciones ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\omega$ ) tienen peso molecular entre 15 y 60 kilos Dalton y representan el 50% de las proteínas del gluten. A las gliadinas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  se les consideran ricas en azufre (23-35 Cys + residuos met / 100 000 g de proteína) y generalmente se encuentran en el



rango de 25 a 40 kilos Dalton (Eliasson y Larsson, 1993). Se asume que todas las gliadinas existen como monómeros globulares en estado natural debido a su baja densidad de carga y a enlaces disulfuros intramoleculares. La prolina, glicina y residuos de glutamina, que comprenden la mayoría de aminoácidos, se distribuyen de una manera que resulta generalmente en una estructura aperiódica; sin embargo, corridas cortas de una estructura  $\alpha$  helicoidal están disponibles para formarse en áreas pobres en estos tres aminoácidos, que resulta una estructura que pueden llegar a ser 33 %  $\alpha$  helicoidal (Lásztity, 1996).

Jones *et al.* (1959) identificaron primero dos fracciones de glutenina y cuatro fracciones de gliadina utilizando electroforesis de frontera en movimiento, mientras que Woychik *et al.* (1961) identificaron solamente una banda de glutenina utilizando electroforesis en gel. Por su parte, Nielsen *et al.* (1962) examinaron más la heterogeneidad del gluten dividiendo los enlaces disulfuros con ácido perfómico. El análisis de sedimentación demostró que la glutenina es un sistema polidisperso con masa molecular promedio entre 35 y 150 kilos Dalton (Villanueva, 2014).

Desde entonces, las investigaciones han demostrado que las dos fracciones principales de la glutenina son subunidades de bajo peso molecular y subunidades de alto peso molecular. El peso molecular estimado para los complejos poliméricos de la glutenina varía entre 100 y más de 10 millones (Wieser *et al.*, 2006). El peso molecular estimado de las subunidades de alto peso molecular varía entre 70 y 136, y para las subunidades de bajo peso molecular, entre 20 y 45 luego de la reducción de enlaces disulfuros intermoleculares (D'Ovidio y Macsi, 2004).

#### **3.3.4.2.1 Clasificación**

Las proteínas de la harina de trigo pueden clasificarse con base en: 1. Solubilidad y 2. Funcionalidad (De la Vega, 2009).

### 3.3.4.2.2 Con base en su solubilidad

Esta clasificación fue desarrollada por Osborne (1924) y consiste en una serie de extracciones consecutivas con: agua, solución de sal diluida, solución de alcohol y solución de ácidos o álcalis diluidos. Usando esta secuencia de separación, las proteínas se pueden clasificar en albuminas, globulinas, gliadinas y gluteninas respectivamente. La Tabla 3.1, muestra las proteínas presentes en las diferentes fracciones, además su papel biológico y funcional (Goesaert *et al.*, 2005).

Tabla 3.1. Proteínas presentes en las fracciones de Osborne.

Fracción Osborne	Comportamiento en Solubilidad	Composición	Papel biológico	Papel funcional
Albuminas	Extraíbles en agua	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas no del gluten (principalmente monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones de alcohol	Proteínas del gluten (principalmente gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Viscosidad a la masa/ extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (principalmente gliadinas polímeros de glutenina de alto peso molecular)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Elasticidad a la masa/ tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (polímeros de alto peso molecular) y proteínas no del gluten poliméricas (triticinas)	Proteínas de almacenamiento de la semilla, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas)	Variable

Una fracción importante de proteínas se excluye de las fracciones de Osborne por que no son extraíbles con ninguno de los disolventes utilizados.

Las fracciones de Osborne no proporcionan una clara separación entre las proteínas para poder diferenciarlas bioquímicamente, genéticamente o en funcionalidad durante la elaboración de pan.

Actualmente los nombres gliadinas y gluteninas son generalmente usados para indicar la relación bioquímica/funcionalidad de las proteínas en lugar de la exclusiva solubilidad de la fracción de Osborne (De la Vega, 2009).

El fraccionamiento de Osborne se usa todavía extensamente en estudios que relacionan la composición de proteínas con su funcionalidad, en la elaboración de pan. Además, debido a que este método de separación es relativamente simple, a menudo es muy usado como una etapa de separación inicial para obtener fracciones semiduras de proteína (Goesaert *et al.*, 2005).

#### **3.3.4.2.3 Con base en su funcionalidad**

Desde el punto de vista de la funcionalidad de las proteínas, se pueden distinguir dos grupos de proteínas de trigo. Proteínas pertenecientes al gluten con un desempeño muy importante en la elaboración del pan y proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño secundario en la elaboración del pan (De la Vega, 2009).

Las proteínas no pertenecientes al gluten representan entre un 15–20 % del total de las proteína del trigo, principalmente se encuentran en las capas externas del grano de trigo y en bajas concentraciones en el endospermo.

Estas proteínas son extraídas en soluciones de sales diluidas y por lo tanto se encuentran en las fracciones de Osborne de albúminas y globulinas. En su mayor parte son proteínas monoméricas, estructurales o fisiológicamente activas (enzimas). No obstante a estas proteínas también pertenecen un grupo secundario de proteínas poliméricas de almacenamiento, llamadas tritricinas, que pertenecen a la clase globulinas de las proteínas de almacenamiento de la semilla. Están relacionadas con

la mayoría de las proteínas de almacenamiento de legumbres y en otros cereales, como la avena y el arroz (Shewry y Halford, 2002; Shewry, Naiper, y Tatman, 1995). Estas proteínas se han encontrado en el residuo que queda después del fraccionamiento de Osborne. Su papel en la formación de pan no está muy claro (Veraverbeke y Delcour, 2002).

Las proteínas del gluten representan entre un 80–85 % del total de las proteínas del trigo, representan la mayor parte de las proteínas de almacenamiento. Pertenecen a la clase de prolaminas (Shewry y Halford, 2002; Shewry, Naiper, y Tatman, 1995). Las proteínas del gluten se encuentran en el endospermo del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Las proteínas de gluten son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Pueden distinguirse dos grupos funcionalmente distintos de proteínas de gluten: gliadinas que son monoméricas y gluteninas que son poliméricas y estas últimas se subclasifican en extraíbles y no extraíbles. La Tabla 3.2 muestra la clasificación de las proteínas con base en su funcionalidad.

Tabla 3.2. Clasificación de las proteínas de la harina de trigo con base en su funcionalidad.

<b>Clasificación de acuerdo a su funcionalidad</b>	<b>Ubicación en el grano</b>	<b>% en la harina de trigo</b>	<b>Proteínas monoméricas</b>	<b>Proteínas poliméricas</b>
Proteínas no pertenecientes al gluten	Principalmente en las capas externas del grano de trigo, y muy bajas concentraciones en el endospermo	15-20 %	Albuminas Globulinas	Triticinas
Proteínas pertenecientes al gluten	En el endospermo del grano de trigo	80-85 %	Gliadinas	Gluteninas

Las gliadinas y gluteninas se encuentran normalmente en una relación 50/50 en el trigo (De la Vega, 2009).

Las gliadinas representan un grupo sumamente polimórfico de proteínas monoméricas del gluten con pesos moleculares que varían entre 30,000 y 80,000. Bioquímicamente se han identificado tres tipos ( $\alpha$ ,  $\gamma$  y  $\omega$ ) (Shewry *et al.*, 1986; Veraverbeke y Delcour 2002). Estas son fácilmente solubles en soluciones de alcohol en agua y son por lo tanto los principales componentes en la fracción de gliadinas de Osborne (ver Tabla 3.1).

Por otra parte, las gluteninas son una mezcla heterogénea de polímeros con pesos moleculares que varían desde aproximadamente 80,000 hasta varios millones de kDa. Las gluteninas están entre las proteínas más grandes encontradas en la naturaleza (Wriley, 1996). El verdadero tamaño de las proteínas poliméricas más grandes no ha sido determinado con precisión por su enorme tamaño. Mientras que aquellas gluteninas de tamaño relativamente pequeño, son solubles en soluciones de alcohol al igual que las gliadinas y ello ha permitido conocer su peso molecular (De la Vega, 2009).

Una gran parte es soluble en ácidos diluidos. Sin embargo una parte importante no puede ser solubilizada sin cambiar su estructura. Esta importante insolubilidad de las gluteninas explica por qué a pesar de los esfuerzos significativos, de ya más de un siglo, se ha encontrado poca información sobre la estructura de las gluteninas.

Las gluteninas están constituidas por subunidades que están unidas a través de enlaces disulfuro. Estas subunidades de gluteninas pueden liberarse reduciendo enlaces disulfuro con agentes tales como el  $\beta$ -mercaptoetanol o ditioneitol. Las subunidades de glutenina están bioquímicamente relacionadas con las gliadinas y son solubles en soluciones de alcohol en agua.

Cuatro diferentes grupos de subunidades de gluteninas pueden ser distinguidos: subunidades de glutenina de alto peso molecular que van entre 65,000 y 90,000 kDa. Subunidades de bajo peso molecular tipos B, C y D. Con pesos moleculares entre 30,000 y 60,000 (De la Vega, 2009).

La Tabla 3.3, muestra la clasificación de las proteínas del gluten: gliadinas y gluteninas, con base en sus pesos moleculares.

Tabla 3.3. Clasificación de las proteínas del gluten, gliadinas y globulinas, con base en sus pesos moleculares.

<b>Proteínas del gluten</b>	<b>Rango pesos moleculares</b>	<b>Subunidades de gluteninas extraíbles</b>	<b>Tipos</b>
Gliadinas	30, 000-80, 000		A γ ω
Gluteninas	80, 000-varios millones	Alto peso molecular	
		Bajo peso molecular	B C D

Por otro lado, las proteínas del gluten también se pueden clasificar en: ricas en azufre, pobres en azufre (Shewry y Mifflin, 1985).

Las a y g gliadinas y las subunidades de glutenina de bajo peso molecular (tipos B y C) forman el primer grupo (ricas en azufre).

Las gliadinas tipo w y las subunidades de glutenina de bajo peso molecular tipo D forman el segundo tipo (pobres en azufre). (Shewry y Mifflin, 1985, Shewry y Tatham, 1997). La Tabla 3.4, muestra la clasificación de las gluteninas con base al contenido de azufre.

Tabla 3.4. Clasificación de las gluteninas con base al contenido de azufre.

	<b>Gliadinas</b>	<b>Subunidades de glutenina</b>
Ricas en azufre	$\alpha$ $\gamma$	B C
Pobres en azufre	$\omega$	D

Las proteínas que contienen cisteína con el grupo tiol disponible, representan aproximadamente sólo el 5% y son capaces de formar agregados de alto peso molecular unidos por enlaces disulfuro intermoleculares. Estas cisteínas tienen un papel clave en la funcionalidad de la masa. En tanto que aproximadamente el 95 % de los residuos de cisteína de los componentes de la proteína del gluten se encuentran en forma de disulfuro en la harina recién preparada (Shewry y Tatham, 1997, Grosh y Wieser, 1999). El grupo tiol puede catalizar reacciones de intercambio tiol–disulfuro durante el mezclado de la masa (De la Vega, 2009).

En la red de gluten, la elasticidad está determinada por los enlaces disulfuro intermoleculares entre las gluteninas, mientras que la viscosidad está determinada por la fracción monomérica de gliadinas, teniendo solamente enlaces disulfuro intramoleculares. El número y cantidad de subunidades de glutenina de bajo peso molecular (tipo B y C) están significativamente relacionadas con la extensibilidad de la masa (Andrews y Skerit, 1996).

### **3.3.4.3 Fuerza general del gluten (Sedimentación-SDS)**

Los parámetros asociados con la fuerza del gluten permiten determinar indirectamente el resultado de la interacción entre gliadinas y gluteninas al formar el gluten. La manera más rápida de determinar la fuerza general del gluten en muestras pequeñas de grano (1-5 gr) es utilizando el método de sedimentación de Zeleny (Zeleny, 1974), y la de sedimentación con SDS (siglas en inglés comúnmente usadas

para referirse al dodecil sulfato de sodio) que determina de manera muy general las propiedades de hidratación y grado de expansión de las proteínas, particularmente de las gluteninas, las cuales se relacionan con la fuerza y la extensibilidad del gluten. Estas pruebas se basan en la capacidad de expansión de las gluteninas en soluciones de isopropanol-ácido láctico (Zeleny) o en soluciones de SDS-ácido láctico (Axford *et al.*, 1979). Los valores altos de sedimentación corresponden a trigos con mayor fuerza (Peña *et al.*, 1990). El método de sedimentación con SDS en su versión «micro» (1gr de muestra) permite evaluar varios cientos de muestras en un día, por lo cual, es la prueba rápida más ampliamente usada para seleccionar por fuerza general de gluten en programas de mejoramiento de la calidad del trigo (Weegels *et al.*, 1996).

El criterio de la calidad que se sigue en la selección de líneas en etapa segregante es que las líneas seleccionadas como aceptables para la panificación deben combinar grano duro a semi-duro con valores medios a altos de contenido de proteína y de volumen de sedimentación. En contraste, son seleccionados como trigos galleteros aquellos que combinen endospermo suave (blando) con valores bajos de proteína y valores medios a bajos de sedimentación (Peña, 2002).

#### **3.3.4.4 Propiedades visco-elásticas del gluten**

Las masas de harina de trigo poseen una red de proteínas de gluten que confiere a la masa propiedades visco-elásticas (reológicas), de las cuales sus propiedades de amasado (tiempo óptimo de amasado, tolerancia al sobre amasado y tasa de debilitamiento de masa), resistencia o fuerza y extensibilidad de masa, son las más importantes. La medición directa de las propiedades reológicas de las masas nos permite conocer y validar los efectos de las combinaciones de gluteninas y gliadinas, además de que permite obtener información sobre parámetros que utiliza la industria, la cual finalmente determinara si la calidad de una variedad es adecuada para su proceso y su producto a elaborar (Peña, 2002).



Las propiedades del amasado de masa determinadas con el Mixógrafo de Swason (National Mfg., E.U.A.) es utilizado para seleccionar en etapas segregantes y avanzadas con relación a propiedades de amasado y fuerza del gluten. El Farinógrafo de Brabender (Brabender, Alemania), se utiliza para determinar propiedades similares a las que determina el Mixógrafo pero bajo condiciones de prueba, mejor controladas, iguales a las que usa la industria en el control de calidad de las harinas. El Mixógrafo es preferido sobre el Farinógrafo en la selección de líneas en etapas segregantes y avanzadas, debido a que el primero requiere mucho menor cantidad de muestra y permite determinar hasta 5 veces más el número de muestras que se pueden evaluar con el Farinógrafo (Peña, 2002).

### **3.3.5 Almidón**

Es el mayor constituyente del endospermo de trigo y por lo tanto, desempeña un rol preponderante en las propiedades de la harina y productos en base a ella. Desempeña diferentes roles en el proceso de panificación, es el sustrato para las amilasas que producen los azúcares para la fermentación de la levadura, sirve como reservorio para el agua absorbida, es un agente dispersor para el gluten y contribuye a las propiedades viscoelásticas de la masa (Hevia, 2002).

El almidón del endospermo del trigo contiene un 30% de amilasa y 70% de amilopectina. Después de un calentamiento en exceso, los almidones se embeben en agua y se hinchan, transformando su estructura parcialmente cristalina y con gránulos amorfos, en una estructura amorfa parcialmente disuelta. La amilopectina, debido a las ramificaciones, se hincha más rápidamente que la amilasa (Hevia, 2002).

#### **3.3.5.1 Forma y tamaño**

El endospermo de los trigos maduros contiene al menos dos tipos de gránulos de almidón: unos lenticulares grandes (10-35 $\mu$ m), tipo A y otros esféricos pequeños (1-10 $\mu$ m) (Létang *et al.*, 2001). La biosíntesis de ambos tipos ocurre en diferentes

estados de desarrollo de grano. Los primeros desde el inicio del llenado de grano, en cambio, los segundos muy pequeños, que se observan en los trigos sembrados en invierno, se forman en etapas más tardías (Hevia, 2002).

Los gránulos de tipo A contribuirían en un 70%, mientras que los más pequeños solo lo harían en un 30% al peso total del almidón en el endospermo, correspondiendo a los más pequeños el 90% del número total de gránulos. Los dos tipos de gránulos difieren en sus propiedades químicas y físicas y tienen diferentes usos. Se ha señalado que el contenido de lípidos es más alto en gránulos pequeños y el de amilasa superior en los gránulos más grandes, mientras otros indican que no hay diferencia en el contenido de amilasa. Los gránulos más pequeños gelifican a una temperatura más alta y tienen una entalpia de gelificación menor que los del tipo A (Hevia, 2002).

### **3.3.5.2 Almidón dañado**

Es un índice de calidad importante en la evaluación de los trigos duros y blandos. El almidón dañado es consecuencia de la molienda más que un objetivo de esta. La cantidad de almidón dañado varía con la dureza del grano. Es sustancialmente mayor en los trigos duros que en los más blandos. El almidón dañado absorbe más agua que el no dañado y es más susceptible a la acción de (-amilasa (Hevia, y López, 1996; Hevia *et al.*, 1999).

En panificación el almidón dañado es considerado uno de los factores importantes que afecta la textura, un exceso produce más flojas debido a que los gránulos dañados hinchados sueltan el agua cuando son atacados por la K-amilasa, dando a la masa una textura pegajosa y migosa. En cambio, con muy poco almidón dañado resulta pan de bajo volumen y textura pesada. También ha sido estudiado el efecto del almidón dañado en pastas, queques y tortillas (Lyn y Zuchajowska, 1996; Hevia y López, 1996; Yufeng y Flores, 2001).

### **3.4 Propiedades Físicas del grano de trigo**

#### **3.4.1 Tamaño y peso**

Estas dos variables normalmente están bastante ligadas. Es decir, en la medida que un objeto es de mayor tamaño su peso aumenta. No obstante, en productos biológicos como la semilla esto no es tan simple, como han demostrado los resultados. Tamaño del grano no es equivalente a masa del grano y menos aún a peso hectolitrico. Por otra parte, estudios han demostrado que el tamaño del grano de trigo está relacionado con el rendimiento de harina. La relación es compleja y pareciera que varía en los trigos de diferentes clases y origen. En general, a medida que el grano es más pequeño, el rendimiento y pureza de las harinas (ceniza y color) son inversamente afectados. Hay información contradictoria del tamaño y la calidad del producto final, no siendo necesariamente un tamaño grande una ventaja para la calidad. Es importante diferenciar entre los granos pequeños llenos y los chupados. Los últimos pueden ser consecuencia de heladas, inmadurez, estrés térmico, daño por fusarium sp. y otros factores ambientales y tienen un efecto de deterioro serio sobre la molienda y la calidad del producto final. Se ha observado una asociación entre el tamaño del grano y absorción de agua, la que no fue posible explicar basado en la dureza del grano (almidón dañado), contenido de proteína o fuerza en la masa (Morgan *et al.*, 2000).

#### **3.4.2 Peso hectolitrico**

El peso hectolitrico es una medida de la densidad, que se define como el peso por unidad de volumen bajo condiciones estándares de llenado y se expresa en Kg hL<sup>-1</sup>. Es habitualmente usado, junto a otras pruebas, como índice de calidad en la comercialización del trigo. Sin embargo, los resultados publicados por numerosos investigadores son contradictorios. Tkachuk *et al.* (1990) sugirieron que los granos de trigo con mayor densidad presentan los valores de peso hectolitrico más alto, granos más grandes, rendimiento de harina superior y las mejores propiedades reológicas y panaderas. En cambio, otros autores (Hevia *et al.*, 1986, 1996, 1999; Campbell *et al.*, 1999; Mladenov *et al.*, 2001) concluyeron que o existe una buena asociación entre

peso hectolitrico y la calidad industrial del trigo. Las limitaciones se deberían básicamente a la diversidad de forma de tamaño, rugosidad, contenido de humedad y niveles de madurez de los granos. A demás, no se ha observado relaciones claras entre estos parámetros y la calidad tecnológica (Hevia, 2002).

No existe suficiente información que pudiera relacionar la porosidad, densidad, peso hectolitrico del grano. Sin embargo, hay evidencias que permiten suponer un carácter complejo del peso hectolitrico y que depende tanto de la densidad del endospermo como de la eficiencia de empaquetamiento del grano al interior del recipiente de medida. Esta última sería función del tamaño, forma, textura, composición y contenido de humedad del grano (Hevia, 2002).

La porosidad del endospermo es otro factor que influye sobre la densidad del grano y que afecta la dureza del grano, susceptibilidad a quiebre molienda, resistencia a hongos, calidad funcional. La porosidad se relaciona con la matriz proteica, forma y tamaño de los gránulos de almidón e interacción almidón-matriz proteica y también con los espacios de aire que quedan entre la epidermis y el endospermo. Berman *et al.* (1996) indican que las dimensiones: largo, ancho, alto, volumen elipsoidal y el peso hectolitrico del grano explican alrededor del 66% de la variación del rendimiento de la harina (Hevia, 2002).

### **3.4.3 Propiedades mecánicas (textura) del grano de trigo**

La textura del grano, frecuentemente referida a hardness (dureza) y softness (blandura) tiene una tremenda influencia en la molienda, panificación y funcionalidad final. Bechtel y Wilson (1997) sugieren que la dureza es más el resultado de la senescencia del endospermo que la acumulación de un componente en particular del grano. Sin embargo, estudios han demostrado que existen espacios libres alrededor de los gránulos de almidón de los trigos blandos, pero no de los trigos duros, formando una discontinuidad en la matriz proteína-almidón. Esta discontinuidad proporciona una almohadilla a las fuerzas de cizalla durante la ruptura del grano,

permitiendo que materiales más blandos reduzcan más fácilmente el tamaño de partícula (Bettge y Craig, 2000).

El grado de adhesión que existe entre los gránulos de almidón y la matriz proteica que los rodea al interior del endospermo, es la explicación más probable de la variación de la textura del trigo (Hevia, 2002).

El material hidrosoluble actúa como un cemento entre los gránulos de almidón y la proteína de reserva a través de la interface de la membrana del amiloplasto. La interacción entre los gránulos de almidón y las membranas del amiloplasto es diferente en los trigos blandos y duros. Modificando las propiedades físicas o químicas de la membrana del amiloplasto es posible modificar la textura del endospermo. Una clase de sustancias capaz de interactuar con mencionada membrana son los pentosanos solubles en agua, modificando la dureza que influye en la calidad de uso final en trigos blandos, pero no en la de los duros (Bettge y Craig, 2000).

Durante la molienda los granos de trigo están expuestos a compresión y esfuerzo de corte, en beneficio de la calidad molinera y panadera, Gaines *et al.* (2000) recomiendan que en los cultivares de trigo se tienda a la uniformidad del tamaño y textura (dureza) de los granos (Hevia, 2002).

#### **3.4.4 Dureza del grano de trigo**

El grado de adhesión entre la proteína, el almidón y otros componentes depositados en las células del endospermo varía entre variedades de trigo. El grado de adhesión entre los componentes celulares del endospermo define que tan duro o blando (suave) es el endospermo de una variedad. Estas diferencias en la dureza del grano son de gran importancia ya que influyen de manera significativa en las propiedades de molienda de trigo (Miller *et al.*, 1982) así como en la calidad de las harinas obtenidas. La dureza de trigo es frecuentemente referida a la resistencia que opone

el grano al ser fracturado entre los rodillos del molino, o a la energía requerida para reducir el endospermo a harina o semolina. Tanto el tiempo de molienda como la energía consumida para obtener harina y la cantidad de almidón dañado durante la molienda son mayores en la molienda de trigo con endospermo duro que en la de trigo con endospermo blando (Peña, 2002).

La textura de grano se encuentra bajo control genético por genes localizados en el brazo corto del cromosoma 5D. Una proteína conocida como fibrilina de aproximadamente 15KD de peso molecular que se encuentra adherida a la superficie del granulo de almidón es relacionada con la dureza del grano; el almidón del trigo blando tiende a poseer una mayor cantidad de fibrilina que el trigo duro (Greenwell and Schofield, 1986). La presencia de puroindolinas también ha sido asociada a la textura del grano. La función real de la fibrilina y las puroindolinas en la dureza del grano aún no está bien determinada (Rahman *et al.*, 1991).

### **3.5 Mejoramiento genético del trigo**

El mejoramiento hereditario logrado en la planta de trigo aumenta los ingresos que pueden obtenerse con esta importante cosecha alimenticia. Es indudable que dicho mejoramiento se ha venido produciendo, en gran parte merced a los lentos procesos naturales, desde los tiempos remotos en que se inició su cultivo. Los trigos para pan que se cultivan en la actualidad representan la suma de todos esos cambios evolutivos. Sin embargo, estos cambios no son definitivos. En la actualidad, el hombre está modificando en forma sistemática la planta del trigo logrando mejoras en su rendimiento y calidad. Está obteniendo trigos más resistentes a la sequía, al acame, a los insectos y a las enfermedades (Poehlman, 2002).

El origen genético del trigo es de gran interés, pues constituye un ejemplo clásico de cómo pueden combinarse en la naturaleza en una serie poliploide especies íntimamente relacionadas entre sí. Las especies de *Triticum* y sus parientes más

cercanos se pueden dividir en grupos diploides, tetraploides y hexaploides, con números cromosómicos de  $2n = 14, 28$  y  $42$  respectivamente (Poehlman, 2002).

### **3.6 Objetivos del mejoramiento del Trigo**

El objetivo final de mejorador del trigo es obtener nuevas variedades que sean mejores en algunas características importantes. Este objetivo solo puede lograrse por medio de una selección cuidadosamente planeada y procedimientos de hibridación orientados hacia finalidades perfectamente establecidas y definidas claramente. El fitogenetista necesita saber que mejoras aumentaran la productividad y calidad de las variedades haciéndolas útiles y provechosas tanto para el productor como para el industrial. Por lo tanto, debe buscar materiales progenitores sobresalientes en dichas características, para combinarlas en una variedad superior. Los objetivos del mejoramiento del trigo no siempre son los mismos, ya que las condiciones ambientales que intervienen en su producción y las adversidades que limitan su rendimiento, son diferentes de una zona de producción a otra. Sin embargo, hay ciertos objetivos generales que tienen importancia en grandes zonas de producción. Entre estos se encuentran: *a)* el rendimiento de grano; *b)* la precocidad; *c)* la capacidad de los tallos para permanecer erectos; *d)* la resistencia a las enfermedades; *e)* la resistencia a los insectos y *g)* la calidad (Poehlman, 2002).

### **3.7 Productores**

Están principalmente concentrados en el rendimiento, resistencia a enfermedades y en satisfacer los requerimientos de calidad que les imponen los molineros, por lo cual van a obtener un beneficio monetario. El trigo como todo organismo vivo tiene una cierta interrelación con el ambiente, por lo que el éxito del cultivo no solo dependerá de los factores genéticos, de manejo, sino también, de los ambientales (Hevia, 2002).

### **3.8 Molineros**

Para los molineros el tenor de extracción es prioritario. Consideran sanidad del grano y sus características físicas como peso hectolitrico, tamaño del grano, peso, dureza y

rendimiento potencial de harina, más los parámetros de calidad que le podrían exigir los panaderos (Hevia, 2002).

### **3.9 Panadero (industria)**

La perspectiva del panadero está relacionada con las propiedades de la harina como contenido de proteína, absorción de agua, almidón dañado, tiempo de mezclado, tolerancia al mezclado, fermentación, volumen potencial de pan. Muchas de estas propiedades dependen de la cantidad de proteína. No obstante, el contenido de proteína por sí solo no es un buen indicador de la calidad panadera. Además, deben considerar los aspectos que son importantes en las propiedades organolépticas para lograr la comercialización del producto (Hevia, 2002).

### **3.10 Consumidor**

Para el consumidor el aspecto más relevante son las propiedades organolépticas y en segundo plano el alto valor nutritivo (Hevia, 2002).

Sin embargo, el proceso para lograr la calidad y rendimiento comienza con los mejoradores y productores de semilla, quienes tienen el trabajo más duro, pues deben satisfacer a todos los participantes de la cadena trigo-pan, es decir, a agricultores, molineros, panaderos y consumidores. Por otro lado, numerosos investigadores han demostrado que en la medida que se favorece los componentes de rendimiento de grano se deteriora la calidad del producto. En consecuencia, encontrar un buen equilibrio entre calidad y rendimiento es la clave del éxito en la cadena de trigo-pan. Un sistema para medir la calidad de trigo durante la comercialización, debería satisfacer los intereses de molineros (rendimiento de harina), panaderos (absorción de agua => rendimiento de pan) y consumidores (calidad de pan, volumen, color, porosidad) (Hevia, 2002).



## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de calidad industrial de trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo (CIMMYT) ubicado en el Km. 45 Carretera México-Veracruz, El Batán Texcoco Estado de México.

### 4.2 Genotipos usados

Se usaron 3 materiales del INIFAP (CEBAJ) que son F6, las cuales tienen en común el progenitor femenino y diferente progenitor masculino, todos son harineros de gluten fuerte con genoma AABBDD (Huerta y González, 2000).

- ENE/ZITA//BIMBO 6 CANADA
- CISNE/BIMBO 6 CANADA
- ENEIDA F94/BIMBO 6 CANADA

De la primera cruce se usaron 96 Líneas, de la segunda cruce 107 líneas y de la tercera 98 líneas, en total se usaron 301 líneas.

Se usaron 8 variedades comerciales como testigos, 7 harineros de gluten fuerte y 1 harinero de gluten suave, con 3 repeticiones por cada uno.

- Bimbo 6 canada
- V-8 (Ene/zita)
- V-56 (Cisne)
- Eneida F94
- Monarca F2007
- Josecha F2007
- V-23
- V-2 (Urbina S2007)

### **4.3 Registro del material**

En cuanto el laboratorio recibió el material se le asignó un número de laboratorio que inicio en 50451 a 50751 y a los testigos se les asigno desde el número 51108 a 51131.

### **4.4 Limpieza del material**

Cada muestra se pasó por una criba para su limpieza en cuanto a granos chicos, chupados, quebrados, picados y basura inerte, dejando así solo los granos grandes para su posterior análisis.

### **4.5 Análisis en el SeedCount**

Se analizaron todas las muestras donde se sacó el peso de mil semillas y color de grano. Para esto primero se tomaron 40 gramos aproximadamente y se metieron en el Filling Hopper (Tolva de llenado) se abre y cae el grano en un pequeño contenedor el cual se le paso una regla para dejarlo al ras, eso se pesó y se anotó en la bolsa de la muestra, después se vació el grano pesado en el contenedor del SeedCount de tal forma que quedaron bien distribuidos en los 4 cuadrantes ya que si el grano queda más distribuido en un cuadrante a la hora de leer la muestra dará error, se le oprimió la tecla enter para que escaneara y analizara la muestra, se le puso el número de muestra y los gramos que peso, una vez que termino de analizar la muestra se retiró el contenedor y se regresó la muestra a su bolsa correspondiente, la información obtenida se guardó en un archivo con el nombre y número de laboratorio del material.

### **4.6 Determinación de proteína, humedad y dureza del grano**

Para determinar estos 3 factores se utilizó el FOSS NIRSystems 6500, primero se depositaron 6 gr aproximadamente en un pequeño contenedor, después se colocaron en una capsula la cual se tapó y se apretó el grano de tal manera que no hubiera espacios entre los granos, una vez bien apretados se le puso una segunda tapa para que ajustara bien y no se movieran los granos, se colocó en el NIR y se le

dio el número de laboratorio de la muestra, tardo alrededor de 30 segundos en leer la muestra, una vez analizada, se retiró la capsula del NIR y se regresó la muestra a su bolsa correspondiente, los datos obtenidos se guardaron en la curva de trigos harineros la cual ya estaba ajustada en la computadora y después se vaciaron los datos obtenidos a una memoria USB.

#### **4.7 PSI's**

Esta prueba sirve para determinar la dureza pero en harina, cuando la dureza del grano sale del rango que debe de estar (<49) se hace esta prueba para reafirmar el valor o bien corregirlo que es lo que se busca, para realizar esta prueba primeramente se molieron 10 g de grano mismos que deben de quedar en harina, la harina resultante se homogenizo y se depositó en una charola de acero inoxidable, para esto se tomó el peso inicial de la charola y se anotó, se pudieron poner 3 muestras ya que el aparato que es un modelo RX-86 tipo SIEVE SHAKER con número de serie 11824 puede con 3 muestras a la vez, una vez anotados los pesos iniciales de las 3 charolas se le dieron 10 minutos para que el aparato que hace movimientos circulares y así se pudiese separar la harina gruesa o la sémola de la harina fina, una vez terminados los 10 minutos se pesó cada una de las charolas con la harina fina y se anotó su peso, para sacar la dureza se hizo una resta el peso final de cada charola menos el peso inicial y así se sacó la dureza de grano con harina para corregir algún dato que haya salido mal y este fuera del rango en el FOSS NIRSystems 6500.

#### **4.8 Determinación del peso y color de grano**

Se determinó el color de grano, esto se hizo a simple vista según el tipo de grano que se tenía y el peso se determinó pesando las muestras en una báscula, el peso era importante para que a la hora de que se acondicionó el grano para moler se determinó qué cantidad de agua se le iba a agregar para una mejor molienda de acuerdo al peso.

#### **4.9 Acondicionamiento de la muestra para moler**

Aquí solo se le agregó la cantidad de agua necesaria al grano para poder molerla en base a la dureza del grano, la humedad que tenía y a que humedad se iba a moler, el peso del grano a acondicionar y el peso hectolitrico, todas estas variantes se tomaron en cuenta para determinar los mililitros de agua que se le agregaron a la muestra y así tuviera la humedad necesaria para poder molerse.

#### **4.10 Molienda**

Para poder hacer la molienda se usó un molino QUADRUMAT SENIOR, lo primero que se hizo fue pesar el grano ya que después de haberle añadido agua, el peso aumento, se anotó el peso y se pasó a una primera sección que es la tolva de llenado de ahí se abre y el grano comienza a triturarse una vez triturado todo el grano se le dan 3 minutos para poder separar las partes trituradas del grano, hay cuatro recipientes donde cae, dos donde cae el grano quebrado 1 y 2, otro recipiente donde cae la harina de reducción y otro recipiente donde cae el salvado, cuando faltaban 30 segundos aproximadamente la harina que cae en el recipiente de reducción se pasó por otro molino para poder reducir aún más el tamaño de las partículas, una vez terminado se junta la harina de la sección de quebrado 1 y 2 se pesó y se anotó el dato, la harina resultante se depositó en un aparato llamado planchester con mallas 8XX para cernir la harina, después se pesó la harina de la sección de reducción se anotó el peso y se depositó en el planchester, también se pesó el salvado que resultó y este se desechó ya que no serviría más, una vez que estaban las harinas de la sección de reducción y de quebrado en el planchester se aseguró bien y se le dio dos minutos para que se estuviera cerniendo la harina, una vez que terminó de cernir tenemos dos harinas una que es el granillo este se pesó y se anotó el dato y se desechó ya que no nos serviría más, tenemos otra harina que es refinada se pesó y se anotó el dato esta se guardó en una bolsa ziploc sin que tuviese nada de aire y se le anotó su número de laboratorio, esta harina es la que se utilizó para pruebas posteriores como determinación proteína y humedad de harina, sedimentos, y determinación del gluten.

#### **4.11 Determinación de proteína y humedad de la harina**

Para poder determinar la proteína y humedad se analizó en el PERTEN el cual con una sola muestra determino ambos valores de manera rápida y sencilla, primeramente se homogenizó la harina refinada resultante de la molienda, después se tomaron 5 gramos de harina aproximadamente, se depositaron en un recipiente se le dio una pasada con una tipo regla para que quede bien uniforme y se puso en el PERTEN se le anotó el número de laboratorio y se le oprimió la tecla enter para que analizara la muestra, el aparato tardo de 15 a 20 segundos aproximadamente y nos dio ambos valores, esta prueba es rápida y sencilla.

#### **4.12 Sedimentación (SDS)**

Esta técnica establece el método para determinar la calidad de la harina de trigo por el ensayo de sedimentación.

##### **4.12.1 Aparatos utilizados**

Cilindro de vidrio graduado, con tapa esmerilada, de 100 cm<sup>3</sup> de capacidad. El espacio de graduación del cilindro debe de tener una distancia de 180 a 185 mm, entre la marca cero en el fondo del cilindro y 100 mm en la cima o parte superior.

**Reloj cronométrico**, medidor del tiempo.

**Maquina mezcladora (VORTEX GENIE 2)**, adecuada ajustada a 40 movimientos por minuto.

**Balanza analítica**, sensible al 0.1 mg.

#### **Reactivos**

**Solución entre el 90-100% del alcohol isopropílico.**

**Agua destilada**, con un contenido de 4 mg de bromofenol azul por litro.

**Solución 2.78 N de ácido láctico.** Se Diluyeron 250 cm<sup>3</sup> de ácido láctico del 85% (reactivo para el análisis) a 1000 cm<sup>3</sup> con agua destilada. Se dejó Digerir la solución acida (valiéndose de un condensador de reflujo), por un tiempo de seis horas, sin que esta perdiera su volumen.

**Solución 0.5 N de ácido láctico con solución al 20% de alcohol isopropílico.** Se Mezclaron 180 cm<sup>3</sup> de la solución (**Solución 2.78 N de ácido láctico**) con 200 cm<sup>3</sup> de la solución (**Solución entre el 90-100% del alcohol isopropílico**) y se completó a 1000 cm<sup>3</sup> con agua destilada. Se Dejó en reposo por 48 horas antes de ser usada.

#### **4.12.2 Preparación de la muestra**

Las muestras para el ensayo estaban acondicionadas en recipientes herméticos, limpios y secos (bolsas ziploc) y completamente sin espacios de aire.

Se homogenizó la muestra moviendo varias veces la bolsa ziploc que la contenía.

#### **4.12.3 Procedimiento**

La determinación se efectuó por duplicado sobre la misma muestra preparada.

Se pesó 1 gr de la muestra preparada y se vació a la probeta, se le añadieron 50 cm<sup>3</sup> de agua destilada que contenía bromofenol azul y se tapó; se mezcló la harina y agua con movimientos horizontales, longitudinales alternos, de derecha a izquierda en un espacio aproximado de 20 cm en cada dirección; el movimiento se efectuó 20 veces en un tiempo de 5 segundos.

Se colocó el cilindro graduado y su contenido en una máquina mezcladora, se dejó agitar por cinco minutos. Se sacó el cilindro y su contenido de la máquina y se le añadió 25 cm<sup>3</sup> de la Solución 0.5 N de ácido láctico con solución al 20% de alcohol isopropílico, se volvió a poner en la máquina el cilindro y se agitó por otros cinco

minutos. Se sacó el cilindro de la máquina, se colocó sobre una mesa en posición vertical y se dejó reposar por cinco minutos.

#### **4.13 Determinación de gluten**

Esta norma establece el método para determinar el contenido de gluten en harinas de trigo, lo cual sirve para establecer la calidad de las harinas en sus diferentes usos.

##### **4.13.1 Terminología**

**Gluten.** Es el producto plástico-elástico compuesto principalmente por las proteínas glutenina y gliadina, insolubles en agua y extraídas mediante procedimientos normalizados.

**Glutenina.** Es la porción de gluten (glutelina) a la que se le atribuye el papel de dar firmeza y fuerza a la harina; se encuentra en las semillas de la gramínea Junto con el almidón.

**Gliadina.** Es la porción del gluten (prolamina) que actúa como el adhesivo y mantiene unidas las partículas de glutenina.

##### **4.13.2 Determinación del gluten húmedo**

Se preparó de la harina de trigo una masa con solución de cloruro de sodio. Aislar el gluten de la masa mediante lavado salino y agua, luego secar y pesar el residuo.

###### **4.13.2.1 Instrumental**

Cápsula de porcelana o de otro material inalterable a las condiciones del ensayo.

Mortero de porcelana, barnizado interiormente, o de metal esmaltado de 10 a 15 cm de diámetro.

Espátula de cuerno de 18 a 20 cm de longitud.

Bureta de 10 cm<sup>3</sup> con graduaciones al 0.1 cm<sup>3</sup>.

Extractor de gluten, con disco excéntrico y mecanismo tensor para gasa de seda; el disco debe dar 80 revoluciones por minuto.

Cronómetro, capaz de medir pequeños intervalos de tiempo.

Recipiente para agua, botella tubular con gasto regulable (cantidad de fluido que sale por un orificio en unidad de tiempo).

Marco de madera, de 30 por 40 cm, revestido de gasa para sémola No. 56.

Placa de vidrio ligeramente deslustrada, de 40 por 40 cm.

Guantes de caucho delgado y de superficie lisa.

Prensa para gluten, sistema Berliner, cuya distancia entre placas debe ser de 2.4 mm. Para comprobar la distancia entre las placas, calentar suavemente un trozo de cera o de parafina, aplastar en la prensa y medir el espesor de la placa obtenida, valiéndose de un tornillo micrométrico.

Balanza analítica, sensible al 0.01 g.

#### **4.13.2.2 Reactivos**

Solución al 2% de cloruro de sodio (pH 6.2). Se deben disolver 200 g de cloruro de sodio químicamente puro; 7.54 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> y 1.40 g de Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, en 10 litros de agua destilada. La solución debe prepararse cada día que se use.

Solución 0.001 N de yodo, debidamente estandarizada.



#### **4.13.2.3 Preparación de la muestra.**

Las muestras para el ensayo estaban acondicionadas en bolsas ziplot sin ningún espacio de aire

Se homogeniza la muestra invirtiendo varias veces el recipiente que la contiene.

#### **4.13.2.4 Procedimiento**

La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.

Se pesaron 10 g de la muestra de la harina refinada y se vació cuidadosamente al mortero. Se le agregaron gota a gota 5.5 cm<sup>3</sup> de la solución de cloruro de sodio, se removió continuamente la harina pegada en las paredes del mortero con la espátula, se comprimió la mezcla con la espátula, esto se hizo con sumo cuidado para que no se perdiera nada de harina, incorporando la maza pegada a la pared del mortero y así se formó una bola de masa.

Para homogenizar la masa, se enrolló con la palma de la mano sobre la placa de vidrio deslustrada, hasta que tuvo una longitud de 7 a 8 cm, luego se le volvió a dar forma de bola y se repitió el amasado de la misma manera 5 veces. Cuando se efectuó la homogenización se usó un guante de caucho, esto con el fin de proteger la masa del calor y la transpiración.

El lavado del gluten se hizo con el Glutomatic (Marca parten), se colocó la bola de masa sobre la gasa de seda, se mojó la masa con un ligero chorro de agua y se colocó en su sitio el disco excéntrico. El lavado duro 10 minutos aproximadamente tiempo en el cual se gastó 400 ml aproximadamente del chorro de agua.

Después del lavado con el Glutomatic siguió un lavado a mano, el cual no duro más de 2 minutos aproximadamente. Se consideró terminada la extracción del gluten cuando el agua del lavado ya no llevaba almidón, lo cual se comprobó usando la solución 0.001 N de Yodo.

Para poder desprender de la bola de gluten la mayor parte de la solución del lavado adherente, se tomó a esta con la punta de los dedos de la mano y se sacudió 3 veces brevemente con fuerza. Después se estiró suavemente el gluten en la lámina delgada, manteniéndolo entre los dedos, se llevó a la prensa y se cerró esta. Se abrió a los 5 segundos, se llevó la lámina del gluten al sitio seco sin que se deformara. Se prensó nuevamente y se hizo esta operación 15 veces, se secó bien la superficie de vidrio después de cada prensado.

Se pesó el gluten con aproximación al 0.01 g.

#### **4.13.2.5 Cálculos**

El contenido de gluten húmedo en la harina de trigo se calculó multiplicando por 10 el peso obtenido, y se expresó en porcentaje de masa.

#### **4.13.3 Determinación de gluten seco**

##### **4.13.3.1 Instrumental**

Estufa con regulador de temperatura ajustado a  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

##### **4.13.3.2 Procedimiento**

La bola de gluten que se obtuvo al final del proceso de la determinación de gluten húmedo, esta se introdujo a la estufa previamente calentada a  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , se calentó la bola de gluten por un tiempo de 24 horas, después se enfrió en el desecador y se pesó.

Se repitió el calentamiento por periodos de 2 horas, enfriando y pesando, hasta que no hubo disminución de la masa.

Este valor corresponde al gluten.

#### 4.13.3.3 Cálculos

El contenido de gluten seco en la harina de trigo se calculó multiplicando por 4 el peso obtenido y se expresó en porcentaje de masa.

#### 4.14 Cálculos para determinar el número de genes por medio de la $\chi^2$

Para obtener los resultados se utilizó la  $\chi^2$  cuya fórmula es  $\chi^2 = \sum (F_o - F_e)^2 / F_e$ , donde:

$\Sigma$ = Sumatoria

**F<sub>o</sub>**= Factor observado

**F<sub>e</sub>**= Factor esperado

También se usaron histogramas para poder determinar el número de genes aditivos que posee cada cruce para las variables que se utilizaron.

Para este procedimiento primero se seleccionó cual variable se iba a analizar y después se le asignó un rango el cual se hizo por auto criterio, con la ayuda del programa Excel se seleccionó de la barra de herramientas la función de datos y análisis de datos, se eligió hacerlo con histogramas se le pidió que creara un gráfico en una hoja nueva, en el rango de entrada se introdujeron los datos obtenidos en el laboratorio de la variable a analizar y en el rango de clases se introdujeron los datos del rango que se usó, de ahí se le dio aceptar y nos creó un gráfico y una tabla con la clase y la frecuencia que son los datos que utilizamos para la formula en la  $\chi^2$ , donde el Factor observado es la frecuencia que se obtuvo, para el Factor esperado se usó la frecuencia de un Di híbrido (6.25, 37.5, 50, 6.25), Tri híbrido (1.6, 9.6, 24, 32, 24, 9.6, 1.6) y Tetra híbrido (0.4, 3.1, 10.9, 21.8, 27.3, 21.8, 10.9, 3.1, 0.4) de efecto

aditivo, una vez teniendo estos datos se sustituyen en la formula y si al final la suma de los resultados nos daba menor que el dato de 0.05 en la tabla de la  $\chi^2$  se aceptaba la hipótesis que la crusa para la variable seleccionada poseía la cantidad de genes de efecto aditivo (2, 3 o 4).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las poblaciones F6 de trigos harineros se analizaron por medio de la  $\chi^2$  para estimar el número de genes que determinan cada una de las variables analizadas:

### 5.1 Gluten húmedo

#### 5.1.1 Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.1 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el gluten húmedo en la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada, está determinado por cuatro genes ya que la sumatoria de la prueba de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para una significancia del 0.05.

Tabla 5.1 Determinación del número de genes involucrados en el gluten húmedo para la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 8 GL		
				0.001	0.01	0.05
<29	0	0.4	0.400			
32	1	3.1	1.423			
35	7	10.9	1.395			
38	30	21.8	3.084			
41	33	27.3	1.190			
44	18	21.8	0.662			
47	4	10.9	4.368			
50	3	3.1	0.003			
>50	0	0.4	0.400			
			12.926	26.124	20.09	15.507

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados.

En la Figura 5.1 se muestra el resultado de la variable de gluten húmedo de la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada, de esta son 96 líneas de las cuales una línea obtuvo el 32%, siete líneas obtuvieron el 35%, 30 líneas obtuvieron el 38%, 33 líneas obtuvieron el 41%, 18 líneas obtuvieron el 44%, cuatro líneas obtuvieron el 47% y tres líneas obtuvieron el 50% de gluten húmedo. Estos resultados nos indican que

estas líneas son buenas en cuanto al % de gluten húmedo de acuerdo a Vázquez (2009) que dice que si el porcentaje de gluten húmedo está por encima de 30%, se considera que es un valor de buena calidad.

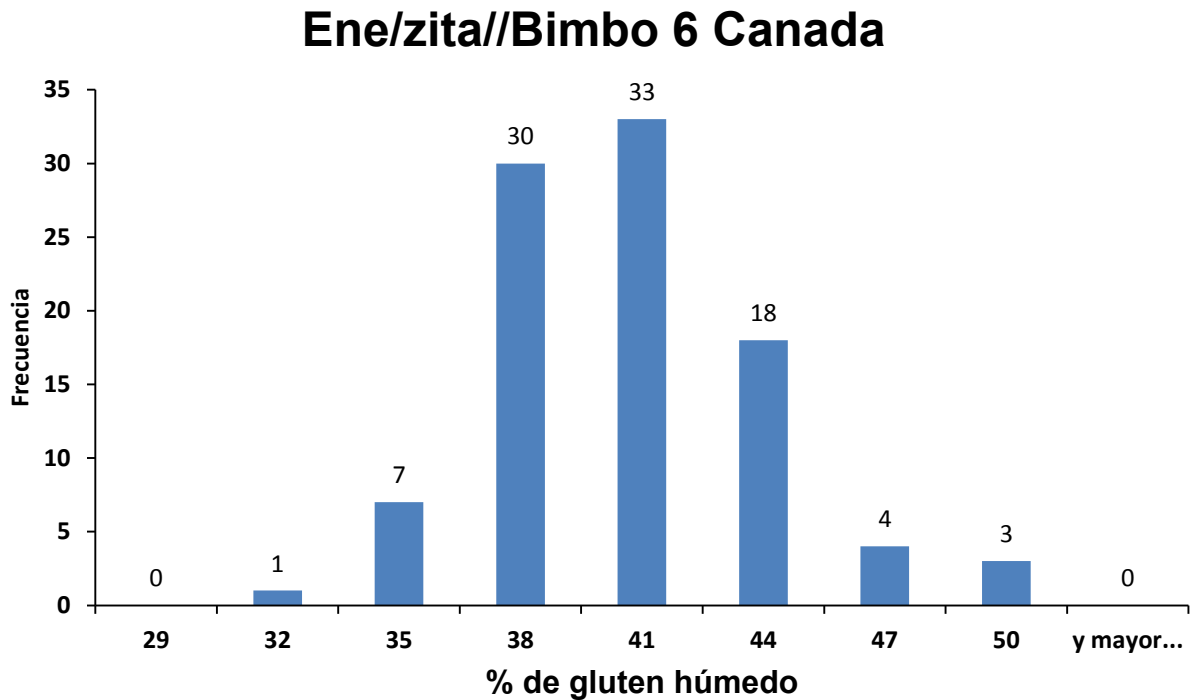


Figura 5.1. Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten húmedo de la craza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

#### 5.1.2 Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.2 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el gluten húmedo en la craza Cisne/Bimbo 6 Canada, está determinado por tres genes, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.2 Determinación del número de genes involucrados en el gluten húmedo para la Cruza Cisne/Bimbo 6 canada.

Rangos	FO	FE	Prueba	Nivel de significancia a 6 GL
--------	----	----	--------	-------------------------------

			de $\chi^2$	0.001	0.01	0.05
<32	0	1.6	1.6			
35	8	9.6	0.266			
38	31	24	2.041			
41	32	32	0			
44	26	24	0.166			
47	8	9.6	0.266			
>47	2	1.6	0.1			
			4.441	22.46	16.81	12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados.

En la Figura 5.2 se muestra el resultado de la variable de gluten húmedo de la cruce Cisne/Bimbo 6 Canada, de esta son 107 líneas de las cuales ocho líneas obtuvieron el 35%, 31 líneas obtuvieron el 38%, 32 líneas obtuvieron el 41%, 26 líneas obtuvieron el 44%, ocho líneas obtuvieron el 47% y dos líneas obtuvieron un resultado mayor al 47% de gluten húmedo.

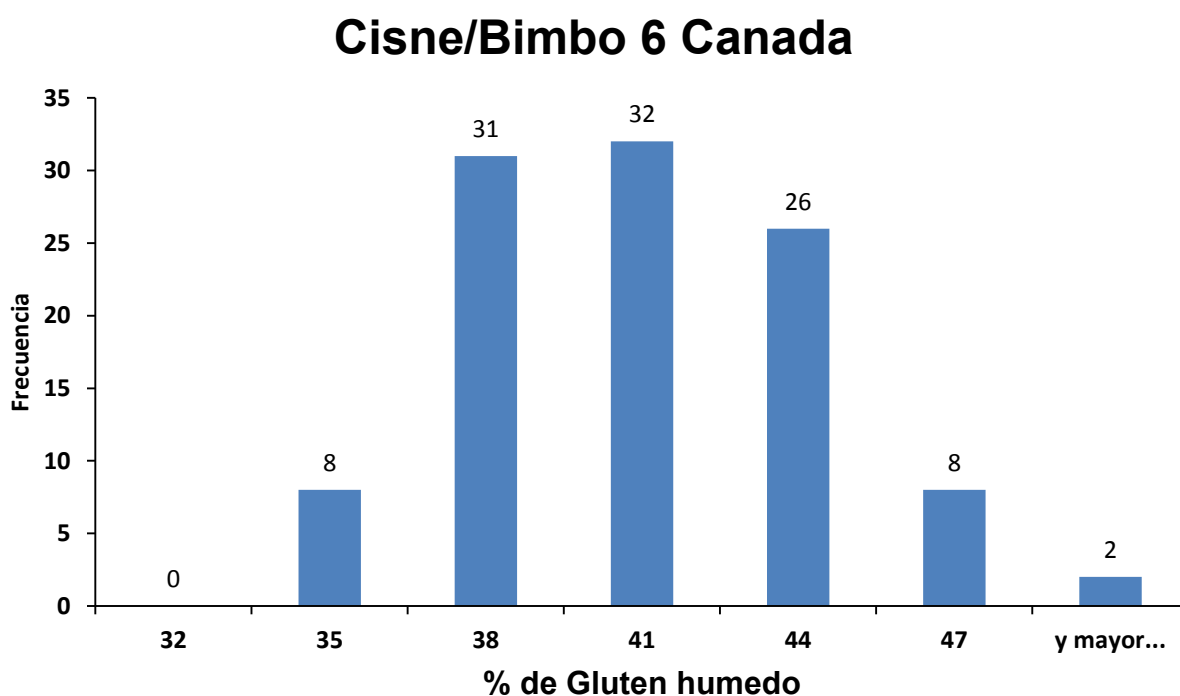


Figura 5.2. Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten húmedo de la cruce Cisne/Bimbo 6 Canadá.

### 5.1.3 Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.3 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el gluten húmedo en la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada, está determinado por tres genes aditivos, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.3 Determinación del número de genes involucrados en el gluten húmedo para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05
<33.5	1	1.6	0.225			
36	13	9.6	1.204			
38.5	25	24	0.042			
41	24	32	2			
43.5	23	24	0.042			
46	7	9.6	0.704			
>46	5	1.6	7.225			
			11.442	22.46	16.81	12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados.

En la Figura 5.3 se muestra el resultado de la variable de gluten húmedo de la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada, de esta son 98 líneas de las cuales una línea obtuvo el 33.5%, 13 líneas obtuvieron el 36%, 25 líneas obtuvieron el 38.5%, 24 líneas obtuvieron el 41%, 23 líneas obtuvieron el 43.5%, siete líneas obtuvieron el 46% y cinco líneas obtuvieron un resultado mayor al 46% de gluten húmedo.



## Eneida F94/Bimbo 6 Canada

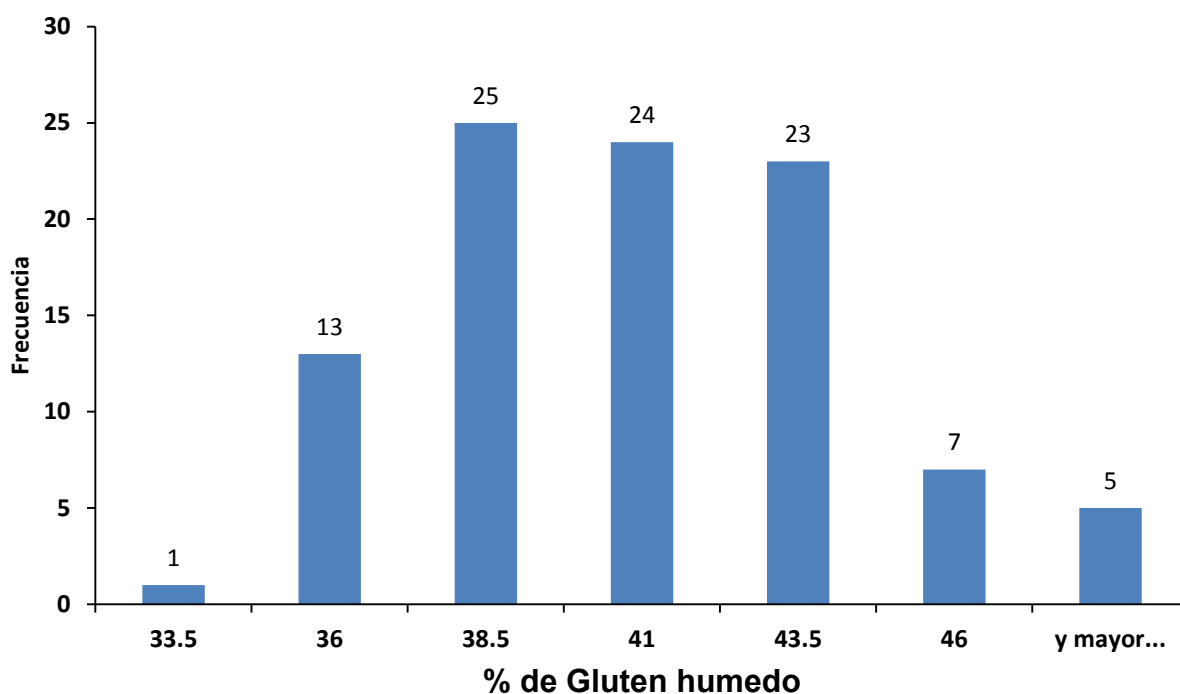


Figura 5.3 Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten húmedo de la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

## 5.2 Gluten seco

### 5.2.1 Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.4 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el gluten seco en la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada, está determinado por tres genes, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.4 Determinación del número de genes involucrados en el gluten seco para la Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05
<10.5	1	1.6	0.225			
11.5	5	9.6	2.204			

12.5	29	24	1.042		
13.5	27	32	0.781		
14.5	25	24	0.042		
15.5	5	9.6	2.204		
>15.5	4	1.6	3.6		
			10.098	22.46	16.81 12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.4 se muestra el resultado de la variable de gluten seco de la cruz Ene/zita//Bimbo 6 Canada, de esta son 96 líneas de las cuales 1 línea obtuvo el 10.5%, cinco líneas obtuvieron el 11.5%, 29 líneas obtuvieron el 12.5%, 27 líneas obtuvieron el 13.5%, 25 líneas obtuvieron el 14.5%, 5 líneas obtuvieron el 15.5% y cuatro líneas obtuvieron un resultado mayor al 15.5% de gluten seco. Para esta variable se observa que se reduce aproximadamente en una tercera parte de acuerdo al gluten húmedo, estos resultados se relacionan de acuerdo a Vázquez (2009) que observa que el % de gluten seco se reduce en una tercera parte después del proceso de secado de gluten.

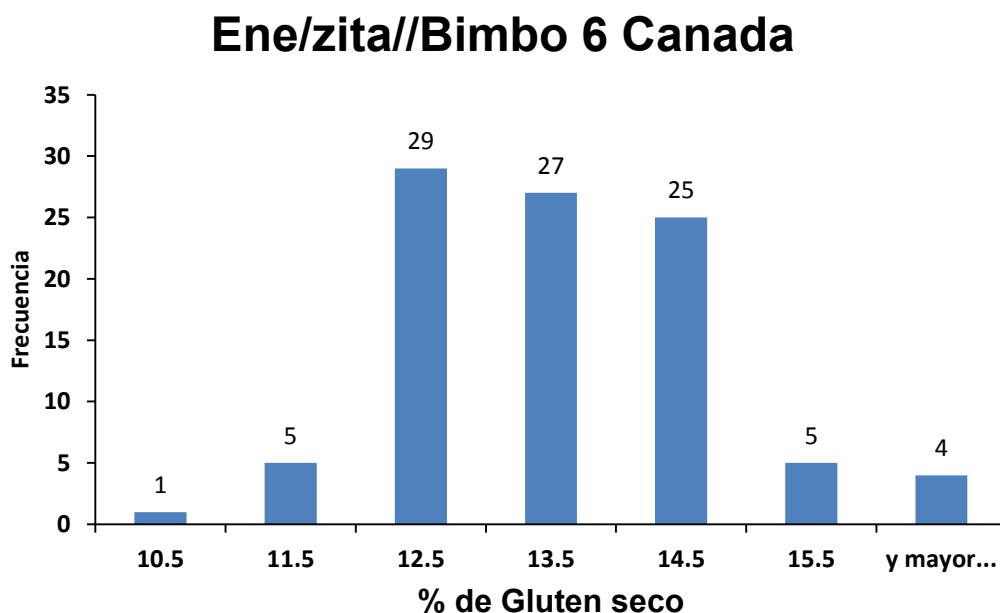


Figura 5.4 Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten seco de la cruz Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

### 5.2.2 Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.5 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el gluten seco en la cruza Cisne/Bimbo 6 Canada, está determinado por tres genes, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.5 Determinación del número de genes involucrados en el gluten seco para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05
<10.5	0	1.6	1.6			
11.5	8	9.6	0.266			
12.5	34	24	4.166			
13.5	29	32	0.281			
14.5	26	24	0.166			
15.5	9	9.6	0.037			
>15.5	1	1.6	0.225			
			6.743	22.46	16.81	12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.5 se muestra el resultado de la variable de gluten seco de la cruza Cisne/Bimbo 6 Canada, de esta son 107 líneas de las cuales ocho líneas obtuvieron el 11.5%, 34 líneas obtuvieron el 12.5%, 29 líneas obtuvieron el 13.5%, 26 líneas obtuvieron el 14.5%, nueve líneas obtuvieron el 15.5% y una línea obtuvo un resultado mayor al 15.5% de gluten seco.

## Cisne/Bimbo 6 Canada

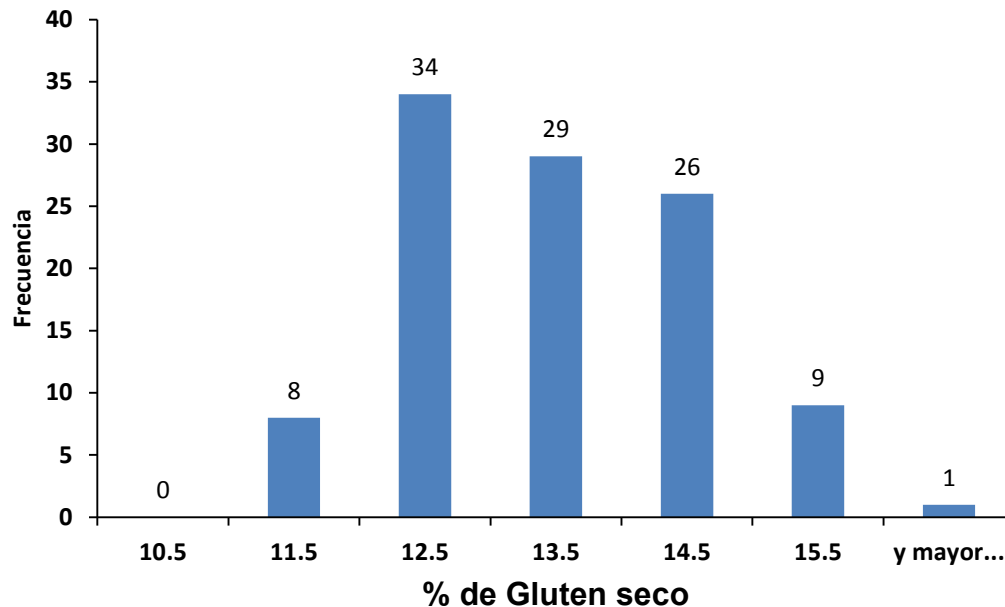


Figura 5.5 Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten seco de la crucea Cisne/Bimbo 6 Canada.

### 5.2.3 Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.6 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el carácter gluten seco en la crucea Eneida F94/Bimbo 6 Canada, está determinado por tres genes de efecto aditivos, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.6 Determinación del número de genes involucrados en el carácter gluten seco en la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05
<10.6	0	1.6	1.6			
11.6	4	9.6	3.266			
12.6	24	24	0			
13.6	30	32	0.125			
14.6	26	24	0.166			

15.6	10	9.6	0.016			
>15.6	4	1.6	3.6			
			8.775	22.46	16.81	12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.6 se muestra el resultado de la variable de gluten seco de la cruz a Eneida F94/Bimbo 6 Canada, de esta son 98 líneas de las cuales cuatro líneas obtuvieron el 11.6%, 24 líneas obtuvieron el 12.6%, 30 líneas obtuvieron el 13.6%, 26 líneas obtuvieron el 14.6%, 10 líneas obtuvieron el 15.6% y cuatro líneas obtuvieron un resultado mayor al 15.6% de gluten seco.

### Eneida F94/Bimbo Canada

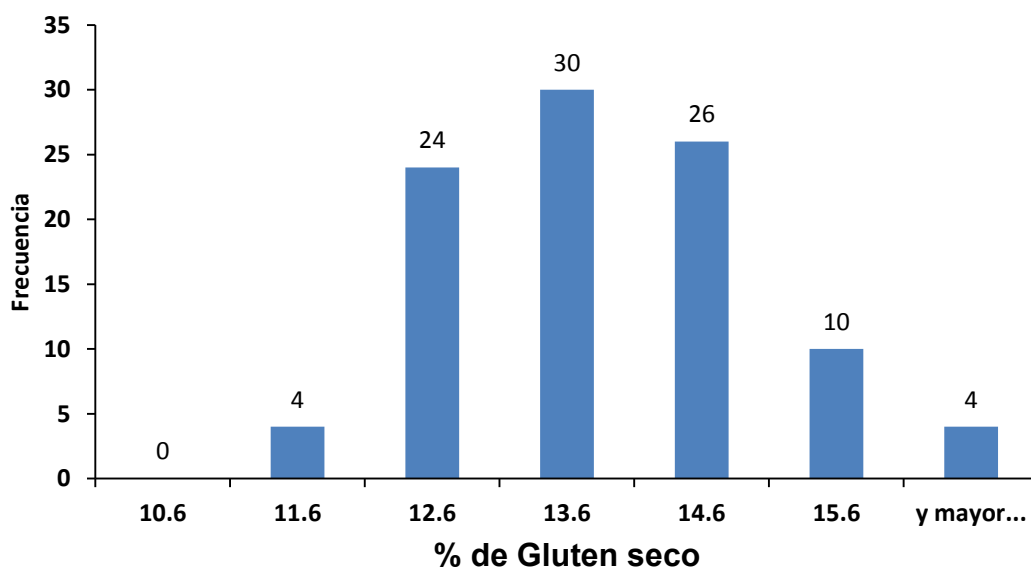


Figura 5.6 Frecuencia de genotipos de acuerdo al % de gluten seco de la cruz a Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

### 5.3 Índice de Gluten

#### 5.3.1 Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.7 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis de que el índice de gluten de la cruz a Ene/zita//Bimbo 6 Canada, está

determinado por dos genes aditivos ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.7 Determinación del número de genes involucrados en el índice de gluten para la Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 3 GL		
				0.001	0.01	0.05
<73	8	6.25	0.49			
84	41	37.5	0.33			
95	42	50	1.28			
>95	5	6.25	0.25			
			2.35	16.266	11.345	7.815

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.7 se muestra el resultado de la variable índice de gluten de la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada, de esta son 96 líneas de las cuales ocho líneas obtuvieron el 73%, 41 líneas obtuvieron el 84%, 42 líneas obtuvieron el 95% y cuatro líneas obtuvieron un resultado mayor al 95% de índice de gluten.

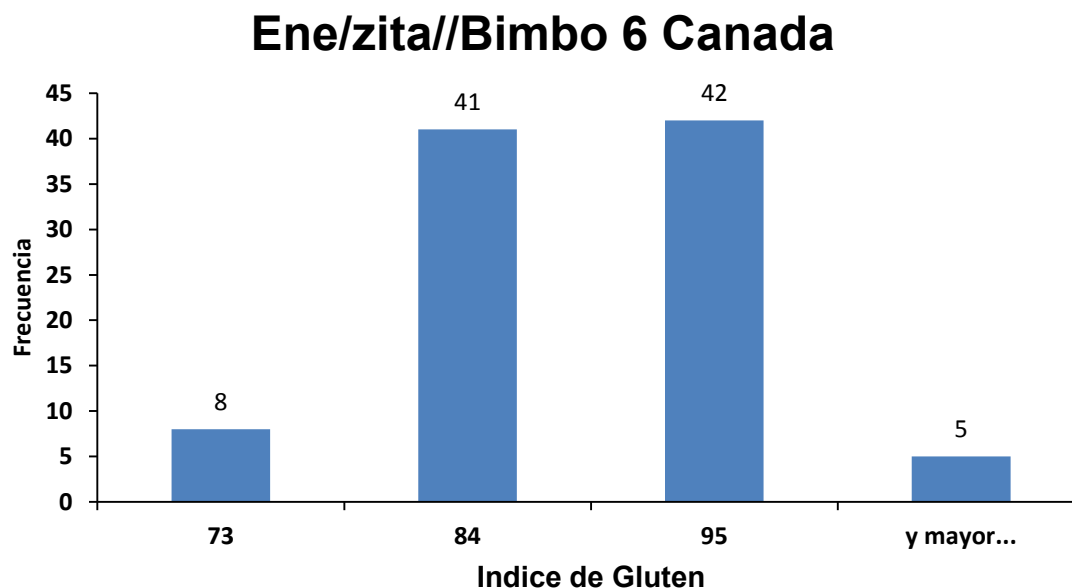


Figura 5.7 Frecuencia de genotipos de acuerdo al índice de gluten de la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

### 5.3.2 Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.8 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el índice de gluten de la craza Cisne/Bimbo 6 Canada, está determinado por dos genes de efecto aditivo, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.8 Determinación del número de genes involucrados en el índice de gluten para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 3 GL		
				0.001	0.01	0.05
<69	9	6.25	1.21			
82	29	37.5	1.93			
95	62	50	2.88			
>95	7	6.25	0.09			
			6.11	16.266	11.345	7.815

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.8 se muestra el resultado de la variable de índice de gluten de la craza Cisne/Bimbo 6 Canada, de esta son 107 líneas de las cuales nueve líneas obtuvieron el 69%, 29 líneas obtuvieron el 82%, 62 líneas obtuvieron el 95% y siete líneas obtuvieron un resultado mayor al 95% de índice de gluten.

## Cisne/Bimbo 6 Canada

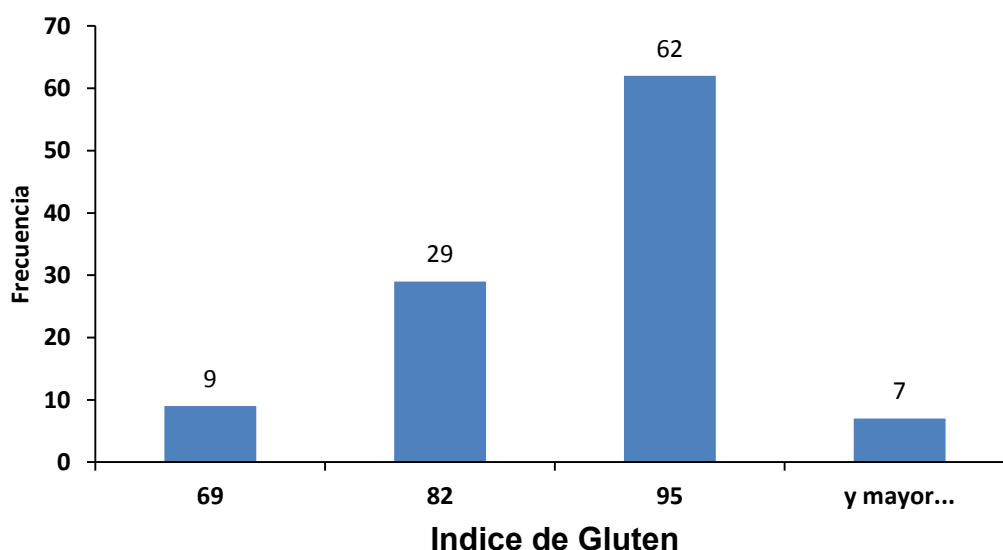


Figura 5.8 Frecuencia de genotipos de acuerdo al índice de gluten de la cruce Cisne/Bimbo 6 Canada.

### 5.3.3 Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.9 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que índice de gluten de la cruce Eneida F94/Bimbo 6 Canada, está determinado por dos genes aditivos ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.9 Determinación del número de genotipos involucrados en el índice de gluten para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 3 GL		
				0.001	0.01	0.05
<81	10	6.25	2.25			
89	25	37.5	4.17			
97	55	50	0.5			
>97	8	6.25	0.49			
			7.41	16.266	11.345	7.815

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados



En la Figura 5.9 se muestra el resultado de la variable de índice de gluten de la cruzada Eneida F94/Bimbo 6 Canada, de esta son 98 líneas de las cuales 10 líneas obtuvieron el 81%, 25 líneas obtuvieron el 89%, 55 líneas obtuvieron el 97% y ocho líneas obtuvieron un resultado mayor al 97% de índice de gluten.

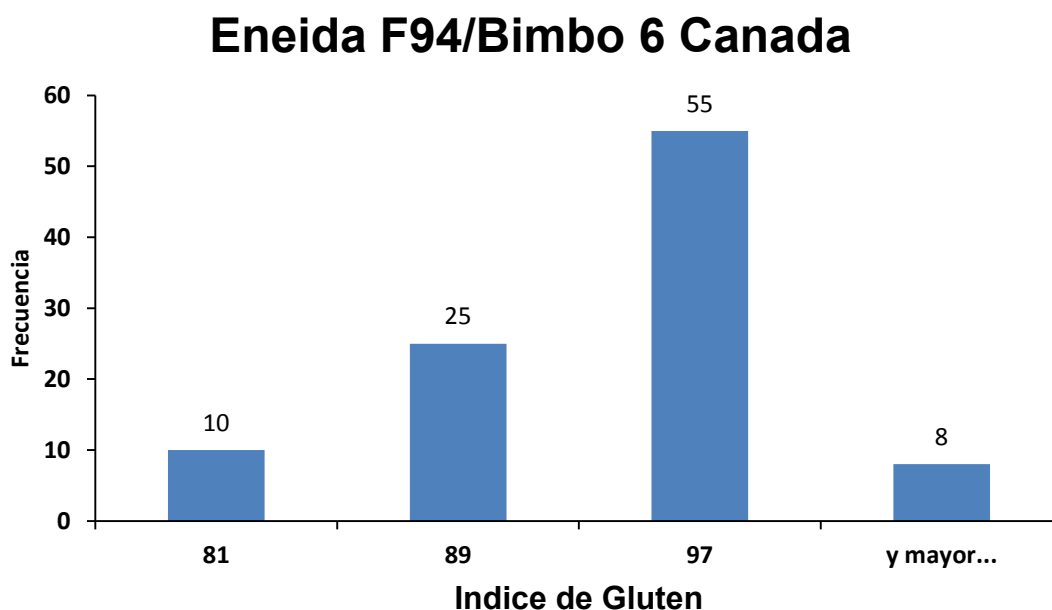


Figura 5.9 Frecuencia de genotipos de acuerdo al índice de gluten de la cruzada Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

## 5.4 Proteína de Harina

### 5.4.1 Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.10 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que la proteína en la harina de la cruzada Ene/zita//Bimbo 6 Canada, está determinada por tres genes, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.10 Determinación del número de genes involucrados en la proteína de harina para la Cruzada Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05

<10	0	1.6	1.6			
10.8	3	9.6	4.538			
11.6	23	24	0.042			
12.4	37	32	0.781			
13.2	23	24	0.042			
14	9	9.6	0.038			
>14	1	1.6	0.225			
			7.265	22.46	16.81	12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.10 se muestra el resultado de la variable porcentaje de proteína de harina de la cruzada Ene/zita//Bimbo 6 Canada, de esta son 96 líneas de las cuales tres líneas obtuvieron el 10.8%, 23 líneas obtuvieron el 11.6%, 37 líneas obtuvieron el 12.4%, 23 líneas obtuvieron el 13.2%, nueve líneas obtuvieron el 14% y una línea obtuvo un resultado mayor al 14% de proteína de harina. Los resultados obtenidos para la variable % de proteína de la harina son similares a los reportados por de la Horra *et al.* (2012) se obtuvieron 4 líneas menores al 11% y de acuerdo a Biolatto (2014) los trigos con menos del 11% de contenido de proteína no son aconsejados para producir pan a menos que se mezclen con otros para lograr el contenido de proteína necesario.

### Ene/zita//Bimbo 6 Canada

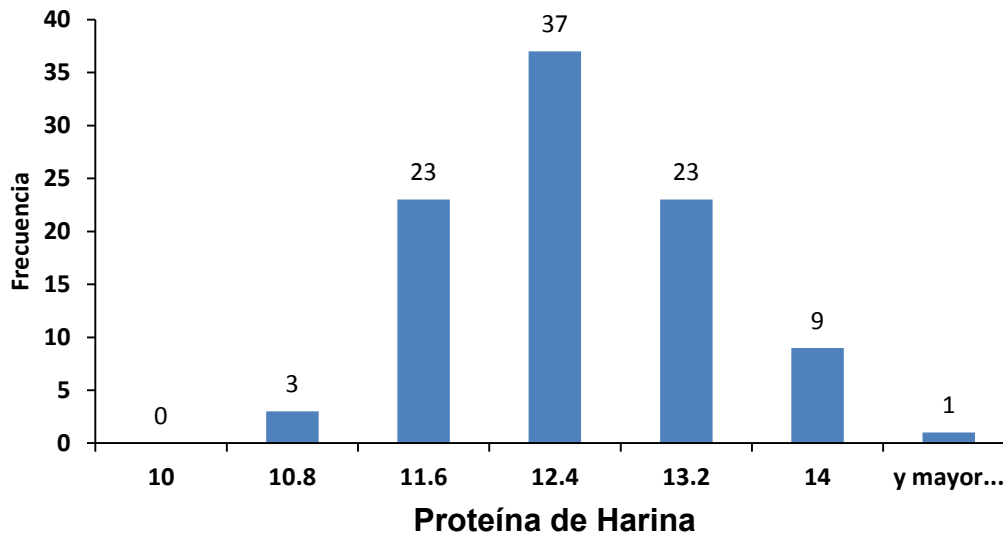


Figura 5.10 Frecuencia de genotipos de acuerdo a la proteína de harina de la cruce Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

#### 5.4.2 Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.11 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que la proteína en la harina de la cruce Cisne/Bimbo 6 Canada, está determinada por tres genes de efecto aditivo, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.11 Determinación del número de genes involucrados en la proteína de haría para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05
<10.4	1	1.6	0.225			
11.1	7	9.6	0.704			
11.8	28	24	0.667			
12.5	36	32	0.5			
13.2	27	24	0.375			
13.9	7	9.6	0.704			
>13.9	1	1.6	0.225			

---

	3.4	22.46	16.81	12.59
--	-----	-------	-------	-------

---

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.11 se muestra el resultado de la variable porcentaje de Proteína en harina de la cruza Cisne/Bimbo 6 Canada, de esta son 107 líneas de las cuales una línea obtuvo el 10.4%, 7 líneas obtuvieron el 11.1%, 28 líneas obtuvieron el 11.8%, 36 líneas obtuvieron el 12.5%, 27 líneas obtuvieron el 13.2%, siete líneas obtuvieron el 13.9% y una línea obtuvo un resultado mayor al 13.9% de proteína de harina.

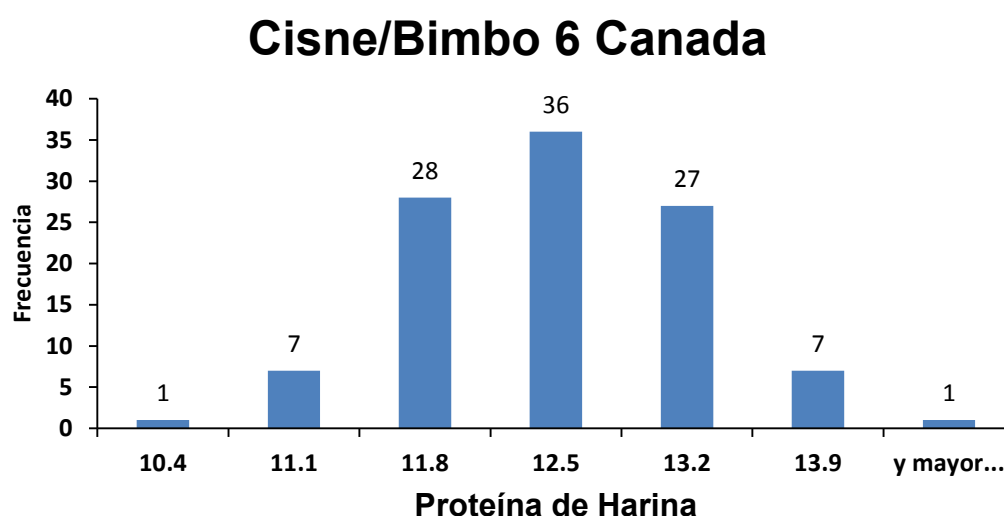


Figura 5.11 Frecuencia de genotipos de acuerdo a la proteína de la harina de la cruza Cisne/Bimbo 6 Canada.

#### 5.4.3 Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.12 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que la proteína en la harina de la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada, está determinada por tres genes, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.12 Determinación del número de genes involucrados en la proteína de harina para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

---

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL
--------	----	----	--------------------	-------------------------------

---

				<b>0.001</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>
<10.7	0	1.6	1.6			
11.4	11	9.6	0.204			
12.1	30	24	1.5			
12.8	23	32	2.531			
13.5	26	24	0.167			
14.2	6	9.6	1.35			
>14.2	2	1.6	0.1			
			7.452	22.46	16.81	12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.12 se muestra el resultado de la variable porcentaje de proteína en harina de la cruce Eneida F94/Bimbo 6 Canada, de esta son 98 líneas de las cuales 11 líneas obtuvieron el 11.4%, 30 líneas obtuvieron el 12.1%, 23 líneas obtuvieron el 12.8%, 26 líneas obtuvieron el 13.5%, seis líneas obtuvieron el 14.2% y dos líneas obtuvieron un resultado mayor al 13.9% de proteína de harina.

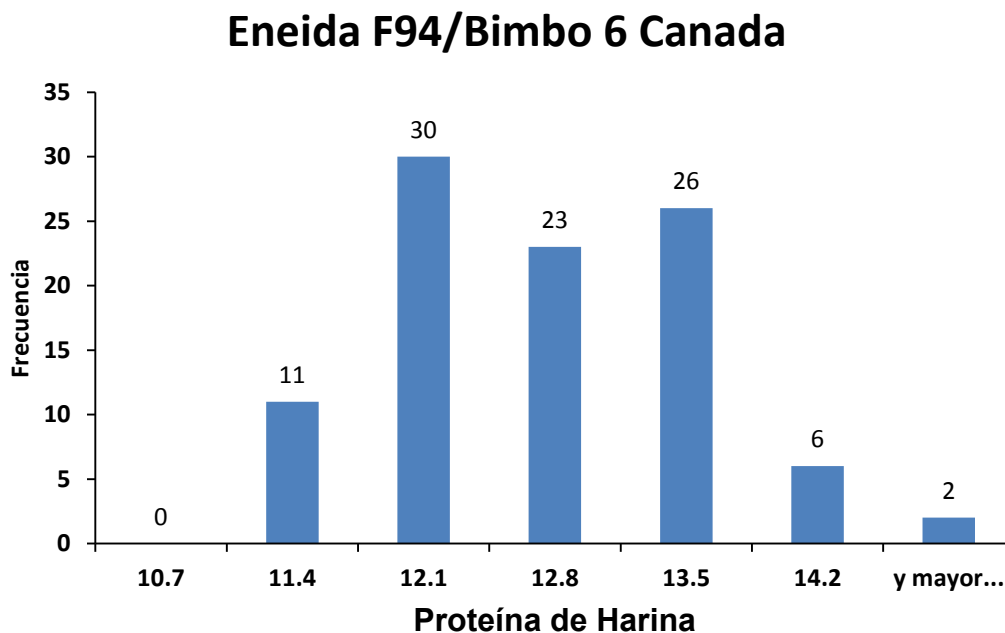


Figura 5.12 Frecuencia de genotipos de acuerdo a la proteína de la harina de la cruce Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

## 5.5 Rendimiento Harinero

### 5.5.1 Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.13 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el rendimiento harinero de la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada, está determinado por tres genes de efecto aditivo, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.13 Determinación del número de genes involucrados en el rendimiento harinero para la Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05
<60.8	1	1.6	0.225			
63.2	5	9.6	2.204			
65.6	17	24	2.042			
68	43	32	3.781			
70.4	23	24	0.042			
72.8	7	9.6	0.704			
>72.8	0	1.6	1.6			
			10.598	22.46	16.81	12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.13 se muestra el resultado de la variable de Proteína de harina de la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada, de esta son 96 líneas de las cuales una línea obtuvo el 60.8%, cinco líneas obtuvieron el 63.2%, 17 líneas obtuvieron el 65.6%, 43 líneas obtuvieron el 68%, 23 líneas obtuvieron el 70.4% y siete líneas obtuvieron el 72.4% de rendimiento harinero. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por de la Horra *et al.*, (2012), que oscilan entre 65.5-73.1%, esto indica que el % de rendimiento harinero está dentro de los valores aceptables.

## Ene/zita//Bimbo 6 Canada

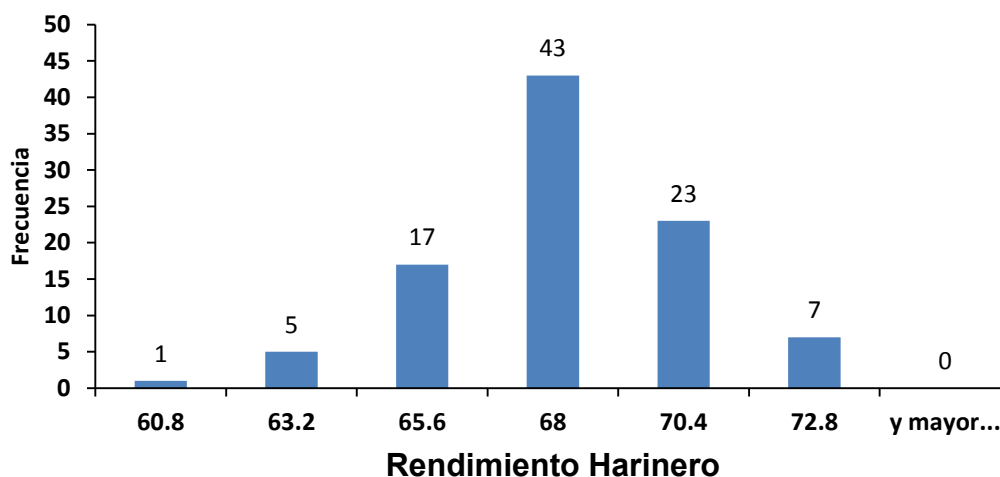


Figura 5.13 Frecuencia de genotipos de acuerdo al Rendimiento Harinero de la cruce Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

### 5.5.2 Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada

En el Tabla 5.14 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el rendimiento harinero de la cruce Cisne/Bimbo 6 Canada, está determinado por dos genes, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.14 Determinación del número de genes involucrados en el rendimiento harinero para la Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05
<63.5	5	6.25	0.04			
66.5	49	37.5	2.65			
69.5	47	50	1.44			
>69.5	6	6.25	0.01			
			4.14	16.266	11.345	7.815

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.14 se muestra el resultado de la variable de Rendimiento Harinero de la craza Cisne/Bimbo 6 Canada, de esta son 107 líneas de las cuales cinco líneas obtuvieron el 63.5%, 49 líneas obtuvieron el 66.5%, 47 líneas obtuvieron el 69.5% y seis líneas obtuvieron un resultado mayor al 69.5% de rendimiento harinero.

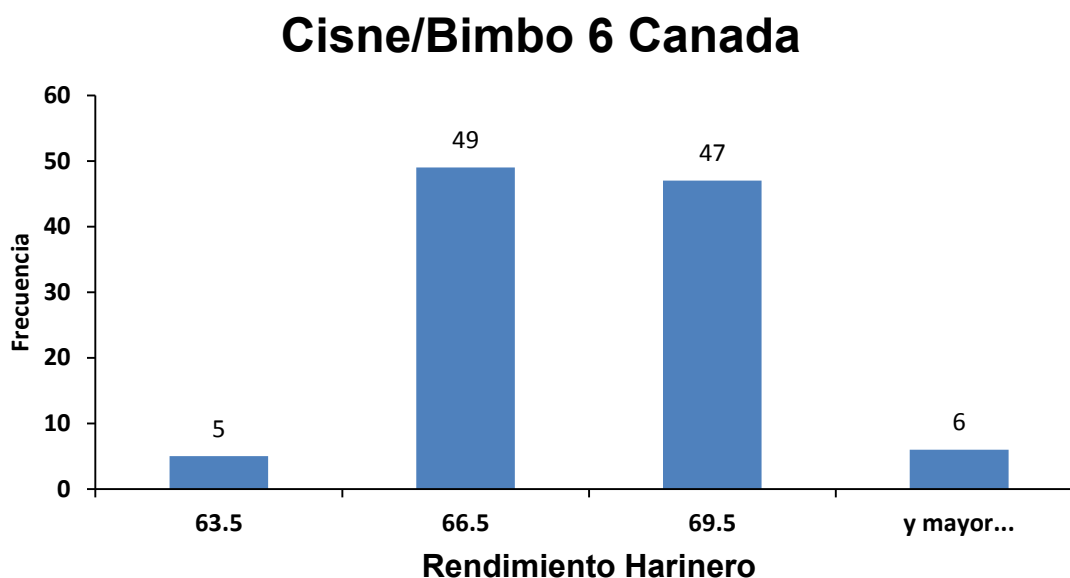


Figura 5.14 Frecuencia de genotipos de acuerdo al Rendimiento Harinero de la craza Cisne/Bimbo 6 Canada.

### 5.5.3 Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada

En la Tabla 5.15 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el rendimiento harinero de la craza Eneida F94/Bimbo 6 Canada, está determinado por tres genes de aditividad, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.15 Determinación del número de genes involucrados en el rendimiento harinero para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 6 GL		
				0.001	0.01	0.05
<62.2	2	1.6	0.1			
64	6	9.6	1.35			



65.8	24	24	0			
67.6	32	32	0			
69.4	26	24	0.17			
71.2	8	9.6	0.27			
>71.2	0	1.6	1.6			
			3.48	22.46	16.81	12.59

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la Figura 5.15 se muestra el resultado de la variable de Rendimiento Harinero de la craza Eneida F94/Bimbo 6 Canada, de esta son 98 líneas de las cuales dos líneas obtuvieron el 62.2%, seis líneas obtuvieron el 64%, 24 líneas obtuvieron el 65.8%, 32 líneas obtuvieron el 67.6%, 26 líneas obtuvieron el 69.4% y ocho líneas obtuvieron el 71.2% de rendimiento harinero.

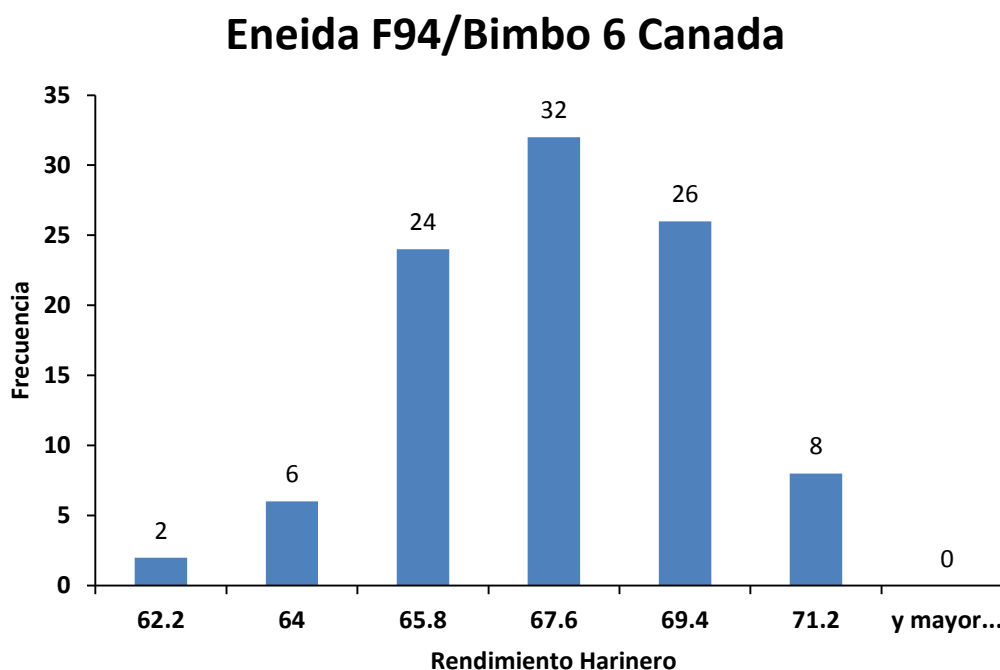


Figura 5.15 Frecuencia de genotipos de acuerdo al Rendimiento Harinero de la craza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

## 5.6 Sedimentación

### 5.6.1 Cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada

La prueba de  $\chi^2$  en el carácter sedimentación para la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada no se ajustó a los modelos de dos, tres y cuatro genes por lo cual en este caso el número de genes que determina este carácter está determinado por cinco o más genes de efecto aditivo modelos que requieren una muestra mayor para proporcionar resultados confiables.

En la Figura 5.16 se muestra el resultado de la variable Sedimentación de la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada, de esta son 96 líneas de las cuales tres líneas obtuvieron 8.5 ml, 18 líneas obtuvieron 9 ml, ocho líneas obtuvieron 9.5 ml, 32 líneas obtuvieron 10 ml, cuatro líneas obtuvieron 10.5 ml, 17 líneas obtuvieron 11 ml, dos líneas obtuvieron 11.5 ml, siete líneas obtuvieron 12 ml, tres líneas obtuvieron 13.0 ml y dos líneas obtuvieron 13.5 ml de sedimentación. De acuerdo a los resultados obtenidos estos están entre 8.5-13.5 ml los cuales están muy por debajo a los reportados por de la Horra *et al.*, (2012) los cuales son de 18-19.25 ml y se consideran valores aceptables.

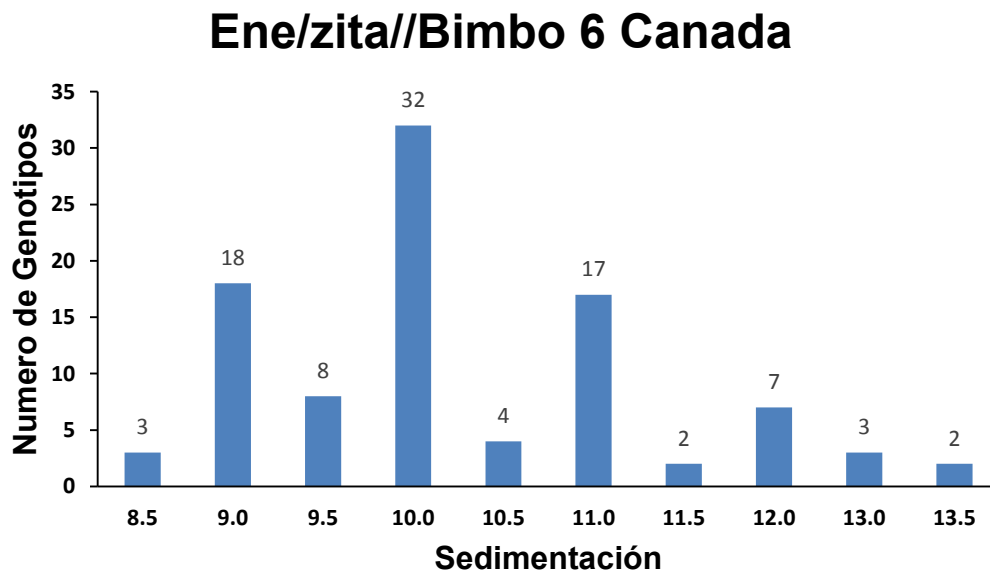


Figura 5.16 Frecuencia de Genotipos de acuerdo a la Sedimentación de la cruza Ene/zita//Bimbo 6 Canada.

### 5.6.2 Cruza Cisne/Bimbo 6 Canada

La prueba de  $\chi^2$  en el carácter sedimentación para la cruce Cisne/Bimbo 6 Canada no se ajustó a los modelos de dos, tres y cuatro genes por lo cual en este caso el número de genes que determina este carácter está determinado por cinco o más genes de efecto aditivo, modelos que requieren una muestra mayor para proporcionar resultados confiables.

En la Figura 5.17 se muestra el resultado de la variable Sedimentación de la cruce Cisne/Bimbo 6 Canada, de esta son 107 líneas de las cuales dos líneas obtuvieron 8.0 ml, dos líneas obtuvieron 8.5 ml, 15 líneas obtuvieron 9.0 ml, siete líneas obtuvieron 9.5 ml, 29 líneas obtuvieron 10.0 ml, ocho líneas obtuvieron 10.5 ml, 28 líneas obtuvieron 11.0 ml, seis líneas obtuvieron 11.5 ml, ocho líneas obtuvieron 12.0 ml, una línea obtuvo 13.5 ml y 1 línea obtuvo 14.0 ml de sedimentación. Los resultados para esta cruce son bajos los valores son de 8-14 ml en comparación con los resultados obtenidos por de la Horra *et al.*, (2012).

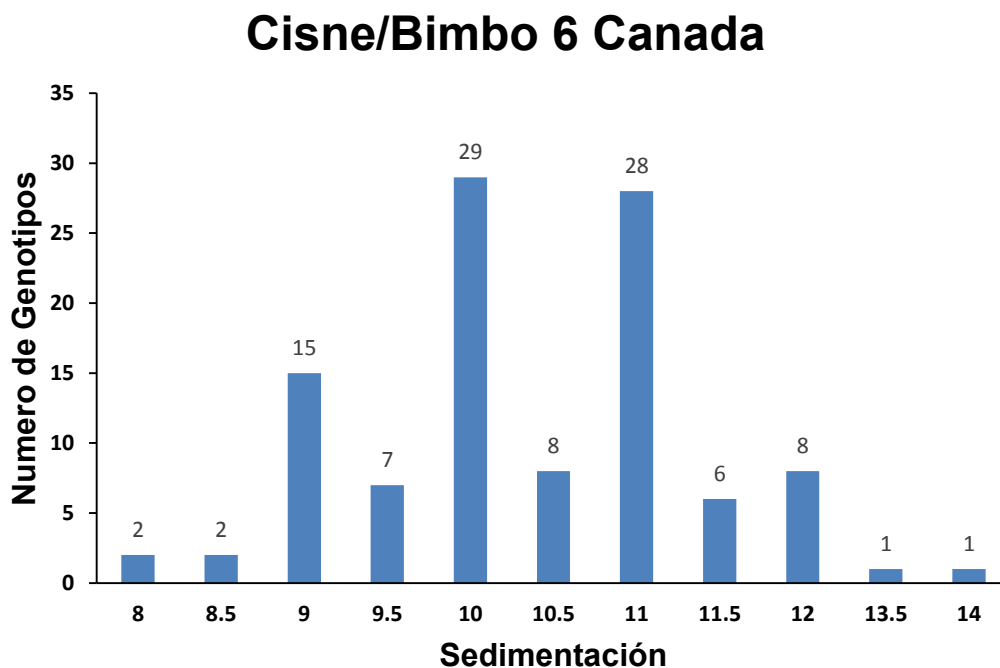


Figura 5.17 Frecuencia de Genotipos de acuerdo a la Sedimentación de la cruce Cisne/Bimbo 6 Canada.

### 5.6.3 Cruza Eneida F94 Canada

En la Tabla 5.16 se muestran los resultados de la prueba de  $\chi^2$ , donde se acepta la hipótesis que el carácter sedimentación de la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada, está determinado por dos genes de efecto aditivo, ya que la sumatoria de  $\chi^2$  es menor al valor de la tabla para la significancia del 0.05.

Tabla 5.16 Determinación del número de genes involucrados en la sedimentación para la Cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

Rangos	FO	FE	Prueba de $\chi^2$	Nivel de significancia a 3 GL		
				0.001	0.01	0.05
<7	0	6.25	1.04			
10	47	37.5	1.81			
13	48	50	0.64			
>13	3	6.25	1.69			
			5.18	16.266	11.345	7.815

FO= Factores Observados; FE= Factores Esperados

En la figura 5.18 se muestra el resultado de la variable Sedimentación de la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada, de esta son 98 líneas de las cuales 47 líneas obtuvieron 10.0 ml, 48 líneas obtuvieron 13.0 ml y tres líneas obtuvieron un resultado mayor a 13.0 ml de sedimentación. Al igual que las líneas de las dos cruza anteriores los valores están bajos (8.5-14 ml) comparados con los obtenidos por de la Horra *et al.*, (2012).

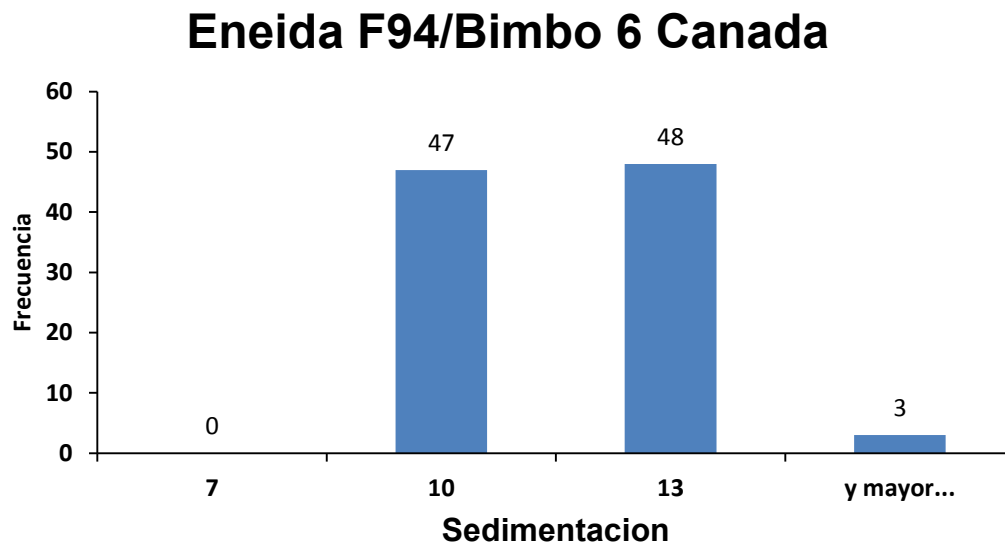


Figura 5.18 Frecuencia de Genotipos de acuerdo a la Sedimentación de la cruza Eneida F94/Bimbo 6 Canada.

## VI. CONCLUSIONES

El carácter de gluten húmedo en la cruzas Ene/zita//Bimbo 6 Canada está determinado por cuatro genes y en las cruzas Cisne/Bimbo 6 Canada y Eneida F94/Bimbo 6 Canada, por tres, lo que implica que la herencia de esta variable están involucrados al menos tres genes de efecto aditivo. Las líneas de las tres cruzas tienen buena calidad ya que están arriba del 30% la cual son valores aceptables debido a que el porcentaje óptimo es de 32%.

El porcentaje de gluten seco en las tres cruzas está determinado por tres genes de efecto aditivo. Los valores de gluten seco son apenas un tercio de los observados en gluten húmedo aunque las tres cruzas promediaron valores arriba de 10% que es aceptado por la industria como valor óptimo.

El carácter índice de gluten en las tres cruzas estuvo determinado por dos genes. Los valores observados (54-99%), indican que las tres cruzas derivaron poblaciones con los tres tipos de gluten (débil, medio fuerte y fuerte).

Los resultados obtenidos en las tres cruzas indican que la herencia de la proteína en la harina está determinado por tres genes. Dado que los progenitores de las tres poblaciones son trigos de gluten fuerte se obtuvieron pocos genotipos con valores menores de 11% de proteína.

El rendimiento harinero en las cruzas Ene/zita/Bimbo 6 Canada y Eneida F94/Bimbo 6 Canada estuvo determinado por tres genes, mientras que, en la cruzas Cisne/Bimbo 6 Canada está determinado por dos genes. Los valores observados entre 60-75 % están dentro de los parámetros normales en cuanto a esta variable.

En el carácter porcentaje de sedimentación las cruzas Ene/zita/Bimbo 6 Canada y Cisne/Bimbo 6 Canada no se ajustaron a los modelos de dos, tres y cuatro genes lo

que implica que en estas poblaciones este carácter está determinado por cinco o más genes de efecto aditivo. En cambio en la cruce Eneida F94/Bimbo 6 Canada se observó que la herencia del rendimiento harinero está determinado por dos genes de efecto aditivo. Las tres poblaciones registraron valores muy bajos (entre 8-14 ml), en comparación con resultados obtenidos en otras variedades cuyo promedio es de 18 ml, se cree que las harinas fueron afectadas por el tiempo de almacenamiento y por el daño de plagas (gorgojos) ya que los resultados de las variables anteriores fueron aceptables.

Los resultados obtenidos nos indican que en las tres cruces hubo líneas con resultados bajos, medios y líneas muy buenas con una calidad y cantidad de gluten óptimas para la elaboración de pan.

En la cruce Ene/zita//Bimbo 6 Canada la línea 83 fue la mejor ya que presentó un alto porcentaje de proteína en la harina (13.9%), valores de gluten húmedo y seco de 42.6, y 14.3%, índice de gluten de 90%, así como un alto rendimiento harinero (69.4%) y un valor alto de sedimentación 13.5 ml. Aunque hubo valores más altos en proteína de la harina, rendimiento harinero e índice de gluten, estos valores son los más próximos a los óptimos para una buena calidad y cantidad de gluten en todas las variables.

En la cruce Cisne/Bimbo 6 Canada la línea 217 fue la más sobresaliente con porcentaje de proteína en la harina de 14%, gluten húmedo de 46%, gluten seco de 15%, índice de gluten de 79%, rendimiento harinero de 67.1% e índice de sedimentación de 10.5 ml.

En la cruce Eneida F94/Bimbo 6 Canada la línea 506 fue la línea más sobresaliente, con porcentaje de proteína en la harina de 13.3%, gluten húmedo de 42.1%, gluten seco de 14%, índice de gluten de 95%, rendimiento harinero de 67.4% y sedimentación de 14 ml.

La mejor línea de las tres poblaciones fue la 506 de la cruce Eneida F94/Bimbo 6 Canada ya que presenta valores más próximos a los óptimos recomendados para la elaboración de pan y para tener una buena calidad y cantidad de gluten.

Esta línea que tiene los valores óptimos de calidad puede ser parte de los progenitores de trigo del programa de mejoramiento de trigo para incorporar estas características.



## VII. LITERATURA CITADA

Andrews, J.L., Skerrit, J.H. 1996. Wheat dough extensibility screening using a two-site enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) with antibodies to low molecular weight glutenin subunits. *Cereal Chemistry*, 73: 650 – 657.

Antoine, C., Lullien-Pellerin, V., Abecassis, J., Rouau, X. 2002. Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sciences des Aliments*, 22:545-556.

Axford, D.W.E., McDermott, E.E., and Redman, D.G. 1979. Note on de sodium dodecyl sulphate test of breadmaking quality: comparison with Pelshenke and Zeleny test. *Cereal Chem* 56:582-584.

Bardón, I.R., Belmonte, C.S., Fuster, L.F., Marino, H.E., y Ribes, R.M.A. 2010. El sector de los productos de Panadería, Bollería y Pastelería Industrial, y Galletas en la Comunidad de Madrid. Características de calidad, actitudes y percepción del consumidor. M-2469-2010.

Beach, E. 1961. Beccari of Bologna: The discoverer of vegetable protein. *J. Hist. Med.*, 26, 354-373.

Bechtel, D.B., and Wilson, J.D. 1997. Ultrastructure of developing hard and soft red winter wheats after air-and freeze-drying and its relationship to endosperm texture. *Cereal Chem.* 74(3):235-241.

Belitz, H., and Grosch, W. 1999. Polysaccharides. En: *Food Chemistry*, Second Edition. Editado por Belitz, H. y Grosch, W. Springer, Germany. 237-318.

Bettge, D.A. and Craig, F.M. 2000. Relationships among grain hardness, pentosans fractions and end-use quality of wheat. *Cereal Chem.* 77(2):241-247.

Biolatto, M.J., y Iturrioz, G. (2014). Calidad Comercial e Industrial del Trigo en la Pampa: Un Abordaje Actual Desde Los Molinos Harineros Instalados en la Provincia (Tesis de Licenciatura). UNLPam, La Pampa, Argentina.

Bloksma, A. 1975. Thiol and disulfide groups in dough rheology. *Cereal Chem.*, 52: 170-183.

Buleón, A., Colonna, P., Planchot, V., Ball, S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23:85-112.

Bushuk, W. 1985. Flour proteins: Structure and functionality on dough and bread. *Cereal Foods World*, 30, 447-451.

Buzzeti., H.C y García, L.A. 2015. Trigo: situación y perspectivas. In: ODEPA.

CANIMOLT. 2016. Productos de panificación. Disponible en: <http://www.canimolt.org/conograma/panificacion>. Consultado: 15 de Octubre del 2016.

CANIMOLT. 2015. Reporte Estadístico 2014. Disponible en: <http://www.canimolt.org/revista-canimolt>. Consultado: 29 de Julio del 2016.

CANIMOLT. 2016. Sémola y Pastas. Disponible en: <http://www.canimolt.org/conograma/semola-y-pastas>. Consultado: 17 de Octubre del 2016.

Campbell, K.G., Bergman, C.J., Gualberto, D.G., Anderson, J., Hareland, G., Giroux, M., Fulcher, R.G., Sorrells, M.E., and Finney, P.L. 1999. Quantitative trait loci associated with kernel traits in a hard x soft wheat cross. *Crop Sci.* 39:1184-1195.

CIMMYT. 2008. Metodología sobre las enfermedades de los cereales. México. DF. México. pp. 32.

De la Horra, A.E., Seghezzo, M.L., Molfese, E., Ribotta, P.D., León, A.E. 2012. Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *AGRISCIENTIA*, 2012, VOL. XXIX (2): pp. 81-89.

De la Vega, R.G. 2009. Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, Vol. 13, Numero 38. pp. 27-32.

Diccionario Enciclopédico Cervantes. 1999. Bogotá; D.C. Colombia. pp. 1699.

Dowell, F.E. 2000. Differentiating vitreous and nonvitreous durum wheat kernels by using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 77: 155-158.

D'Ovidio, R., & Macsi, S. 2004. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. *J. Cereal Sci.*, 39, 321-339.

Eliasson, A., & Larsson, K. 1993. *Cereal in breadmaking: a molecular colloidal approach*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Eliasson, A., Gudmundsson, M. 1996. Starch: Physicochemical and functional aspects. En: *Carbohydrates in Food*. Editado por Eliasson, A. Marcel Dekker, USA. 431-503.

Escobar, W. 1997. Caracterización morfológica, agronómica y bioquímica de la colección Ecuatoriana de papa Sub grupo tardías. Guaranda, Ecuador. pp. 72.

Fierro, H. 1997. Evaluaciones agronómicas de cuatro variedades de trigo (*Triticum vulgare L.*). En las localidades de Shacundo y Laguacoto. Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda-Ecuador. pp. 89.

Gaines, C.S., Raeker, M.O., Finney, M., Wilson, J.D. Bechtel, D.B., Martin, R.J., Seib, P.A., Lookhart G.L., and Donelson, T. 2000. Associations of starch gel hardness, granule size, waxy allelic expression, thermal pasting, milling quality, and kernel texture of 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chem.* 77(2):163-168.

Gianibelli, M., & Sarandon, S. 1990. Effect on late nitrogen fertilization on the gluten content and technological quality of bread wheat. En W. Bushuk, & R. Trachuk (Eds.), *Gluten Proteins* (pp. 755- 764). St. Paul, MN: AACCC International.

Goesaert, H., Bris, K., Veraberbeke, W.S., Courtin, C.M., Gebruers, K., and Delcour, J.A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16: 12-30.

Gómez, S.M.C. y Solís. M.E. 2014. Efecto del número de riegos en la calidad industrial del trigo (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, Guanajuato, México.

Graveland, A., Bosveld, P., & Marseille, J. 1978. Determination of thiol groups and disulfide bonds in wheat flour and dough. *J. Sci. Food A'gr.*, 29, 53-61.

Greenwell, P. and Scofield, J.D. 1986. A Starch granule protein associated with endosperm softness in wheat. *Cereal Chemistry* 63:379-380.

Greenwood, C. 1976. Starch. En: *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol. 1. Editado por Pomeranz, Y. American Association of Cereal Chemists. USA. 119-157.

Grosch, W., and Wieser, H. 1999. Redox reactions in wheat dough as affected by ascorbic acid. *Journal of Cereal Science*, 29: 1-16.

Hevia, F., Villegas, R., y Tollenaar, H. 1986. Influencia de algunas características físicas del grano de almidón sobre la calidad panadera del trigo. *Agro-Ciencia* 2(1):27-38.

Hevia, F. y López, X. 1996. Análisis preliminar de la influencia del almidón dañado en la calidad de las harinas de trigo. *Agro-Ciencia* 12(2):215-220.

Hevia, F., López, X., Lanuza, P., Wilckens, R., y Valdera, C. 1999. Características panaderas de trigos de invierno y primavera sometidos a diferentes procesos de molienda. *Agro-Ciencia* 15(1):117-127.

Hevia, H.F. 2002. Capítulo V. Componentes químicos y algunas propiedades físicas del grano de trigo y su relación con la funcionalidad de las harinas. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. pp. 47-68.

Horton, H., Moran, L A., Scrimgeour, K., Perry, M., & Rawn, J. 2006. Proteins: Three-dimensional structure and function. En: *Principles of biochemistry* (pp. 84-128). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc.

Hoseney, C. 1994. *Principles of Cereal Science and Technology*, Second Edition. Editado por Hoseney, C. American Association of Cereal Chemists, USA.

Hoseney, R. 1994. *Principles of cereal science and technology*. St. Paul, MN: AACCC International.

Jones, R., Taylor, N., & Senti, F. 1959. Electrophoresis and fractionation of wheat gluten, *Arch. Biochem. Biophys.*, 64, 263-267.

Lásztity, R. 1996. Wheat proteins. En: *The Chemistry of Cereal Proteins* (pp. 19-138). Boca Raton, FL: CRC Press, Inc.

Létang, C., Samson, M.F., Lasserre, T.M., Chaurand, M., and Abécassis, J. 2001. Production of starch with very low protein content from soft and hard wheat flours by jet milling and air classification. *Cereal Chem.* 79(4):535-543.

Loffler, C., Rauch, T., & Busch, R.H. 1985. Grain and plant protein relationships in hard red spring wheat. *Crop Sci.*, 25, 521-524.

Lyn, P.Y., and Czuchajowska, Z. 1996. Starch damage in soft wheats of Pacific Northwest. *Cereal Chem.* 73(5):551-555.

MacRitchie, F. 1980. Physical-chemical aspects of some problems in wheat research in: *Advances in Cereal Science and Technology*. En: Y. Pomeranz (Ed.). III. St. Paul, MN: AACC International.

MacRitchie, F. 1987. Evaluation of contributions from wheat protein fractions to dough mixing and breadmaking. *J. Cereal Sci.*, 6, 259-268.

Matz, S. 1999. *Bakery Technology and Engineering*, 3<sup>o</sup> Edition. Editado por Matz, S. Pan-Tech International, USA.

McDonald, C., & Gilles, K. 1967. Amino acid composition of wheat as relates to quality. *The Baker's Dig.* 1(1), 45-48.

Mesas, J.M., y Alegre, M.T. 2002. El pan y su proceso de elaboración. *Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos*, Reynosa México. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 3, núm. 5. pp. 307-313.

Miller, B.S., Afework, S., Pomeranz, Y., Bruinsma, B., and Booth, G.D. 1982. Measuring the hardness of wheat. *Cereal Foods World* 27:61-64.

Mladenov, N., Przulj, N., Hristov, N., Djuric, V., and Milovanovic, M. 2001. Cultivar-by-environment interactions for wheat quality traits in semiarid conditions. *Cereal Chem.* 78(3):286-292.

Morgan, B.C., Dexter, J.E., y Preston, K.R. 2000. Relationship of kernel size to flour water absorption for Canada Western red spring wheat. *Cereal Chem.* 77(3):286-292.

Nierle, W., & El Baya, A. 1990. Functionality of modified gluten in baking. En W. Bushuk, & R. Trachuk (Eds.), *Gluten Proteins 1990* (pp. 42-46). St. Paul, MN: AACC International.

Osborne, T., & Voorhees, G. 1893. The proteids of wheat kernel. *Am. Chem. J.*, 15, 392-471.

Peña, R.J., Amaya, A., Rajaram, S., and Mujeeb-Kazi, A. 1990. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *J Cereal Sci* 12:105-112.

Peña, R.J. 2002. Capítulo III. Influencia de la textura del endospermo y la composición de las proteínas del gluten en la calidad panadera del trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (CIMMYT). pp. 23-40.

Peña, R.J., P. Pérez H., E. Villaseñor Mir., M.M. Gómez V., M.A. Mendoza L. y R. Monteverde G. 2007. Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo Otoño-Invierno 2005-2006. Publicación Especial del CONASIST. México, D.F. pp. 25.

Poehlman, J. 2002. Mejoramiento genético de las cosechas. Mexico. pp. 453.

Rahman, S., Jolly, C.J., and Higgins, T.J. 1991. The chemistry of wheat-grain hardness. *Chemistry in Australia* 58:397.

Ritchie, S., Swanson, S.J., Gilroy, S. 2000. Physiology of the aleurone layer and starchy endosperm during grain development and early seedling growth: new insights from cell and molecular biology. *Seed Science Research*, 10: 193-212.

Rojas, J.A., Rosell, C.M., Benedito, C., Pérez-Munuera, I., Lluch, M.A. 2000. The baking process of wheat rolls followed by cryo scanning electron microscopy. *European Food Research and Technology*, 212: 57-63.

Shewry, P.R., Mifflin, B.J. 1985. Seed storage proteins of economically important cereals. In *Advances in Cereal Science and Technology*; Pomeranz, Y., Ed.: American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN Vol II: 1- 83.

Shewry, P.R., Tatham, A.S., Forde, J., Kreis, M., and Mifflin, B.J. 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. *Journal of Cereal Science*, 4: 97-106.

Shewry, P.R., Napie, J.A., and Tatham, A.S. 1995. Seed storage proteins: Structures and biosynthesis. *The Plant Cell*, 7: 945-956.

Shewry, P.R., Tatham, A.S. 1997. Disulphide bonds in wheat dough as affected by ascorbic acid. *Journal of Cereal Science*, 25:207:227.

Shewry, P.R., and Halford, N.G. 2002. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53: pp.947-958.

SIAP. 2016. Avances de siembras y cosechas, Resumen nacional por estado, Trigo grano. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Consultado: 18 de septiembre del 2016.



SIAP. 2016. Avances de siembras y cosechas, Resumen nacional por cultivo. Disponible en: <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>. Consultado: 10 de Agosto del 2016.

Symons, S.J., Van Schepdael, L., Dexter, J.E. 2003. Measurement of hard vitreous kernels in durum wheat by machine vision. *Cereal Chemistry*, 80: 511-517.

Vázquez, D. 2009. Aptitud Industrial de Trigo. Serie Técnica N° 177. ©2009, INIA. ISBN: 978-9974-38-269-5. Uruguay. pp. 46.

Veraverbeke, W.S., and Delcour, J.A. 2002. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42: 179 – 208.

Villanueva, F.R. 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial* No. 32, ISSN 1025-9929, pp. 231-246.

Weegels, P.L., Hamer, R.J., Schofield, J.D. 1996. Critical review: Functional properties of wheat glutenin. *J Cereal Sci* 23:1-18.

Wieser, H., Bushuk, W., & MacRitchie, F. 2006. *The polymeric glutenins*. En C. Wrigley, F. Békés, & W. Bushuk (Eds.), *Gliadin and glutenin: the perfect balance of wheat quality* (pp. 213-240). St. Paul, MN: AACC International.

Woychik, J., Boundy, J., & Dimler, R.P. 1961. Starch gel electrophoresis of wheat gluten proteins with concentrated urea. *Arch. Biochem. Biophys.*, 94, 477-482.

Wrigley, C.W. 1996. Giant proteins with flour power. *Nature*, 381:738-739.

Xie, F., Pearson, T., Dowell, F.E., Zhang, N.Q. 2004. Detecting vitreous wheat kernels using reflectance and transmittance image analysis. *Cereal Chemistry*, 81: 594-597.

Yufeng, M., and Flores, R.A. 2001. Mechanical starch damage effects on wheat flour tortilla texture. *Cereal Chem.* 78(3):286-293.

Zeleny, L. 1947. A simple sedimentation test for estimating the bread making and gluten qualities of wheat flour. *Cereal Chemistry* 24:465-475.

Zillman, R., & Bushuk, W. 1979. *Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams*. II. Effects of environmental and experimental factors on the gliadin electrophoregram. *Can. J. Plant Sci.*, 59, 281-286.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**VARIABILIDAD FENOTÍPICA PARA CARACTERES AGRONÓMICOS  
Y DE CALIDAD DE SEMILLA EN GENOTIPOS DE MAÍZ**

**QUE PRESENTA**

**JOSÉ EDUARDO LOZA CENTENO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.**

**JUNIO, 2017**

La tesis “Variabilidad fenotípica para caracteres agronómicos y de calidad de semilla en genotipos de maíz”, fue realizada por el alumno **JOSÉ EDUARDO LOZA CENTENO**, bajo la dirección del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y asesoría de Dr. Mariano Mendoza Elos, Dr. Gilberto Rodríguez Pérez y Dr. Enrique Andrio Enríquez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**

**Asesor:**

---

**Dr. Mariano Mendoza Elos**

**Cédula: 3998828**

**Asesor:**

---

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez**

**Cédula: 7453889**

**Asesor:**

---

**Dr. Enrique Andrio Enríquez**

**Cédula: 8125558**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicada a mi familia por haber estado siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional, por creer en mí y estar conmigo en todos los proyectos de mi vida.

A mi novia por su inspiración y confianza y por todas sus palabras alentadoras.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE y al CONACYT por haberme brindado la oportunidad para realizar la maestría.

A mis profesores, y en especial a mi director de tesis por haberme apoyado desde que tome la decisión de realizar este proyecto hasta su culminación.

A mis compañeros, algunos ahora mis amigos y a todas las personas que han contribuido en el logro de mis objetivos.

## ÍNDICE

	Pág.
Índice	i
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Summary	viii
<b>I Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II Objetivos</b>	<b>5</b>
2.1    Objetivo general	5
2.2    Objetivos específicos	5
2.3    Hipótesis	5
<b>III Revisión de literatura</b>	<b>6</b>
3.1    Importancia comercial del cultivo de maíz	6
3.2    Importancia mundial	6
3.3    La producción de maíz en el Mundo	7
3.4    Producción Nacional	8
3.5    Producción de maíz en Guanajuato	10
3.6    Origen del maíz	11
3.7    Taxonomía del género <i>Zea</i>	13
3.8    Generalidades del cultivo de maíz	14
3.9    Mercado de la semilla mejorada en México	15
3.10   Diversidad genética de maíz	16

3.11	Mejoramiento por hibridación en maíz	18
3.11.1	El maíz híbrido	18
3.11.2	Objetivos del maíz híbrido	18
3.12	Hibridación en maíz	20
3.13	Tipos de híbridos	21
3.13.1	Mestizos	22
3.13.2	Cruza simples	22
3.13.3	Cruzas de líneas hermanas	22
3.13.4	Cruza de tres líneas o híbrido triple	22
3.13.5	Cruza modificadas de tres líneas	22
3.13.6	Cruzas dobles	23
3.13.7	Cruza regresiva doble	23
3.13.8	Cruza regresiva simple	23
3.13.9	Cruzas múltiples	23
3.13.10	Sintéticos o compuestos	23
3.14	Interacción genotipo-ambiente	24
3.15	Calidad de semilla	25
3.16	La calidad de la semilla y sus componentes	27
3.16.1	Calidad Genética	27
3.16.2	Calidad Fisiológica	28
3.16.3	Calidad Sanitaria	28
3.16.4	Calidad Física	28



<b>IV</b>	<b>Materiales y Métodos</b>	<b>30</b>
4.1	Localización del experimento	30
4.2	Material genético	30
4.3	Manejo agronómico de los campos experimentales	32
4.3.1	Preparación del terreno	32
4.3.1.1	Barbecho	32
4.3.1.2	Rastra	33
4.3.1.3	Surcado	33
4.3.2	Siembra del experimento	33
4.3.3	Riego	33
4.3.4	Escarda	33
4.3.5	Fertilización	33
4.3.6	Control malezas	34
4.3.7	Control de plagas	34
4.3.8	Cosecha	34
4.4	Diseño experimental	34
4.5	Caracteres registrados	34
4.5.1	Caracteres agronómicos	34
4.5.1.1	Altura de planta (AP)	35
4.5.1.2	Altura de mazorca (AM)	35
4.5.1.3	Número de hojas totales (NHT)	35
4.5.1.4	Aspecto general de la planta (AGP)	35
4.5.1.5	Cobertura de mazorca (CM)	35

4.5.2	Caracteres de rendimiento y sus componentes	36
4.5.2.1	Longitud de mazorca (LMZ)	36
4.5.2.2	Diámetro de mazorca (DMZ)	36
4.5.2.3	Número de hileras por mazorca (NHM)	36
4.5.2.4	Número de granos por hilera (GPH)	36
4.5.2.5	Rendimiento de campo (RC)	36
4.6	Caracteres de calidad de semilla	37
4.6.1	Peso de 50 semillas	37
4.6.2	Porcentaje de germinación estándar	37
4.6.3	Vigor de semilla	38
4.7	Análisis estadístico	38
<b>V</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>39</b>
<b>VI</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>49</b>
<b>VII</b>	<b>Literatura citada</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 4.1</b>	Genotipos de maíz; triples, simples y comerciales evaluados en el Instituto Tecnológico de Roque. 2016. 30
<b>Tabla 5.1</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad de semilla de genotipos de maíz. 39
<b>Tabla 5.2</b>	Comparación de medias para calidad de semilla en genotipos de maíz. 41
<b>Tabla 5.3</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres agronómicos en genotipos de maíz. 42
<b>Tabla 5.4</b>	Cuadrados medios para sanidad de mazorca, aspecto general de planta, porcentaje de establecimiento y diámetro de mazorca en genotipos de maíz. 43
<b>Tabla 5.5</b>	Cuadrados medios para rendimiento de campo y sus componentes en genotipos de maíz. 44
<b>Tabla 5.6</b>	Comparación de medias para caracteres agronómicos en genotipos de maíz. 45
<b>Tabla 5.7</b>	Comparación de medias para características de mazorca y aspecto general de planta en híbridos de maíz. 46
<b>Tabla 5.8</b>	Comparación de media para porcentaje de establecimiento, diámetro de mazorca y longitud de mazorca en genotipos de maíz. 47
<b>Tabla 5.9</b>	Comparación de medias para el rendimiento de campo y algunos componentes en genotipos de maíz. 48

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
<b>Figura 3.1</b>	Producción mundial de maíz (%). Ciclo primavera-verano 2014.	5
<b>Figura 3.2</b>	Principales Estados productores de maíz bajo condiciones de temporal.	7
<b>Figura 3.3</b>	Principales Estados con mayor producción de maíz bajo condiciones de riego.	8
<b>Figura 3.4</b>	Principales municipios con mayor producción de maíz bajo condiciones de temporal en Guanajuato.	9
<b>Figura 3.5</b>	Principales productores de grano de maíz de riego en Guanajuato.	10

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar la calidad de la semilla y el comportamiento agronómico en híbridos simples y triples de maíz se estableció un experimento en laboratorio y campo en el Instituto Tecnológico de Roque. En el ciclo PV-2015 se formaron 36 cruzas triples y 9 cruzas simples, los cuales fueron sometidos a evaluación de calidad de semilla bajo un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones. La investigación de campo se llevó a cabo en el ciclo PV-2016 y se usaron 49 genotipos; 36 cruzas triples, 9 cruzas simples y 4 testigos comerciales bajo un diseño de Látice parcialmente balanceado 7 x 7 con 3 repeticiones. Los resultados mostraron efecto estadístico significativo entre genotipos para germinación estándar y peso de semilla. 43 de las 45 cruzas superaron el estándar de calidad para germinación propuesto por el SNICS y con respecto al vigor, todos los materiales son considerados de alto desempeño. Por otro lado, el peso de 50 semillas osciló de 19.49 a 23.24 g. Con relación a los caracteres agronómicos, hubo efecto estadístico significativo entre genotipos para la mayoría de las variables registradas; en este sentido, se establece la presencia de una fuerte variabilidad fenotípica entre los híbridos evaluados. Finalmente, 3 híbridos triples superaron las 14 t ha<sup>-1</sup> y de mismo modo, fueron superiores a 3 testigos comerciales evaluados con excepción del genotipo 46 (DAS 2358).

**Palabras clave:** *Zea mays*, variabilidad fenotípica, caracteres agronómicos y calidad de semilla.

## SUMMARY

In order to determine seed quality and agronomic behavior in simple and triple maize hybrids, a laboratory and field experiment was established at the Technological Institute of Roque. In the PV-2015 cycle, 36 triple crosses and 9 single crosses were formed, which were evaluated for seed quality under a completely randomized design with 3 replicates. Field research was carried out in the PV-2016 cycle and 49 genotypes were used; 36 triple crosses, 9 single crosses and 4 commercial witnesses under a 7 x 7 partially equilibrated lattice design with 3 replicates. The two showed significant statistical effect between genotypes for standard germination and seed. 43 of the 45 crosses exceeded the quality standard for standard germination proposed by the SNICS and with respect to vigor, all materials are considered high performance. On the other hand the weight of 50 seeds oscillated from 19.49 to 23.24 g in relation to the agronomic characteristics there was significant statistical effect among genotypes for most of the variables recorded in this sense, the presence of a strong phenotypic variability between groups of crosses evaluated. Finally, 3 triple hybrids exceeded  $14 \text{ t ha}^{-1}$  and similarly were higher than 3 commercial controls evaluated with the exception of genotype 46 (DAS 2358).

**Key words:** *Zea mays*, phenotypic variability, agronomic traits and seed quality.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres granos básicos más antiguos que se conocen; junto con el arroz (*Oriza sativa* L.) y el trigo (*Triticum aestivum* L.) alimentan a la humanidad. De acuerdo con FAOSTAT (2013), en el mundo se cosechan cerca de 160 millones de hectáreas de maíz, siendo EE.UU. el de mayor producción (21 %), seguido de China (20 %), Brasil (8 %), India (5 %), Unión Europea (5 %) y México (4 %). Los granos que más se producen en el mundo son: maíz, trigo, arroz, cebada, sorgo y avena; siendo maíz el de mayor participación, con 39 % de la producción mundial, le sigue el trigo con 30 % y el arroz con 21 %; los que en conjunto concentran el 90 % de la producción mundial (SE.DGIB, 2012).

Durante el siglo XX y en los inicios del XXI, el maíz es el cereal que más importancia ha tenido en varios sectores de la economía en los países industrializados, y se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol (Serratos, 2009).

El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. La variedad de productos que actualmente se fabrican a partir del maíz, hasta hace unos pocos años no habían significado problema alguno para la dinámica de la oferta mundial; sin embargo, con la demanda de los biocombustibles, se observa que la oferta mundial aunque reacciona a los incrementos de los precios, no lo ha podido hacer a la misma velocidad a la que se mueve la demanda (SE.DGIB, 2012).

Según datos preliminares del SIAP-SAGARPA (2014), en el año 2013 se sembraron en México 7, 487,399.02 hectáreas con una producción de 22, 663,953.35 t (3.19 t ha<sup>-1</sup>); 95 % de esta producción es de grano blanco. Este país

ha sido deficitario por cerca de 7.9 millones de toneladas promedio de 5 años, las cuales han sido cubiertas con importaciones de maíz amarillo provenientes de Estados Unidos, que se destinan principalmente a la industria de alimentos balanceados para el sector pecuario, entre otros (SE.DGIB, 2012).

La producción de maíz se reporta en un sistema dual, con un gran número de pequeños agricultores campesinos que los producen para autoconsumo y venta a pequeña escala, por una parte, y por la otra, por un número relativamente pequeño de grandes agricultores que lo producen con fines comerciales y que pocas veces lo consumen directamente. Los pequeños agricultores utilizan sobre todo una gran diversidad de variedades criollas (locales), mientras que los agricultores comerciales comúnmente utilizan híbridos (Bellon, 2009; Figueroa *et al.*, 2013).

Con el desarrollo y evolución de las plantas cultivadas, se da el proceso de “domesticación”. La participación del hombre ha sido el establecimiento de una amplia diversidad, donde a través de la selección, ha modificado las características genotípicas de las plantas generando la formación de nuevas poblaciones adaptadas a diferentes condiciones de suelo y clima (Bellon, 2009; Boege, 2009).

En forma inalterable, el maíz ha mantenido una relación bidireccional y muy cercana con el mexicano. Los mayas se consideraban “hombres de maíz” y para los aztecas la condición humana era inseparable de su consumo; asombra que esta planta tenga tanta plasticidad para su cultivo en diferentes suelos y climas, y que haya tantas variedades para muy diferentes propósitos (Bourges, 2013).

La fuerte riqueza genética de México presente en sus poblaciones nativas de maíz, representa posibilidades extensas para la selección y recombinación de recursos fitogenéticos de maíz para diferentes regiones. A su vez esta riqueza genética es aprovechada para el consumo humano en diversas maneras que



incluyen: tortillas, tamales, tlacoyos, totopos, pinole y elotes, entre otros 4 (Arrellano *et al.*, 2003; Figueroa *et al.*, 2005). La tortilla es la principal forma de consumo del maíz (Coutiño *et al.*, 2008), ya que alrededor de 12.3 millones de toneladas de maíz se consumen en esta forma, donde el 64 % es a través del método tradicional maíz-masa-tortilla y el 36 % mediante la industria de la harina de maíz nixtamalizado (SAGARPA, 2014).

Datos publicados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2010) señalan que en 2010 el consumo de semilla mejorada de maíz en el país fue de 162 mil toneladas. En ese año se produjeron 75 mil toneladas con la que se cubrió sólo 47 % de la superficie sembrada total (7.86 millones de hectáreas). Aunque el uso de semilla mejorada ha aumentado en los últimos 15 años, el padrón de adopción ha sido irregular y su uso se ha concentrado en zonas de producción comercial (Aquino-Mercado *et al.*, 2009). Datos del directorio de productores, obtentores y comercializadores de semilla del 2009 indican que la producción de semilla se concentra en estados del Noroeste y de El Bajío (Luna-Mena *et al.*, 2012). Por ello, no es casualidad que entre los estados con mayor consumo de semilla mejorada se encuentren Sinaloa, Sonora, Jalisco y Guanajuato, en los cuales la superficie sembrada con este tipo de insumo es mayor de 70 % (Ortega- Paczka, 2003).

La disponibilidad de semilla de alta calidad es importante para todos los sectores de la agricultura. El análisis de pureza y las pruebas de germinación han sido ampliamente utilizadas en la evaluación de la calidad de las semillas durante aproximadamente un siglo. Sin embargo, en los últimos tiempos se ha dado énfasis en las mediciones de otros componentes de la calidad de semillas, tales como: sanidad, pureza genética y vigor. La composición química de la semilla de soja, con elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados, sufre importantes reducciones en su calidad fisiológica en relativamente cortos períodos de tiempo (Ferguson, 1995).

Ciertos lotes de semillas que presentan porcentajes de germinación elevados y similares pueden presentar comportamientos diferenciados cuando son sembrados en condiciones idénticas sin estrés en el campo. En este caso es necesario evaluar el vigor. Los requerimientos necesarios para ser cumplidos por las pruebas de vigor fueron indicados por algunos autores (McDonald, 1980; Matthews & Powell, 1980; Perry, 1981), y se pueden resumir en cuatro: 1) tener una buena base teórica, más que estar basado en una relación empírica; 2) ser relativamente simple y barato, para poder ser utilizado, requiriendo un mínimo de equipamiento técnico sofisticado que permita ser adaptado; 3) tiene que haber una buena relación entre los resultados de la prueba y el resultado práctico de la prueba de vigor. Este último se refiere a la emergencia en el campo o al potencial de almacenamiento de la semilla, pero también puede ser emergencia en invernáculo o crecimiento de plántulas; 4) mostrar un comportamiento semejante entre lotes de semillas en relación a su comportamiento potencial y repetitividad de los resultados, tanto dentro, como entre laboratorios. Esto es importante si los resultados de las pruebas de vigor son utilizados para tomar decisiones sobre comercialización o almacenamiento de semillas.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Determinar el comportamiento agronómico y de calidad de semilla en híbridos triples y simples de maíz para el Bajío de Guanajuato.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar la calidad de la semilla en híbridos triples y simples de maíz.
- Evaluar el comportamiento agronómico y fenológico de híbridos triples y simples de maíz.

### 2.3 Hipótesis

Los híbridos de cruza simple producen mejor respuesta agronómica y productiva que los de cruza triple y los comerciales o testigos.

### III. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1 Importancia comercial del cultivo de maíz

Aunque el uso de semilla mejorada ha aumentado en los últimos años, el padrón de adopción ha sido irregular y su uso se ha concentrado en zonas de producción comercial (Aquino-Mercado *et al.*, 2009).

#### 3.2 Importancia mundial

La información del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semilla (SNICS) señala que la cobertura de la superficie sembrada con semilla certificada de granos básicos (entre ellos el maíz) es aproximadamente 40% (Rodríguez-Flores, 2011). La tasa anterior indica un aumento importante en los últimos 15 años, ya que en 1996 sólo 20.3% de la superficie de maíz se sembraba con variedades mejoradas (Morris y López-Pereira, 2000).

En junio de 2015 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estimó que la producción mundial de maíz para el ciclo 2015 fue de 989.3 millones de toneladas. En la Figura 3.1, se muestra la producción de Estados Unidos para el año 2014 fue de 36.5 %, seguido por China con 21.8 % y en tercer lugar Brasil con 8.18 %, México se encuentra en el séptimo lugar con una producción de 2.3 % (USDA, 2015).

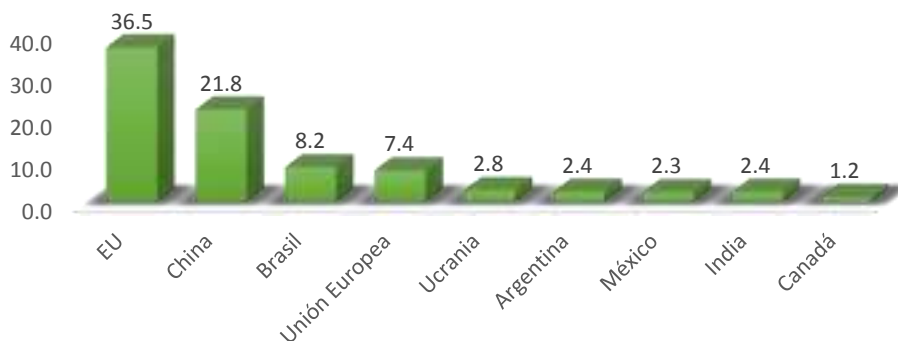


Figura 3.1. Producción mundial de maíz (%). Ciclo primavera-verano, 2014.

### 3.3 La producción de maíz en el Mundo

El maíz (*Zea mays L.*) es el cereal más importante en el mundo y el principal grano que se utiliza como alimento en los países de México, Centroamérica, región Andina, Este y Sur de África y China. En el mundo se producen 791.49 millones de toneladas, de las cuales 483.48 las producen los países en desarrollo y el resto a países desarrollados. En México se producen 24.7 millones de toneladas, en una superficie de 8.12 millones de hectáreas (SIAP, 2011). En México, el maíz ocupa el primer lugar por superficie cultivada y de producción, pero su rendimiento promedio ( $2.3 \text{ t ha}^{-1}$ ) es inferior al promedio mundial ( $4.47 \text{ t ha}^{-1}$ ). Esto se atribuye a que de la superficie utilizada, solo el 80% dispone de agua de lluvia que en algunas ocasiones es escasa y mal distribuida (Zarco *et al.*, 2005)

De las 8.12 millones de hectáreas de maíz, 6.2 corresponden a maíz blanco de temporal y 1.3 millones a maíz blanco de riego. El maíz amarillo se cultiva en 225 mil hectáreas de temporal y 194 mil ha hectáreas de riego. En el 2010, la producción de maíz blanco fue de 21.2 millones de toneladas y la de maíz amarillo de 2.0 millones de toneladas. Desde 1980, México se ha vuelto cada vez más dependiente de las importaciones de maíz, especialmente maíz amarillo para alimentación animal y uso industrial (Escenario Base 2009-2018; SIAP, 2009).

Hay un gran interés en que México reduzca las importaciones y abastezca su consumo de maíz con producción propia en los próximos años. Para esto es necesario aumentar la productividad del maíz dándoles a los productores acceso a tecnologías apropiadas, incluidas las semillas mejoradas. En México, un desafío clave para desarrollar el sector semillero es que la mayoría de los productores de maíz son agricultores pequeños de bajos ingresos, que producen para el mercado y para su propio consumo. Además, los agricultores tradicionalmente siembran poblaciones de plantas de diferentes tipos de maíz; utilizan el reciclaje, la mezcla y el intercambio de semillas de variedades locales (los llamados criollos); cuando

éstas se mezclan con los híbridos, el proceso se denomina criollización (Bellón y Berthaud, 2006).

En el Estado de Guanajuato, 37.5 % de la superficie es destinada a la siembra de maíz, de los cuales el 75% es de temporal y solo el 25% restante es de riego (SIAP, 2011).

### **3.4 Producción Nacional**

Datos del directorio de productores, obtentores y comercializadores de semilla del 2009 indican que la producción de semilla se concentra en estados del Noroeste y de El Bajío (Luna-Mena *et al.*, 2012). Por ello, no es casualidad que entre los Estados con mayor consumo de semilla mejorada se encuentren Sinaloa, Sonora, Jalisco y Guanajuato, en los cuales la superficie sembrada con este tipo de insumo es mayor de 70 % (Ortega-Paczka, 2003).

De acuerdo a los datos reportados en 2015 por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción en México para el año agrícola 2014, alcanzó un volumen de 23.2 millones de toneladas, de los cuales 54.8 % correspondieron a la producción en temporal y 42.3 % a producción base riego como se muestra en la Figura 3.2. Los estados que más contribuyeron al monto de las cosechas nacionales para producción en temporal fueron principalmente Jalisco, en segundo lugar el Estado de México, seguido de Veracruz, Guerrero, Chiapas y Michoacán y Guanajuato se sitúa en noveno lugar (SIAP, 2014).

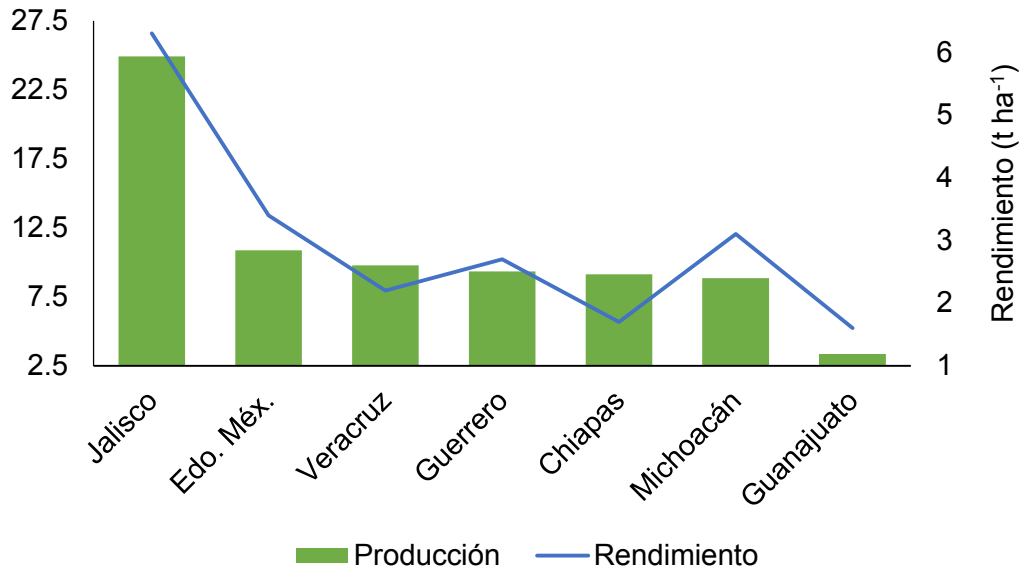


Figura 3.2. Principales Estados productores de maíz bajo condiciones de temporal.

Por otro lado en la Figura 3.3 se muestra los Estados que contribuyeron al monto de las cosechas nacionales para producción bajo riego fueron en primer lugar Sinaloa, en segundo lugar Chihuahua y en tercer lugar Guanajuato, seguido de Michoacán y Tamaulipas para producción en riego (SIAP, 2014).

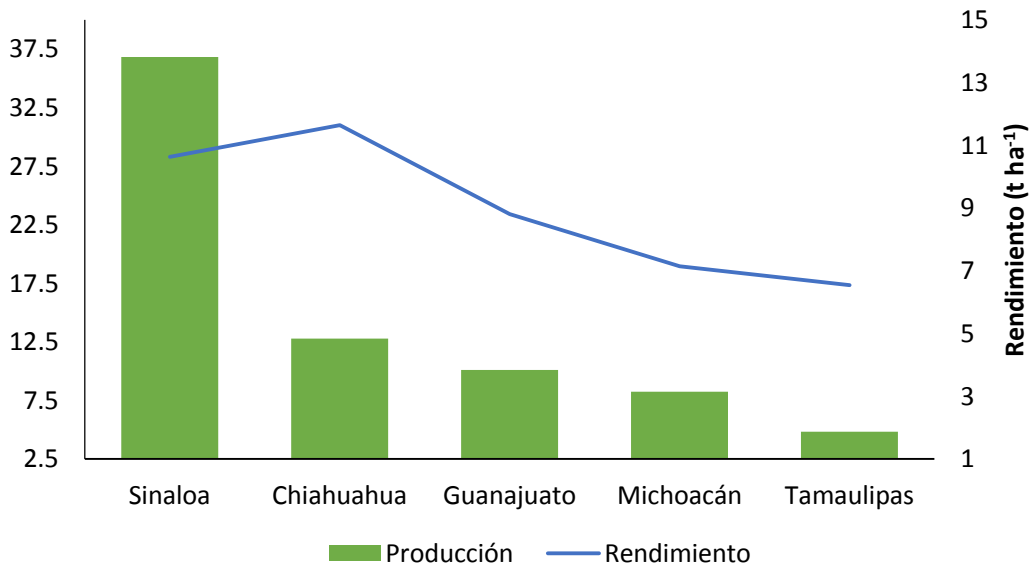


Figura 3.3. Principales Estados con mayor producción de maíz bajo condiciones de riego.

### 3.5 Producción de maíz en Guanajuato

En cuanto al Estado de Guanajuato (Figura 3.4), los Municipios de Pénjamo (8.42 %), Valle de Santiago (7.29 %) y Abasolo (6.38 %) destacan en producción de grano de temporal. La producción total de maíz en el Estado de Guanajuato bajo condiciones de temporal es de 30.11 % y bajo condiciones de riego es de 69.88 % (SIAP, 2014).

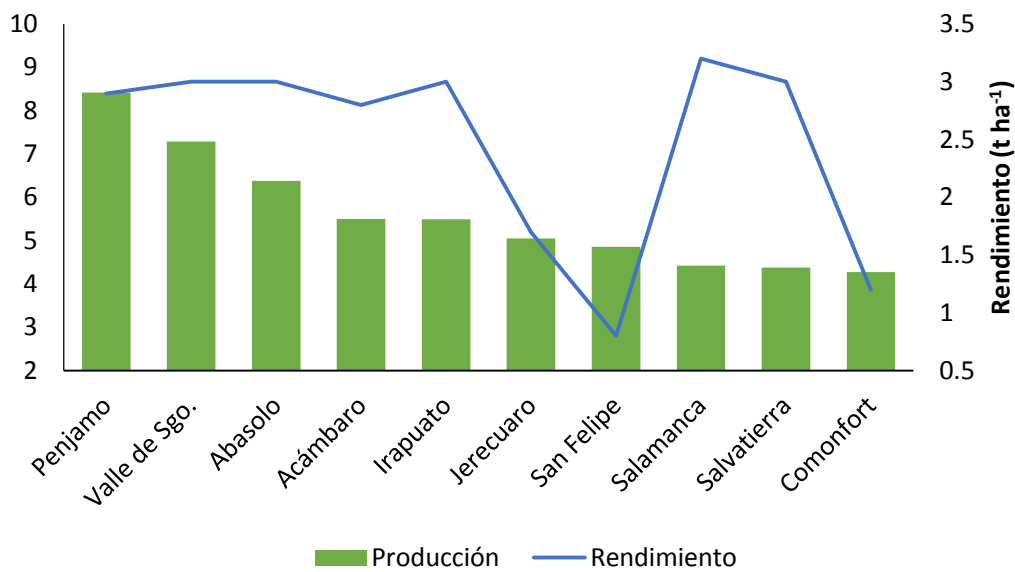


Figura 3.4. Principales municipios con mayor producción de maíz bajo condiciones de temporal en Guanajuato.

La Secretaría de Desarrollo Agroalimentaria y Rural (SDAyR) señala que el Estado de Guanajuato es una de las entidades agrícolas más importantes del país y uno de los primeros por la gran diversidad de cultivos. Además indica que las



condiciones para el desarrollo agrícola del Estado son propicias por sus características de clima y suelo; asimismo, por la infraestructura y servicios para la producción y comercialización, donde se establecen cultivos bajo dos regímenes de humedad: riego y temporal (SDAyR, 2015).

La producción anual bajo condiciones de riego destaca Pénjamo con 10.02 % y rendimiento del 8.91 %, en segundo lugar se encuentra Salvatierra con 7.35 % y rendimiento del 9.20 % y en tercer lugar Acámbaro con 7.01 % en producción y 9.15 % en rendimiento.

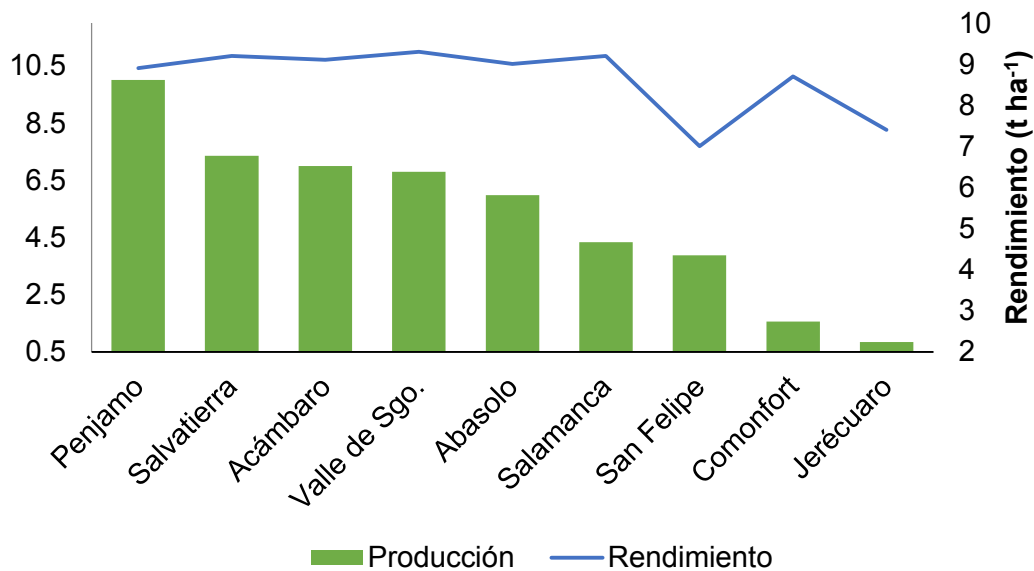


Figura 3.5. Principales productores de grano de maíz de riego en Guanajuato.

### 3.6 Origen del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es un pasto gigante domesticado de origen tropical mexicano. La planta es usada para producir grano y forraje, los cuales constituyen la base para la elaboración de un buen número de alimentos tanto para nuestra

especie como para los animales. Mesoamérica es reconocida como centro de origen y diversidad de aproximadamente 225 especies vegetales cultivadas. Una de las contribuciones más importantes del centro de diversidad mesoamericano al mundo es el maíz (Hernández, 1985).

El maíz es la forma domesticada de una sub especie de Teocintle (*Zea mays* ssp. *Parviglumins*), un pasto silvestre que existe de manera natural en regiones aisladas. Actualmente, restringidas a elevaciones entre los 400 y 1700 msnm de la Sierra Madre Occidental. La domesticación del Teocintle antecede al período histórico Mesoamericano, es un proceso que involucra una extensa tradición oral que alude a una época inmersa en mitos y folklor. Careciendo de registro histórico formal, el tema del Origen del maíz ha sido por largo tiempo un problema etnobotánico controvertido. Recientemente, varias técnicas modernas han sido aplicadas a este problema. Estas técnicas incluyen, además de las tradicionales excavaciones arqueológicas, a la taxonomía numérica (cladística), al análisis de cromosomas y aloenzimas, así como a las técnicas aceleradas de dotación basadas en la espectrometría de masas. La aplicación de tales procedimientos ha permitido a los científicos precisar la fecha y sitio aproximados en que ocurrió la domesticación del Teocintle: entre los 4 a 3 000 años A.C. en la cuenca del río Balsas en el actual Estado de Michoacán.

Sin embargo, aún hay ciertas dudas en la búsqueda de evidencias pertinentes a los orígenes de la agricultura en Mesoamérica, los arqueólogos Richard McNeish y Kent Flannery guiaron a varios equipos interdisciplinarios en diversas excavaciones de cuevas ubicadas en las zonas áridas altas de la Altiplanicie Central Mexicana. Desde 1940 hasta los 1960, dichos investigadores documentaron la transición del estilo de vida cazador-recolector a la de los primeros agricultores que ocurrió durante el 4to y 3er milenio antes de Cristo, en los actuales Estados de Tamaulipas, Puebla y Oaxaca (las fechas indicadas corresponden a las asignadas por los investigadores actuales). México es el centro de diversidad del maíz, grano que es fundamental para el sustento de

millones de productores. En México, los agricultores domesticaron el maíz hace unos 9,000 años y, desde entonces, el cultivo se ha diversificado, gracias a la selección constante, en muchas variedades y poblaciones autóctonas (Bellon, 2009). La descripción que emergió correspondió a una serie de bandas migratorias que seguían los patrones estacionales evidenciados por plantas y animales (Salvador, 2001).

### 3.7 Taxonomía del género *Zea*

El maíz (*Zea mays* L.) y sus parientes más cercanos, los teocintles (*Zea* spp.), son miembros de la tribu Maydeae, de la Subtribu Tripsacinae y de la familia Poaceae. El número cromosómico es  $2n= 20$  para el maíz y todas las especies anuales de teocintle; existen dos especies perennes de teocintle, una diploide y una tetraploide. La taxonomía del género *Zea*, fue propuesta por Wilkes (1967), quien describió cuatro razas de teocintle para México (Nobogame, Mesa Central, Chalco y Balsas) y dos para Guatemala (Guatemala y Huehuetenango). Con base en los trabajos de Doebley e Iltis (1980) y Doebley (1990) el género *Zea* se divide en dos secciones: (a) la sección *Luxuriantes* incluye *Zea perennis* (Hitch.) Reeves & Mangelsdorf, 1942; *Zea diploperennis* Iltis, Doebley & Guzmán, 1979; *Zea luxurians* (Durieu & Ascherson) Bird, 1978; y *Zea nicaraguensis* Iltis & Benz, 2000. (b) la sección *Zea* incluye *Zea mays* L., 1753; dividida en: *Zea mays* ssp. *mexicana* (Schrader) Iltis, 1972 para las razas Chalco, Mesa Central y Nobogame; *Zea mays* ssp. *parviglumis* Iltis & Doebley, 1980, que incluye a la raza de teocintle Balsas; *Zea mays* ssp. *huehuetenangensis* (Iltis & Doebley) Doebley, 1990 para la raza de teocintle Huehuetenango y *Zea mays* L. ssp. *mays* para el maíz cultivado (Sanchez, 2011).

El maíz (*Zea mays* L.), pertenece a la familia de las Poáceas *Gramíneae* subfamilia *Panicoideae* y tribu *Andropogoneae*; la cual incluye siete distintos géneros: *Zea* (como el teocintle), *Tripsacum* (conocidas como arrocillo o maicillo), *Chionachne*, *Sclerchne*, *Polytocha*, *Trolobachne* y *Coix*, siendo este último el único

que tiene cierta importancia económica en el sudeste de Asia. En general, solo *Zea mays* se considera como una especie de gran importancia económica dentro de las Maydeas (Pandey, 1998; Paliwal, et al., 2001; Sánchez- Ortega, 2014).

La clasificación taxonómica del maíz ha sido ampliamente estudiada, pertenece al reino Plantae; división Magnoliophyta (Cronquist, Takhtajan y W.Zimmermann, 1966); clase Liliopsida; orden Poales (Small 1903); familia Poaceae (Barnhart Reduca); género *Zea* (GBIF, 2016).

### **3.8 Generalidades del cultivo de maíz**

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de uno a cinco metros, con pocos macollos o ramificaciones, su aspecto recuerda al de una caña de azúcar por la presencia de nudos y entrenudos y su médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta (Jugenheimer, 1988).

Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, se conoce como panícula (o espiga) consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrollan los granos de polen. La coloración de la panícula está en

función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada. Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en las yemas axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen. La inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca; todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas (totomoxtle), los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas, el maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 a 1000 m (Jugenheimer, 1988; Reyes, 1990).

En la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento. El cultivo de maíz tiene importancia especial ya que constituye la base de la alimentación en nuestro país, siendo así el cultivo más importante en México. Es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas, por eso se le cultiva en casi todo el mundo. El maíz es uno de los granos básicos alimenticios más antiguos e importantes que se conocen. Constituye una fuente importante de carbohidratos y proteínas. El contenido del grano consiste principalmente de carbohidratos (86 %), proteínas (9 %), lípidos (3 %) y fibra (2 %).

### 3.9 Mercado de la semilla mejorada en México

Algunas investigaciones y pronunciamientos se han centrado en las interrogantes anteriores. La información del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semilla (SNICS) señala que la cobertura de la superficie sembrada con semilla certificada de granos básicos (entre ellos el maíz) es aproximadamente 40 % (Rodríguez-Flores, 2011). La tasa anterior indica un aumento importante en los últimos 15 años, ya que en 1996 sólo 20.3 % de la superficie de maíz se sembraba con variedades mejoradas (Morris y López-Pereira, 2000).

Datos publicados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2010) señalan que en 2010 el consumo de semilla mejorada de maíz en el país fue de 162 mil toneladas. En ese año se produjeron 75 mil toneladas con la que se cubrió sólo 47 % de la superficie sembrada total (7.86 millones de hectáreas). Aunque el uso de semilla mejorada ha aumentado en los últimos 15 años, el padrón de adopción ha sido irregular y su uso se ha concentrado en zonas de producción comercial (Aquino-Mercado *et al.*, 2009). Datos del directorio de productores, obtentores y comercializadores de semilla del 2009 indican que la producción de semilla se concentra en estados del Noroeste y de El Bajío (Luna-Mena *et al.*, 2012). Por ello, no es casualidad que entre los estados con mayor consumo de semilla mejorada se encuentren Sinaloa, Sonora, Jalisco y Guanajuato, en los cuales la superficie sembrada con este tipo de insumo es mayor de 70 % (Ortega- Paczka, 2003).

### 3.10 Diversidad genética de maíz

Evidentemente el maíz no fue el primer cereal domesticado por los primeros mesoamericanos, al parecer fue *Setaria geniculata*, un ancestro de los sorgos actuales. Sin embargo, para el 2700 A.C. el maíz había sido introducido de Michoacán al Valle de Tehuacán, Puebla, los residentes de las cuevas de *Coxcatlán* en las estribaciones del sur del valle estaban utilizando un maíz

reventador de pequeñas mazorcas (con 6 a 9 frutos por olote) y habían innovado el proceso para la molienda de los frutos de maíz utilizando morteros de piedra para elaborar una especie de pan de poco grosor (Salvador, 2001).

El maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia de las gramíneas, a la tribu maideas, se cree que se originó en los trópicos de América Latina. Los géneros de origen Americano son: *Zea*, *Tipsacum* y *Euchlaena*. Debido a su gran variabilidad, el maíz como especie, muestra una gran adaptación extremadamente amplia. Como cultivo comercial, crece entre las latitudes 55° N y 40° S y desde el nivel del mar hasta los 2800 m de altura.

El antropólogo e historiador del maíz mexicano Warman (1988) se ha referido al maíz como un artefacto completamente cultural, señalando que en realidad se trata de una invención humana, una especie que no existe naturalmente en forma silvestre y que sólo puede sobrevivir si los humanos lo siembran y protegen. De igual manera podemos afirmar que la domesticación y el mejoramiento del maíz están fuertemente correlacionados con el desarrollo de la complejidad cultural evidenciada por las grandes civilizaciones de la Mesoamérica prehispánica.

La evaluación de la diversidad en maíces nativos es importante para el planteamiento de estrategias de conservación, caracterización y uso del germoplasma en el mejoramiento genético, dado su potencial como fuente de características nuevas, exóticas y favorables.

En el mejoramiento de la planta de maíz se utilizan distintos materiales genéticos, su caracterización y evaluación en regiones diferentes a las de su origen, con la finalidad de que expresen todo su potencial y así de esta forma poder utilizarlos para obtener una mayor productividad en todas estas variedades mejoradas. Desde mediados de la década pasada la agricultura nacional ha experimentado un salto tecnológico que ha permitido aumentar los rendimientos favoreciendo el cultivo del maíz. Durante los últimos treinta años, los métodos de mejoramiento genético de las plantas han evolucionado de una forma rápida y precisa como

consecuencia de continuas investigaciones. Esto ha propiciado la diversificación de los esquemas de fitomejoramiento en los cuales se ha logrado numerosos adelantos en la ciencia agrícola en beneficio de la humanidad.

Los esquemas de fitomejoramiento han sido diseñados de alguna manera por la forma de reproducción de las plantas; de ahí que antes de iniciar un programa de mejoramiento genético de cualquier planta, será necesario conocer sus diferentes mecanismos de reproducción natural, para de esta forma poder extrapolarlos exógenamente, a través del manejo artificial por parte del Investigador.

### **3.11 Mejoramiento por hibridación en maíz**

#### **3.11.1 El maíz híbrido**

Hoy en día dependemos directa o indirectamente de las plantas para nuestra alimentación, la mayoría de los alimentos son vegetales o se derivan de estos, al considerar la gran importancia de las plantas, no es sorprendente que el hombre se preocupara desde hace miles de años por obtener tipos de plantas superiores para satisfacer sus necesidades tanto económicas como nutrimentales. Estos intentos se sistematizaron con el estudio de la ciencia conocida como la genética. De acuerdo a las necesidades del hombre este se ha visto forzado a aumentar la producción agrícola de las plantas llevándola a sus máximos rendimientos, en el caso del maíz, el incremento de la producción desde sus orígenes a la actualidad ha sido el resultado de una selección minuciosa de nuestros ancestros, actualmente los rendimientos altos de los híbridos de maíz son generados por la heterosis e investigaciones encaminadas al desarrollo de híbridos superiores, a los que cada vez se presta más atención tanto en los programas de mejoramiento del sector público como del sector privado.

#### **3.11.2 Objetivos del maíz híbrido**

La hibridación es el acto de fecundar los gametos femeninos de un individuo con gametos masculinos procedentes de otro individuo genéticamente diferente. En el



mejoramiento de cultivos alógamos, la hibridación se realiza con los siguientes objetivos:

- a) Explotar el vigor híbrido (heterosis)
- b) Formar ideotipos (arquetipos) específicos para determinados ambientes
- c) Provocar la variabilidad y selección de nuevos materiales
- d) Seleccionar los materiales que intervendrán como progenitores en las cruzas
- e) Seleccionar la craza adecuada y deseable de acuerdo con las exigencias del consumidor

Estos objetivos se logran por medio de cruzamientos intervarietales e interespecíficos y de la utilización de líneas endogámicas de amplia aptitud combinatoria; es decir, que los genotipos que intervienen en los diferentes cruzamientos híbridos pueden ser líneas, híbridos, variedades, especies, razas, clones o cualquier conjunto de plantas que producen una F1 de suficiente superioridad (Chávez-Araujo, 1995).

El fitomejoramiento es el arte y la ciencia de alterar o modificar la herencia de las plantas para obtener cultivares mejorados genéticamente (variedades o híbridos), adaptados a condiciones específicas, de mayores rendimientos económicos y de mejor calidad que las variedades nativas o criollas (Vallejo y Estrada, 2002). El fitomejoramiento moderno ha logrado notables resultados en elevar rendimiento y aumentar la resistencia a plagas y enfermedades, así como la calidad de los productos alimenticios, especialmente en entornos favorables (Moore y Tymowski, 2008).

El mejoramiento genético de las plantas aplica numerosos métodos para evaluar y aprovechar al máximo la variación natural, o bien, para producirla y seleccionar las plantas de mayor producción. El mayor rendimiento de las plantas depende de su potencialidad genética y de su capacidad para aprovechar mejor los factores del

ambiente; es decir, su adaptación al medio, debido a que: Rendimiento = expresión fenotípica; Fenotipo = genotipo + ambiente + interacción entre genotipo y ambiente. El ambiente está determinado por una serie de condiciones variables para diferentes años en un mismo lugar y para diferentes lugares en un mismo año. Por lo tanto, es necesario repetir las pruebas de adaptación tantas veces como sea posible, a fin de apreciar las reacciones de cierto cultivo ante el ambiente (Paredes, 2007).

El mejoramiento consta de tres grandes fases: a) Identificación o creación de la variabilidad genética; b) Selección de genotipos que poseen las combinaciones genéticas deseadas y c) Liberación de los mejores cultivares para la producción agrícola (Reyes *et al.*, 2004). Las metodologías utilizadas para mejorar la productividad del maíz son la selección recurrente para mejoramiento de poblaciones y desarrollo de líneas puras para obtención de híbridos. Para generar nuevos híbridos son necesarias, al menos, dos poblaciones contrastantes, líneas endocriadas o puras, con buen comportamiento *per se*, que sean superiores al momento de realizar las cruza y muestren alto grado de heterosis en sus combinaciones híbridas (Paliwal *et al.*, 2001).

### **3.12 Hibridación en maíz**

La hibridación en maíz se considera como un método genotécnico que tiene como objetivo principal el aprovechamiento de la heterosis en la generación  $F_1$  (híbrido  $F_1$ ) provenientes del cruzamiento entre dos progenitores ( $P_1$  y  $P_2$ ) con cualquier estructura genotípica, las cuales pueden ser líneas endogámicas, variedades de polinización libre, variedades sintéticas o las poblaciones  $F_1$  mismas en el caso de las cruza dobles (Márquez, 1988). Para la obtención de híbridos de maíz en la forma clásica es mediante la obtención de líneas de primera autofecundación ( $S_1$ ), prueba temprana de las líneas  $S_1$  (no siempre llevada a cabo), avance en las

líneas autofecundadas, prueba de aptitud combinatoria específica (híbridos simples) y obtención de híbridos dobles o trilineales (Márquez, 2009).

Hoy en día dependemos directa o indirectamente de las plantas para nuestra alimentación, ya que todos los alimentos son vegetales o se derivan de estos; por ejemplo: carne huevos y productos lácteos. De las plantas se derivan también directa o indirectamente, la mayoría de las fibras textiles, fármacos, combustibles, lubricantes y materiales de construcción. Además unas plantas desempeñan funciones de ornato (Chávez, 1993).

Considerando la gran importancia de las plantas, no es de sorprender que el hombre se haya preocupado desde hace miles de años por obtener tipos de plantas superiores para satisfacer sus necesidades. Estos intentos se sistematizaron con el estudio de la ciencia conocida como la genética. De acuerdo a las necesidades del hombre se ha visto forzado en aumentar la producción agrícola de las plantas llevándolas a sus máximos rendimientos. Por dar un ejemplo se dice que desde hace más de veinte años la población ha aumentado de manera incontrolable y la superficie de cultivo no solo no ha crecido sino todo lo contrario a disminuido con esto ahora se pretende hacer que se aumente la producción y en menor superficie.

Para los fines de este estudio las semillas mejoradas son aquéllas que han sido modificadas mediante el proceso tradicional de mejoramiento genético convencional que incluye la producción de líneas, variedades de polinización abierta y la hibridación. El mejoramiento genético convencional de maíz se basa principalmente en la hibridación, mediante el desarrollo de líneas puras por autopolinización, la producción de cruzas entre las líneas derivadas, la identificación de híbridos que tienen un rendimiento estable y confiable a través de un gran número de ambientes y la producción de los mejores híbridos para su utilización por parte del agricultor (Hallauer y Carena, 2009).

### **3.13 Tipos de híbridos**

Los tipos de cultivo que hoy en día existen para el mejoramiento tradicional son 1) líneas puras, 2) híbridos, 3) multilíneas y 4) sintéticos.

#### **3.13.1 Mestizos**

Los mestizos ((A x B) x VPL), es una cruce entre líneas auto fecundadas y un progenitor en común como polinizador (variedad, híbrido simple o línea). Se utiliza para determinar la habilidad combinatoria general o específica de las líneas; es decir, para descubrir los genotipos sobresalientes (Chávez, 1993).

#### **3.13.2 Cruzas simples**

Una cruce simple (A x B), ocurre entre dos genotipos diferentes, generalmente líneas endocreadas. Se utiliza para formar cruces triples y dobles; también se denomina híbrido simple (Chávez, 1993).

#### **3.13.3 Cruzas de líneas hermanas**

La cruce de líneas hermanas (A x A') X (B x B'), son combinaciones entre sub líneas de la misma línea pura. Algunas cruces entre sub líneas tienen rendimiento, vigor y resistencia al acame considerablemente más elevado que la línea pura original y son prácticas para la producción de semilla de híbridos comerciales (Jugenheimer, 1981).

#### **3.13.4 Cruza de tres líneas o híbrido triple**

La cruce de tres elementos (A x B) x C, es lo que resulta de cruzar un híbrido simple o su F1 de una cruce simple con una tercer línea. Se utiliza en siembras

comerciales para la producción de grano. Tienden a ser uniformes y con un rendimiento ligeramente superior al de las cruzas dobles (Chávez, 1993).

### **3.13.5 Cruza modificadas de tres líneas**

Un híbrido especial de uso bastante generalizado en la crusa de tres elementos modificada  $(A \times B) \times (C \times C')$ . Estos híbridos, por lo general, son similares a las cruzas de tres elementos en su comportamiento. El progenitor masculino o polinizador  $(C \times C')$  generalmente es más vigoroso que la línea C; por lo general esparce más polen durante un periodo de tiempo más prolongado que una línea pura (Chávez, 1993).

### **3.13.6 Cruzas dobles**

Por muchos años las cruzas dobles  $(AXB) \times (CXD)$ , construyeron el tipo de híbrido más generalizado. Es la  $F_1$  resultante del cruzamiento de dos híbridos simples y es la crusa más utilizada a nivel comercial para producción de grano (maíz). También se denomina híbrido doble (Chávez, 1993).

### **3.13.7 Cruza regresiva doble**

En la actualidad los híbridos de cruzas regresivas dobles  $[(AXB) \times A] \times [(C \times D) \times C]$  no se utilizan mucho, ya que su producción es demasiado complicado y costosa. Sin embargo, pueden tener un desempeño excelente y dar razonable uniformidad a la planta y mazorca (Chávez, 1993).

### **3.13.8 Cruza regresiva simple**

Los híbridos de cruzas simples  $[AXB] \times [(CXD) \times C]$  pueden desempeñarse extraordinariamente bien, contribuir a la uniformidad de la planta y mazorca y

práctico de producir, siempre y cuando la semilla se cultive con un progenitor de cruce simple vigoroso (Chávez, 1993).

### **3.13.9 Cruzas múltiples**

Las cruces múltiples, que comprenden seis, ocho, o más líneas puras se han usado poco comercialmente. Pueden ser útiles bajo condiciones adversas, en donde los costos menores de semilla o la mayor variabilidad en el cultivo son factores importantes. Sin embargo, su producción es más complicada que la de los híbridos que incluyen menos líneas y, por lo general, no son híbridos de rendimiento máximo cuando se usan bajo condiciones de crecimiento deseables (Chávez, 1993).

### **3.13.10 Sintéticos o compuestos**

Los sintéticos o compuestos se producen a base de más de cuatro líneas puras seleccionadas. La semilla de generaciones avanzadas de cruces múltiples es de variedad sintética. Su desempeño no es superior al de variedades de polinización libre. Los sintéticos han probado ser depósitos útiles de combinaciones génicas deseables para el desarrollo de líneas puras superiores (Jugenheimer, 1981).

## **3.14 Interacción genotipo-ambiente**

La interacción entre Genotipo y Ambiente (IGA) es un fenómeno universal cuando diferentes genotipos (cultivares) son evaluados a través de diferentes ambientes (Cooper y Hammer, 1996; Brancourt-Humel y Lecomte, 2003; Yan y Kang, 2003). La IGA se refiere a la respuesta diferencial de genotipos o cultivares a través de una serie de ambientes (Kang, 1998; 2004).

La IGA complica la selección de genotipos superiores (Magarl y Kang, 1993; Ebdon y Gauch, 2002) y reduce la correlación entre los valores de los fenotipos y genotipos, reduciendo así el progreso de la selección (Comstock y Moll, 1963). La IGA es considerada una de las razones principales del fracaso del mejoramiento genético vegetal de pequeños productores con pocos recursos (Ceccarelli *et al.*, 2006) y es por lo anterior que en los programas de mejoramiento genético los estudios de IGA deben ser parte del proceso. En los ensayos multi-ambientes (EMA), el diferencial de genotipos responde a condiciones ambientales variables, especialmente cuando está asociado con los cambios en la clasificación genotípica, lo cual dificulta la identificación de híbridos superiores y estables (Epinat-Le Signor *et al.*, 2001).

Al sembrar cultivares en diferentes ambientes, los cultivares con mayor rendimiento y más estables se pueden identificar (Lu'quez *et al.*, 2002). Cuando se seleccionan genotipos para una amplia adaptación, los fitomejoradores buscan preferentemente, que haya ausencia de IGA (Matus-Cádiz *et al.*, 2003). Por lo tanto, la estimación de la estabilidad de rendimiento se vuelve importante para identificar genotipos consistentes y que produzcan altos rendimientos (Kang, 1998). Muchos modelos estadísticos de estabilidad se han utilizado para determinar si los cultivares evaluados en EMA son estables (Flores *et al.*, 1998; Hussein *et al.*, 2000; Robert, 2002; Sabaghnia *et al.*, 2006).

Aunque hay suficiente evidencia de que la selección bajo condiciones de estrés puede acelerar las ganancias de reproducción (Bézniger *et al.*, 1997; Ceccarelli *et al.*, 1992; Pederson y Rathjen, 1981) la dificultad de escoger ambientes apropiados para la selección podría limitar la identificación de genotipos superiores (Blum, 1979). La expresión de los micronutrientes y el grado de las IGA a través de diferentes ambientes, determina la proyección, el mejoramiento y las metodologías de evaluación usadas, lo cual refleja la heredabilidad de la característica, la variación genética y por lo tanto, las ganancias genéticas potenciales (Reynolds *et al.*, 2005).

El conocimiento sobre la presencia y la IGA puede ayudar a los mejoradores a seleccionar los métodos apropiados de mejoramiento y a seleccionar los procedimientos y la intensidad de la prueba a utilizar (Baker, 1969).

### **3.15 Calidad de semilla**

El vigor de las semillas ha sido definido como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas. Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (International Seed Testing Association, 1995). Los aspectos del comportamiento asociados con el vigor de las semillas incluyen: a) tasa y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento de plántulas; b) comportamiento en el campo, incluyendo la tasa y uniformidad de la emergencia de las plántulas y c) comportamiento después del almacenamiento y transporte, particularmente la disminución de la capacidad de germinación.

La calidad de las semillas disminuye con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el tiempo en que estas permanecen almacenadas. El primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido por una reducción en la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente la muerte de las semillas (Ferguson, 1995). Según este autor, el vigor de las semillas se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas, incluyéndose: 1) cambios en los procesos bioquímicos; 2) la tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas y 3) la germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés.



Las alteraciones en los procesos bioquímicos son generalmente los primeros cambios detectables que ocurren durante el deterioro de un lote de semillas. La prueba de conductividad eléctrica es considerada una buena prueba de vigor que permite medir el nivel de integridad de las membranas celulares (Ferguson, 1995).

En este contexto, la semilla es un factor básico para el éxito de la agricultura moderna y la utilización de variedades con potencial para obtener altos rendimientos en granos o forrajes. Para contribuir a este propósito se han desarrollado técnicas de análisis que permiten evaluar la calidad de las semillas para la siembra (Hernández y Carballo, 1997), las cuales son de interés tanto para la industria semillera como para las instituciones responsables de la certificación, ya que determinan el valor de las semillas para beneficio del agricultor (ISTA, 2005).

Una semilla de calidad contribuye a mayor eficiencia varietal productiva, ya que es capaz de emerger de manera rápida y uniforme, bajo diferentes condiciones ambientales. La calidad de la semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos (Kelly, 1988), los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo, entre los que destacan: la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria (Basra, 1995; Copeland y McDonald, 1995). Por otro lado, la calidad física involucra características tales como: contenido de humedad, peso por volumen y pureza (Moreno, 1996).

De manera adicional, hoy resultan valiosas para las empresas productoras de semilla y para el usuario, tamaño y forma de la semilla, peso de mil semillas, color y daño por insectos y hongos (Basra, 1995; ISTA, 2005). Cabe destacar que la calidad fisiológica se refiere a mecanismos intrínsecos de la semilla que determinan su capacidad de germinación, la emergencia y el desarrollo de aquellas estructuras esenciales para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Basra, 1995).

### **3.16 La calidad de la semilla y sus componentes**

La calidad de cualquier producto, en un sentido amplio, es el conjunto de características que el consumidor evalúa para decidir si satisface sus expectativas. En el contexto de las semillas la calidad puede subdividirse en cuatro cualidades básicas: genética, fisiológica, sanitaria y física.

La presencia de las cuatro cualidades esenciales en su máximo nivel permite que la semilla esté en su máxima calidad integral. Cada una de ellas aporta su capacidad para originar plantas productivas. La debilidad en cualquiera de ellas introduce un factor limitante y como consecuencia plantas poco productivas. Por ejemplo, la mejor genética no puede expresar su verdadero potencial si la semilla está fisiológicamente deteriorada mostrando mala germinación.

#### **3.16.1 Calidad Genética**

Se produce en la etapa del mejoramiento genético. Los trabajos de cruzamiento, selección y las redes de verificación que han desarrollado los centros especializados en mejoramiento genético (públicos y privados), están orientados a obtener variedades e híbridos de mayor productividad, precocidad, adaptabilidad, calidad del grano, mayor eficiencia en el uso del agua y nutrientes. Obtenida una nueva variedad o híbrido comienza la etapa de multiplicación bajo normas estrictas de aislamiento, eliminación de plantas fuera de tipo y verificación permanente que permitan asegurar la identidad y pureza genética evitando la degeneración o dilución del genotipo.

#### **3.16.2 Calidad Fisiológica**

Es la capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. En el momento que la semilla madura llega a la máxima

vitalidad; a partir de ese momento comienza a envejecer o perder vigor, porque la misma sigue respirando y gastando energía para mantener sus funciones vitales. Por ello el ambiente en que se almacene debe ser seco y fresco. El nivel extremo de envejecimiento es la muerte o pérdida de la capacidad para dar una planta normal y vigorosa. Cuando nos decidimos a sembrar "debemos preguntarle" a la semilla cerca de qué extremo se encuentra: de la máxima vitalidad o de la muerte. Esta pregunta se responde en los laboratorios de análisis de semilla con pruebas específicas de germinación y vigor. Antes de sembrar se deberá comprobar que la semilla coincida con el rótulo de la bolsa y analizar su calidad en un laboratorio cercano (Terenti, 2004).

### **3.16.3 Calidad Sanitaria**

Las actividades de investigación y desarrollo de variedades o híbridos son capaces de incorporar características de resistencia y tolerancia a enfermedades. Estas actividades se deberán complementar en la etapa de producción de semilla utilizando semilla original sana, sanidad de los lotes de producción, rotación de cultivos, aislamiento, tratamiento de la semilla, acondicionamiento y almacenamiento adecuados.

### **3.16.4 Calidad Física**

Se la asocia con el color, brillo, daños mecánicos (fracturas, cuarteos), la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable. Estos contaminantes pueden ser: materiales inertes, semillas de malezas comunes y nocivas, formas reproductivas de plagas y enfermedades. Siendo exigente en la calidad física podemos evitar la diseminación de enfermedades, insectos y malezas. A la hora de regular la sembradora, la uniformidad de tamaño también nos ayudará (Terenti, 2004).

El vigor de las semillas ha sido definido como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas. Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (International Seed Testing Association, 1995).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el campo experimental y laboratorio de Análisis de semillas del Instituto Tecnológico de Roque (ITR), ubicado en Celaya, Gto. en el km 8 de la carretera Celaya - J. Rosas. El clima del sitio experimental es semicálido BS1Hw (e), con una precipitación de 550 a 710 mm durante el año y temperatura media anual de 18.4 °C. Los suelos son de tipo Vertisol Pélico, que se caracterizan por ser arcillosos de coloración oscura. El sitio experimental se localiza en las coordenadas 20°31' LN y 100°45' LO, a una altura de 1765 msnm.

### 4.2 Material genético

Para el establecimiento del presente experimento se emplearon 49 genotipos de maíz; 36 de cruce triple, 9 de cruce simple y cuatro testigos comerciales de la región del Bajío (Tabla 4.1.)

Tabla 4.1. Genotipos de maíz; triples, simples y comerciales evaluados en el Instituto Tecnológico de Roque. 2016.

GENOTIPO	CRUZA	TIPO DE HIBRIDO	COLOR DE GRANO
1	TNM1 X TNM2 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
2	TNM1 X TNM3 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
3	TNM1 X TNM4 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
4	TNM1 X TNM5 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
5	TNM2 X TNM4 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
6	TNM2 X TNM5 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
7	TNM3 X TNM4 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
8	TNM3 X TNM5 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
9	TNM4 X TNM5 (CML11)	TRIPLE	BLANCO
10	TNM1 X TNM2 (CML27)	TRIPLE	BLANCO
11	TNM1 X TNM3 (CML27)	TRIPLE	BLANCO
12	TNM1 X TNM4 (CML27)	TRIPLE	BLANCO
13	TNM1 X TNM5 (CML27)	TRIPLE	BLANCO

14	TNM2 X TNM4 (CML27)	TRIPLE	BLANCO
15	TNM2 X TNM5 (CML27)	TRIPLE	BLANCO
16	TNM3 X TNM4 (CML27)	TRIPLE	BLANCO
17	TNM3 X TNM5 (CML27)	TRIPLE	BLANCO
18	TNM4 X TNM5 (CML27)	TRIPLE	BLANCO
19	TNM1 X TNM2 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
20	TNM1 X TNM3 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
21	TNM1 X TNM4 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
22	TNM1 X TNM5 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
23	TNM2 X TNM4 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
24	TNM2 X TNM5 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
25	TNM3 X TNM4 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
26	TNM3 X TNM5 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
27	TNM4 X TNM5 (CML81)	TRIPLE	BLANCO
28	TNM1 X TNM2 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
29	TNM1 X TNM3 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
30	TNM1 X TNM4 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
31	TNM1 X TNM5 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
32	TNM2 X TNM4 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
33	TNM2 X TNM5 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
34	TNM3 X TNM4 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
35	TNM3 X TNM5 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
36	TNM4 X TNM5 (PROMON)	TRIPLE	BLANCO
37	TNM1 X TNM2	SIMPLE	BLANCO
38	TNM1 X TNM3	SIMPLE	BLANCO
39	TNM1 X TNM4	SIMPLE	BLANCO
40	TNM1 X TNM5	SIMPLE	BLANCO
41	TNM2 X TNM4	SIMPLE	BLANCO
42	TNM2 X TNM5	SIMPLE	BLANCO
43	TNM3 X TNM4	SIMPLE	BLANCO
44	TNM3 X TNM5	SIMPLE	BLANCO
45	TNM4 X TNM5	SIMPLE	BLANCO
46	DAS 2358 (DOW)	TRIPLE	BLANCO
47	SAN ANDRES (CINCINNATI)	TRIPLE	BLANCO
48	CANELO (RICA)	TRIPLE	BLANCO
49	H374 (INIFAP)	TRIPLE	BLANCO

### 4.3 Manejo agronómico de los campos experimentales

#### 4.3.1 Preparación del terreno

##### 4.3.1.1 Barbecho

Este se realizó de forma mecánica a una profundidad de 30 cm.

#### **4.3.1.2 Rastra**

Se dieron dos pasos de rastra, una a lo largo del terreno y la otra de forma cruzada; para desmenuzar los terrones del terreno y paja del cultivo anterior.

#### **4.3.1.3 Surcado**

Se surcó de manera mecánica, a una distancia de 0.75 m entre surcos.

#### **4.3.2 Siembra del experimento**

La siembra se realizó el 15 de Marzo del 2016 en el ITR. La siembra se realizó de forma manual a una distancia de 16 cm entre semillas, para tener una densidad de población de 80000 plantas ha<sup>-1</sup>. La siembra fue en seco.

#### **4.3.3 Riegos**

Se aplicó un riego en la siembra y dos riegos de auxilio; los riegos de auxilio se realizaron cuando el cultivo tenía visible el cuello de la hoja 6 (etapa vegetativa V6) y en VT. Posteriormente el cultivo cumplió su ciclo con la época de lluvias.

#### **4.3.4 Escarda**

Se realizó una escarda de forma mecánica cuando en el cultivo se encontraba visible el cuello de la hoja 3 (etapa vegetativa V3) para restablecer los surcos, aporcar la tierra a la planta; posteriormente se efectuó una segunda cuando el cultivo se encontraba en V6.

#### **4.3.5 Fertilización**

Se aplicó la dosis recomendada por el INIFAP que consiste en 240-60-00; el 50 % del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra. El resto del nitrógeno a

los 40 días después de la siembra de forma manual. Como fuentes de fertilizantes se emplearon urea (46-00-00) y DAP (18-46-00).

#### **4.3.6 Control de malezas**

Se realizó un deshierbe de forma manual. Además se aplicó el herbicida selectivo Sansón® (nicosulfuron) a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> con mochila manual. Finalmente, se aplicó el herbicida secante Paraquat® para hoja angosta y 2-4-D® para hoja ancha cuando el cultivo se encontraba en madurez fisiológica.

#### **4.3.7 Control de plagas**

Se aplicó insecticida (cipermetrina), a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> para el control de gusano cogollero, ya que este fue la plaga que más se presentó en el cultivo. Las aplicaciones se realizaron de forma manual con una mochila de 15 L.

#### **4.3.8 Cosecha**

La cosecha se realizó de forma manual. Se colectaron las mazorcas de cada unidad experimental, considerando tres metros lineales por surco. Cada genotipo fue cosechado en diferente bolsa y etiquetado.

### **4.4 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental de látice parcialmente balanceado 7 x 7; con tres repeticiones y 49 genotipos. Cada unidad experimental estuvo constituida por un surco de cinco metros de longitud y separados a 0.75 metros.

### **4.5 Caracteres registrados**

#### **4.5.1 Caracteres agronómicos**



#### **4.5.1.1 Altura de planta (AP)**

Se determinó con un estadal graduado (m), desde la base de la planta hasta la base de la espiga, considerando diez plantas de cada parcela útil.

#### **4.5.1.2 Altura de mazorca (AM)**

Esta característica se determinó desde la base de la planta hasta el punto de inserción de la mazorca principal, tomando diez plantas por parcela útil (m).

#### **4.5.1.3 Número de hojas totales (NHT)**

Es la suma de hojas abajo y arriba de la mazorca de la muestra de las diez plantas con competencia completa.

#### **4.5.1.4 Aspecto general de la planta (AGP)**

Es una calificación que se dio en general a la parcela dependiendo de cómo se observa tomando en cuenta los acames, la altura de la mazorca, enfermedades foliares; un día antes de la cosecha. se midió en base a una escala de 1 a 3, de la siguiente manera: 1= Buen aspecto, 2= Aspecto regular, 3= Mal aspecto.

#### **4.5.1.5 Cobertura de mazorca (CM)**

Para esta característica, se midió en base a una escala de 1 a 3, de la siguiente manera:

1= Buena cobertura; cuando el totomoxtle rebasa 2 cm de la punta de la mazorca.

2= Cobertura regular; la punta del totomoxtle es menor a 2 cm, pero aun así la punta no esta descubierta.

3= Mala cobertura; la punta de la mazorca esta completamente desnuda.

## **4.5.2 Caracteres de rendimiento y sus componentes**

### **4.5.2.1 Longitud de mazorca (LMZ)**

En una muestra de diez mazorcas de cada parcela útil, se determinó la longitud de la mazorca, considerando desde la base de la mazorca hasta la punta (cm).

### **4.5.2.2 Diámetro de mazorca (DMZ)**

En una muestra de cinco mazorcas, con un vernier digital marca TRUPER se determinó el diámetro de mazorca, considerando la parte media de la mazorca (cm).

### **4.5.2.3 Número de hileras por mazorca (NHM)**

En una muestra de cinco mazorcas se obtuvo el número de hileras por cada mazorca y posteriormente se calculó la media.

### **4.5.2.4 Número de granos por hilera (GPH)**

En una muestra de cinco mazorcas se hizo un conteo de granos por hilera, considerando dos hileras por mazorca y el resultado se dividió entre dos (promedio).

### **4.5.2.5 Rendimiento de campo (RC)**

Se pesaron las mazorcas de cada parcela útil (un surco de tres metros de longitud). Con los datos obtenidos se estimó el rendimiento en  $\text{kg ha}^{-1}$  ajustando a un 12 % de humedad. El contenido de humedad se obtuvo con un medidor electrónico marca Seedburo; modelo: GMA-128 de las mazorcas recién cosechadas de campo, el rendimiento se calculó bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (((((10000 * PC) / ((0.75 * SC) * LS) * ((100 - HU) / (100 - 12))))))$$

Donde:

PC= peso de campo

SC=surcos cosechados

LS=longitud del surco

HU=humedad del grano

10000= 1ha

0.75= ancho del surco

#### **4.6 Caracteres de calidad de semilla**

En el laboratorio de análisis de semilla del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) se realizó la evaluación de calidad física y fisiológica de semilla en los genotipos. Estos caracteres fueron evaluados en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

##### **4.6.1 Peso de 50 semillas**

Para determinar el peso de 50 semillas se contaron y pesaron en una báscula granataria cuatro repeticiones de 50 semillas para cada material y posteriormente se determinó el promedio.

##### **4.6.2 Porcentaje de germinación estándar**

Se consideró el porcentaje de plántulas normales en dos momentos; al cuarto y séptimo día después de ser sometido el ensayo. Se sembraron cuatro repeticiones de 50 semillas por genotipo, utilizando toallas húmedas de papel, posteriormente se metieron en bolsas de polietileno y se colocaron en una cámara germinadora a 25°C (ISTA, 2005).

#### **4.6.3 Vigor de semilla**

El vigor de la semilla se obtuvo mediante la prueba de envejecimiento acelerado (ISTA, 2005); que consiste en someter las semillas a condiciones de estrés (42°C y 100 % HR) por 96 horas; posteriormente se hace una prueba de germinación estándar y se contabiliza al día séptimo el número de plántulas normales. Por cada material se hicieron cuatro repeticiones de cincuenta semillas.

#### **4.7 Análisis estadístico**

Para todos los caracteres evaluados se realizó un análisis de varianza, usando el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1999) ver 9.1. La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza para caracteres de calidad de semilla se presentan en la Tabla 5.1, donde se observaron efectos significativos entre genotipos para porcentaje de germinación estándar y peso de 50 semillas. Sin embargo, en el vigor evaluado a través de la prueba envejecimiento acelerado (EA) no se detectaron diferencias entre los genotipos evaluados. El coeficiente de variación fue bajo; por lo tanto, estos resultados se consideran aceptables.

Tabla 5.1. Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad de semilla de genotipos de maíz.

F.V.	G.L.	GE (%)	EA (%)	P50S (grs)
GENOTIPO	44	50.13**	35.25 <sup>ns</sup>	2.8**
ERROR	90	23.94	25.57	0.183
TOTAL	134	--	--	---
C.V (%)	--	5.28	5.54	2.01

\*\* , significativo al 0.01 de probabilidad. ns=no significativo. GE, EA, P50S, corresponden a la germinación estándar, envejecimiento acelerado y al peso de 50 semillas, respectivamente.

En la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey (Tabla 5.2), se muestra que la germinación estándar varió de 83.3 a 98.6 % de plántulas normales. Es importante mencionar que solo dos genotipos no alcanzaron el porcentaje mínimo establecido por el SNICS, que es de 85 % de germinación. Con respecto al vigor de la semilla todos los genotipos sometidos a esta prueba se consideran de alto vigor. El deterioro controlado a un contenido de humedad constante, refleja el método de almacenamiento de muchas especies en sacos de papel aluminio más que en almacenamiento abierto, reflejando su potencial de almacenamiento, lo que también ocurre con el envejecimiento acelerado (Powell, 1988). Aunque es importante señalar, que la calidad de las semillas disminuye con

el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el tiempo en que estas permanecen almacenadas. El primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido por una reducción en la germinación o de la producción de plántulas normales y finalmente la muerte de las semillas (Ferguson, 1995).

Por otro lado, Ducar (1970) comenta que las condiciones de germinación en el laboratorio son casi las ideales y el porcentaje de germinación alcanzado en la prueba suele ser superior al que cabe esperar en campo; de esta manera, los lotes de semillas con porcentaje bajo de germinación en laboratorio pueden dar una germinación mucho menor en el campo, así como una tasa reducida de establecimiento de las semillas que germinan a causa de un crecimiento más débil.

En este sentido, Perry (1983) señala que el vigor puede ser alterado por la constitución genética, el desarrollo y nutrición de la planta. Se ha establecido que los lotes de semillas que presenten germinación superior al 80% después del envejecimiento acelerado, podrían ser clasificados como de alto vigor, entre 60-80% como vigor medio y menores de 60% como de bajo vigor (Tekrony, 1995). Estos resultados difieren de los reportados por Aristizábal (2006), quien reportó porcentajes de germinación para semillas envejecidas por debajo del 60 %.

El peso de 50 semillas vario de 19.4 a 23.2 gramos donde los genotipos 36, 41, 28, 11 mostraron las semillas más pesadas mientras que las cruza 25, 12, 17 y 7 los valores más bajos en esta característica. En este sentido, Cervantes *et al.* (2006) concluyeron que las semillas más pesadas presentan un alto vigor, resultados que se contraponen en esta investigación.

Tabla 5.2. Comparación de medias para calidad de semilla en genotipos de maíz.

GENOT	GE	GENOT	EA	GENOT	P50S
11	98.667	24	96	36	23.240
30	98.667	4	96	41	22.813
13	97.333	35	96	29	22.813
4	97.333	28	96	11	22.680
17	94.667	11	92	38	21.253
28	94.667	18	90.667	26	21.206
35	93.333	1	90.667	4	21.206
2	93.333	44	90.667	16	21.200
3	86.667	37	86.667	25	19.886
45	86.667	45	86.667	12	19.873
6	84	9	85.333	17	19.793
22	83.333	12	79.333	7	19.493
<b>DMS</b>	<b>7.93</b>		<b>8.202</b>		<b>0.695</b>

GE, EA y P50S, corresponden a la generación estándar, envejecimiento acelerado y peso de 50 semillas, respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para caracteres agronómicos se presentan en la Tabla 5.3, donde se puede observar que hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para altura de planta (AP), altura de mazorca (AMZ), número de hojas (NH) y cobertura de mazorca (CMZ).

El coeficiente de variación presentó un rango de 6.2 a 15.7 %, estos valores son bajos por lo que se considera que la investigación fue bien conducida.

Tabla 5.3. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres agronómicos en genotipos de maíz.

F.V.	G.L.	AP (m)	AMZ (m).	NH (No.)	CMZ (%)
GENOTIPO	45	0.098**	0.065**	4.845**	323.30**
REP.	2	0.005	0.017	15.789	39.99
BLOQUE(REP)	12	0.014	0.026	3.963	18.76
ERROR	78	0.016	0.021	2.549	19.21
C.V. (%)	---	6.29	15.72	12.833	5.23

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad. AP, AMZ, NH Y CMZ, corresponden a la altura de planta, altura de mazorca, número de hojas y cobertura de mazorca, respectivamente.

Por otro lado, en la Tabla 5.4 se presentan los cuadrados medios para sanidad de mazorca (SMZ), aspecto general de planta (AGP), porcentaje de establecimiento (PE) y diámetro de mazorca (DMZ), en donde se aprecia efecto significativo entre genotipos para sanidad de mazorca y aspecto general de planta; y altamente significativo para porcentaje de establecimiento y diámetro de mazorca. Del mismo modo, el coeficiente de variación fue de 14.47, 10.03, 10.71, y 7.5 % para SMZ, AGP, PE, DMZ, respectivamente. Otros experimentos conducidos en campo han reportado CV que fluctúan entre 3 a 10 %, 11 a 20 % y 21 a 30 %, y se han clasificado como bajos, medios y altos (Pimentel, 1985).



Tabla 5.4. Cuadrados medios para sanidad de mazorca, aspecto general de planta, porcentaje de establecimiento y diámetro de mazorca en genotipos de maíz.

F.V.	G.L.	SMZ (%)	AGP (%)	PE (%)	DMZ (cm)
GEN.	45	218.97*	103.317*	154.242**	25.600**
REP.	2	176.630	60.869	21.789	1.652
BLOQUE(REP)	12	143.345	63.929	80.901	4.228
ERROR	78	133.674	5244.444	67.841	6.862
C.V. (%)	---	14.47	10.03	10.71	7.50

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. SMZ, AGP, PE y DMZ, corresponden a la sanidad de mazorca, aspecto general de planta, porcentaje de establecimiento y diámetro de mazorca, respectivamente.

El análisis de varianza para el rendimiento de campo y sus componentes (Tabla 5.5) mostro efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos, lo que indica que al menos un genotipo presentó un comportamiento diferente.

El coeficiente de variación para este grupo de caracteres fue bajo y aceptable; por lo que se considera que la investigación fue llevada a cabo de forma correcta. En este sentido, algunos investigadores han mencionado que los CV mayores a 30 % no son confiables y que por lo tanto, dichos resultados deben ser descartados (Patel *et al.*, 2001). Por otro lado, en rendimiento de grano se han reportado cv de 12.4 a 17 % (Lashkari *et al.*, 2011; Aryannia *et al.*, 2013).

Tabla 5.5. Cuadrados medios para rendimiento de campo y sus componentes en genotipos de maíz.

F.V.	G.L.	LMZ (cm)	HPM (No.)	GPH (No.)	RC (kg ha <sup>-1</sup> )
GEN.	45	8.749**	4.650 <sup>ns</sup>	153.006**	14249610.3**
Rep.	2	58.456	0.550	455.239	505055.1
BLOQUE(REP)	12	0.790	2.474	14.151	1414653.8
ERROR	78	100.428	3.400	58.508	2253417.7
C.V. (%)		6.07	11.82	10.24	12.24

\*\* , significativo al 0.01 de probabilidad. ns=no significativo. LMZ, HPM, GPH y RC, corresponden a la longitud de mazorca, hileras por mazorca, granos por hilera y rendimiento de campo, respectivamente.

En la prueba de comparación de medias de acuerdo con tukey al 0.05 (Tabla 5.6) para caracteres agronómicos (AP, AMZ, NH); en donde se puede observar que la AP varió de 1.5 a 2.4 m, donde los genotipos 18, 8, 11 y 14 mostraron los más altos valores por arriba de 2 metros; mientras que, los híbridos 37, 42, 20 y 21 presentaron valores bajos. Por otro lado, en AMZ, la variación fue de 0.52 a 1.22 m; donde los híbridos 46,14, 24, y 12 presentaron la mayor altura de mazorca.

La altura de planta y de mazorca de los materiales de maíz evaluados, indican el grado de variación genética que también podría existir en el germoplasma de maíces de México, atribuible a que nuestro país es considerado centro de origen por la gran diversidad de maíz (Ortega *et al.*, 2011). Además, en un estudio hecho en el Bajío de Guanajuato para maíces nativos, la altura de planta osciló entre 126 y 290 cm, mientras que en este estudio la altura de planta osciló entre 1.5 a 2.4 m.

El número total de hojas por planta vario de 8 hasta 15; Sobresaliendo el híbrido 29 con el valor más alto y los híbridos 4 y 33 solo alcanzaron 9 hojas por planta en promedio. En este contexto, Tanaka y Yamaguchi (1972) mencionan que un mayor número de hojas arriba de la mazorca contribuye con la mayor

acumulación de fotoasimilados en los órganos de reserva, pues se estima que estas hojas y las que se localizan en la parte media, son las que mayormente aportan al llenado de grano, por su participación en la intercepción de energía luminosa (Reyes, 1990).

Tabla 5.6. Comparación de medias para caracteres agronómicos en genotipos de maíz.

GENOT	AP (m)	GENOT	AMZ (m)	GENOT	NH (No.)
18	2.4	46	1.23	29	15.0
8	2.3	14	1.18	11	13.6
11	2.2	24	1.18	31	13.6
14	2.2	12	1.13	46	13.6
39	1.9	44	0.99	17	13.0
19	1.9	35	0.95	19	13.0
49	1.9	36	0.93	7	13.0
26	1.9	38	0.93	18	12.6
37	1.7	42	0.73	26	10.3
42	1.7	19	0.73	32	9.66
20	1.7	43	0.66	4	9.0
21	1.5	21	0.58	33	8.6
<b>DMS</b>	<b>0.42</b>		<b>0.498</b>		<b>5.36</b>

AP, AMZ y NH, corresponden a la altura de planta, altura de mazorca y número de hojas, respectivamente.

En la Tabla 5.7, se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias para CMZ, SMZ y AGP; en donde las cruza 31, 46, 21 y 45 presentaron porcentajes superiores de 96 para cobertura de mazorca; sin embargo, hubo híbridos como el 49, 30, 22 y 28 que presentaron mala cobertura de mazorca (66%). Por otro lado, La SMZ vario de 66 a 100 %, en donde la cruza 6 mostró el mejor comportamiento y las cruza 29, 30,35 y 49 fueron consistentes con sólo el 66 % de mazorcas sanas.

Finalmente, en AGP los genotipos 30 y 1 expresan los porcentajes más altos (93.3 y 100 %, respectivamente) mientras que los híbridos 31 y 21 presentaron el peor aspecto general de planta con solo el 66 %.

Tabla 5.7. Comparación de medias para características de mazorca y aspecto general de planta en híbridos de maíz.

GENOT	CMZ (%)	GENOT	SMZ (%)	GENOT	AGP (%)
31	98.3	6	100	30	100
46	98.3	2	91.6	1	93.3
21	97.5	3	91.6	3	86.6
45	96.6	4	91.6	2	86.6
2	86.6	15	75.0	24	80
43	86.6	26	75.0	9	80
44	85.8	28	75.0	26	80
41	85.8	45	75.0	19	80
49	65.8	29	66.6	37	73.3
30	65.8	30	66.6	45	73.3
22	65.2	35	66.6	31	66.6
28	58.3	49	66.6	21	66.6
<b>DMS</b>	<b>14.743</b>		<b>30.883</b>		<b>27.576</b>

CMZ, SMZ y AGP, corresponden a la cobertura de mazorca, sanidad de mazorca y aspecto general de planta, respectivamente.

En la Tabla 5.8, se presenta la prueba de comparación de medias para PE, DMZ y LMZ, aquí se puede observar que el PE varió de 58.6 a 91.6%; de esta forma los genotipos 9, 21, 44, y 13 sobresalen con valores superiores al 84% de establecimiento en campo. Sin embargo, se encontraron genotipos con un pobre establecimiento (26 y 49).

Para DMZ, los híbridos 35, 30 y 36 presentaron valores superiores a los 40 mm de diámetro. Por otro lado, los genotipos 7, 45 y 26 solo alcanzaron 30.6, 30.3 y 26.6 mm de diámetro por mazorca. Para longitud de mazorca, sobresalen los híbridos 4, 37, 17 y 35 al generar las mazorcas más largas y los genotipos 21, 19, 33 y 31 presentaron el peor comportamiento para esta característica. Por su parte, Reyes (2014) menciona que obtuvo valores de diámetro de mazorca 3.1 a 4.8 cm en maíces nativos; en contraparte, Castañón *et al.* (2000) y Presa (2015) observaron valores para diámetro de mazorca menores a los resultados en este trabajo; lo anterior confirma la diversidad y riqueza genética del maíz en México.

Tabla 5.8. Comparación de media para porcentaje de establecimiento, diámetro de mazorca y longitud de mazorca en genotipos de maíz.

GENOT	PE (%)	GENOT	DMZ (cm)	GENOT	LMZ (cm)
9	91.6	35	42.0	4	23.0
21	86.6	30	40.3	37	21.6
44	85.6	36	40.0	17	21.6
13	84.6	2	38.6	35	20.6
10	78.3	47	35.0	14	18.8
11	78.3	17	35.0	38	18.8
28	77.3	3	34.6	46	18.6
25	77.0	15	34.3	34	18.6
47	66.3	43	31.0	21	15.6
4	63.3	7	30.6	19	15.6
26	58.6	45	30.3	33	14.6
49	58.6	26	26.6	31	14.6
<b>DMS</b>	<b>27.7</b>		<b>8.810</b>		<b>3.816</b>

PE, DMZ y LMZ, corresponden al porcentaje de establecimiento, diámetro de mazorca y longitud de mazorca, respectivamente.

Finalmente, en rendimiento de campo y sus componentes (Tabla 5.9), se puede observar que el HPM varió de 12.6 a 18.6 y en este sentido, los híbridos 10 y 33 fueron consistentes con los valores más altos; mientras que, las cruzas 18, 21, 43 y 7 no superaron las 14 HPM. El número de granos en dos hileras (GPH) presento una variación de 60 a 88 granos, destacando las cruzas 37, 6, 8 y 4 con altos valores y las cruzas 23 y 39 solo lograron 60 granos en dos hileras. En este sentido, Galláis (1984) en un estudio realizado concluyó que los componentes de rendimiento están genéticamente correlacionados y llegan a presentar alta heredabilidad, pero son influenciados por el ambiente, cuyos efectos se pueden contrastar al combinar la variación genética y plasticidad fenotípica (Vidal-Martínez *et al.*, 2004). Por otro lado, López *et al.* (2005) argumentaron la correspondencia estrecha que existe entre la diversidad genética local y la variación ecológica ambiental y afirman que las plantas tardías se siembran en zonas con mayor humedad y con una menor evaporación, mientras que las de ciclo corto se cultivan en áreas de menor precipitación pluvial pero de mayor evaporación.

Por último, se encontraron cruzas (46, 35, 28 y 1) con rendimiento por arriba de 14 ton ha<sup>-1</sup>; sin embargo, hubo otras cruzas (33, 15, 20 y 21) que no lograron producir más de 9 t ha<sup>-1</sup>. Estos resultados coinciden con los reportados por Chávez (1995) quien menciona que cuando se evalúan líneas endogámicas de maíz se tienen comportamientos diferentes debido a su constitución genética; aunque en esta investigación se utilizaron híbridos simples, triples e híbridos comerciales. El rendimiento de grano es un carácter cuantitativo y sujeto fuertemente a la influencia del ambiente de producción (Alejos *et al.*, 2006; Cepeda *et al.*, 2009).

Tabla 5.9. Comparación de medias para el rendimiento de campo y algunos componentes en genotipos de maíz.

GENOT	HPM (No.)	GENOT	GPH (No.)	GENOT	RC (kg ha <sup>-1</sup> )
33	18.6	37	88	46	15400
10	18.0	6	87	35	14933
13	17.3	8	85	28	14933
22	17.3	4	83.3	1	14747
38	16.0	18	76	7	12320
8	15.3	9	75.6	13	12320
14	15.3	3	75.3	36	12227
16	15.3	30	75.3	47	12040
18	13.3	21	63.3	33	8773
21	13.3	7	62	15	8400
43	13.3	23	60.6	20	7187
7	12.6	39	60	21	6533
<b>DMS</b>	<b>6.2</b>		<b>25.7</b>		<b>5048</b>

HPM, GPH, RC, corresponden al número de hileras por mazorca, granos por hilera y rendimiento de campo, respectivamente.

## VI. CONCLUSIONES

El 95.5 % de los genotipos superó el estándar de calidad para la germinación estándar establecido por el SNICS; por otro lado, el 100 % de los materiales se consideran de alto vigor después de ser sometidos al envejecimiento acelerado.

Se encontró una fuerte variabilidad fenotípica en los caracteres agronómicos registrados, producto de la diversidad genética y del tipo de cruce.

Finalmente, el rendimiento de campo osciló de 6.5 a 15.4 t ha<sup>-1</sup>; sobresaliendo los híbridos triples 35, 28 y 1 con valores superiores a 14 t ha<sup>-1</sup>; sin embargo, el testigo comercial DAS 2358 presentó la mejor respuesta para esta variable.

**VII. LITERARURA CITADA**

- Alejos, G., P. Monasterio and R. Rea. 2006. Evaluation of the genotype-environment interaction for maize yield in Yaracuy state, Venezuela. *Agronomía Trop.* 56(3):370-384.
- Aquino-Mercado P., Peña R. J., Ortiz-Monasterio I. 2009. México y el CIMMYT. [www.cimmyt.org/en/about-us/partnerships/countries/doc\\_view/668-mexico-y-el-cimmyt](http://www.cimmyt.org/en/about-us/partnerships/countries/doc_view/668-mexico-y-el-cimmyt).
- Aryannia, N., Reza E. M. y Sharafizadeh M. 2013. Response of grain yield and yield components of two grainy maize hybrids to plant density and natural weeds populations. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.* 7(2): 590-597.
- Baker R.J. 1969. Genotype x environment interactions in yield of wheat. *Can. J. plant Science.* 49: 743-751.
- Banzinger M., Lafitte H.R. 1997. Breeding tropical maize for low N environments. II. The values of secondary traits for improving selection gains under low N *Crop Sciences* 37: 1110-1117.
- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. Basra, A. S. (ed.) Food Products Press. Preface. New York, USA.
- Bellon, M.R. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. En *Capital natural de México, vol II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 355-382.
- Blum A. 1979. *Plant breeding for stress environments*. CRC Press. Boca Raton. FL.
- Boege, E. 2009. El reto de la conservación de la biodiversidad en los territorios de los pueblos indígenas, en *Capital natural de México , vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Conabio, México, pp. 603-649.
- Boege, K. 2009. Centro de origen, pueblos indígenas y diversidad del maíz. *Ciencias.* 92-93: 18-28.



- Brancourt-Humel M. and Lecomte C. 2003. Effect of environmental variates on genotype x environment interaction of winter wheat: A comparison of biadditive factorial regression to AMMI. *Crop Science*. 43: 608-617.
- Castañón, G., Cruz, R., del Pino, R., Panzo, E., Montiel, M., Filobello, L. 2000. Selección de líneas de maíz para resistencia a sequía. *Agronomía Mesoamericana*. 11: 163-169.
- Ceccarelli S., Grandos S., and Booth R.H. 2006. International breeding programmes and resources-poor farmers: Crop improvement in difficult environments.
- Ceccarelli S., Grandos S., Hamblin J. 1992. Relationship between barley grain yield measured in low and high yielding environments. *Euphytica*. 64(1-2): 49-58.
- Cepeda, B. R.; Carballo, C. A. y Hernández A, C. 2009. Interacción genotipo ambiente en la estructura y calidad de nixtamal-tortilla de grano en híbridos de maíz. *Agrociencia*. 43(7): 95-706.
- Cervantes O., F.; García D.S.G.; Carballo C.A.; Bergvinson, D.; Crossa J.; Mendoza, E.M y Moreno, M.E. 2006. Análisis dialélico para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México*. 32(1): 77-87.
- Chávez A, J.L. 1995. Mejoramiento de plantas 2: métodos específicos de plantas alógamas. México, D.F. Ed. Trillas. UAAAN. 143 p.
- Chávez, A. J. L., 1993. Mejoramiento de plantas 1. Edit. Trillas. Ed. 1. Méx. D.F.
- Comstock R.E. and Moll R.H. 1963. Genotype-environment interactions p. 164-196. In: W.D. Hanson and H.F. Robinson (ed.) *Statistical genetics and plant breeding*. National Academy of Sciences-National Research Council Publ. 982. NAS-NRC, Washington. DC.
- Cooper M., and Hammer G.L (ed.) 1996. *Plant adaptation and crop improvement*. CAB International, Wallingford, UK, ICRISTAT, Patancheru, India, and IRRI, Manila, Philippines.
- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 1995. *Principles of seed science and technology*. 3rd. ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Coutiño E. 2010. <http://www.sinarefi.org.mx/cursospoliticasmaiz/Mexico.pdf>

- Ducar, M.P. 1970. Producción de semillas pratenses. Manuales de técnica agropecuaria. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 142 p.
- Ebdon J.S., and Gauch H.G. Jr. 2002 Additive main effect and multiplicative interaction analysis of turfgrass performance trials: I. Interpretation of genotype x environment interaction. *Crop Science* 42: 489-496.
- Epinate-Le Signor C.S., Douse J., Lorgeou J.B., Denis R., Bonhomme, Carolo P., and Charcosset A. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for early hybrids over 12 years. *Crop Science* 41: 663-669.
- FAOSTAT, 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available from: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>. Date accessed: Junio 2014.
- Ferguson, J.M. 1995. An introduction to seed vigour testing. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, 1995 Copenhagen. [Proceedings...] Zurich : International Seed Testing Association. p. 1-9.
- Figuroa C.J.D., Narváez G. D.E., Mauricio S. A., Taba S., Gaytán M. M., Véles M.J, Rincón S. F. y Aragón C. F. 2013. Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36: 305-314.
- Flores G., Abreu M., Olivar M., Kasther b. 1998. Access barriers to health care for latino children. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 152:(11): 1119-11225.
- González, A., Islas., A. Espinoza., J. A. Vázquez., S. Wood. 2008. Impacto Económico del Mejoramiento Genético del Maíz en México. Publicación Especial No.25. INIFAP. México. 88 p.
- Hallauer A R, M J Carena, J B Miranda. 2010. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 3<sup>rd</sup> ed. Springer-Verlag New York Inc. 680 p.
- Hernández X., E. 1985. Biología agrícola: los conocimientos biológicos y su aplicación a la agricultura. México: Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología, CECSA.
- Hussein A., Odumeru J.A. 2000 Effects of processing and packing on vitamin C and B-carotene content of ready-to-use (RTU) vegetables. *Food Research International* 33: 131-136.

- International seed testing association (ISTA) 1995. Handbook of vigour test methods. Zürich. ed. 3. 117p.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (Zurich, Suíça). 1995. Handbook of vigor test methods. 2. ed. Zurich, 117 p.
- ISTA. 2005. International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. Seed Sci. Tech. 27 (Suppl).
- Jugenheimer, R. W., 1988. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Edit. Limusa. Ed. 1. México. D.F.
- Kang H.J. et al. 2004. Effects of intracoronary infusion of peripheral blood stem cells mobilized with granulocyte-colony stimulating factor on left ventricular systolic function and restenosis after coronary stenting in myocardial infarction: the magic all randomized clinical trial. The Lancet 363: 751-756
- Kang M.S. 1998 A rank-sum method for selecting high yielding, stable corn genotypes. Cereal Res. Commun. 16: 113-115.
- Kato Y., T.A. 2009. Cytological studies of maize (*zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrad. Kuntze) in relation to their origin and evolution. Mass. Agric. Expt. Sta. Bull. 635.
- Kelly A., F. 1988. Seed production of agricultural crops. Longman Scientific and Technical-John Wiley and Sons. New York, USA. 227 p.
- Lashkari, M., Madani H., Reza A. M., Golzardi F. y Zargari K. 2011. Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. American Eurasian J. Agric. Sci. 10(3): 450-457.
- Lu'quez J.E., Aguirrezabal L.A.N., Agüero M.E., and Pereyra V.R., 2002 Stability and adaptability of cultivars in non-balanced yield trials: Comparison of methods for selecting high oleic sunflower hybrids for grain yield and quality. J. Agron. Crop Science 188:225.
- Luna-Mena B. M., Hinojosa M. A., Ayala O. J., Castillo F., Mejía J. A. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista Fitoecnia Mexicana* 35: 1-7.

- Magari R., Kang M.S. 1993. Genotype selection via a new yield stability in maize yield trials. *Euphytica* 70:105-111.
- Márquez S F (1988). *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. AGTESA. México. 563 p.
- Márquez, S.F. 2009. De las Variedades Criollas de Maíz a los Híbridos Transgénicos. II: La Hibridación. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 6(2): 161- 176.
- MATTHEWS, S.; POWELL, A. A. 1980. Controlled deterioration: a new vigour test for crop seeds. In: HEBBLETHWAITE, P. D. (Ed.). *Seed production*. London : Butterworths, p. 647-660.
- Matus-Cádiz M.A., Hucl P., Perrón C.E., and Tyler R.T., 2003. Genotype x environment interactions for grain color in hard White spring wheat. *Crop Science* 43:219-226.
- McDONALD, M. B. Assessment of seed quality. *HortScience*, Alexandria, v. 15, n. 6, p. 784-788, 1980.
- Moreno, M. E. 1996. *Análisis físico y biológico de semillas agrícolas*. 3ra. ed. UNAM. México, D. F. 393 p.
- Morris M., López M. 2000. Impactos del Mejoramiento de Maíz en América Latina, 1966-1997. <http://apps.cimmyt.org>.
- Ortega-Paczka, R. 2003. La diversidad del maíz en México. En Esteva, C. y C. Marielle(eds.), *Sin maíz no hay país*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, pp. 123-154.
- Paliwal R.L., G. Granados, R.H. Lafitte, A.D. Violic, J.P., Marathee. 2001. El maíz en los trópicos mejoramiento y producción. Editorial FAO. Roma. Pp 107-123.
- Pandey, S., & Gardner, C. O. (1992). Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron*, 48, 1-87.
- Patel, J. K., Patel N. M. y Shiyani R. L. 2001. Coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof-an empirical study. *Curr. Sci.* 81(9): 1163-1164.

- Pederson D.G., Rathjen A.J. 1981. Choosing trial sites to maximize selection responses for grain yield in spring wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*.
- PERRY, D. A. 1981. Introduction, methodology and application of vigour tests, seedling growth and evaluation tests. In: PERRY, D. A. (Ed.). *Handbook of vigour tests methods*. Zurich: International Seed Testing Association, p. 3-20.
- Perry, D.A. 1983. El concepto de vigor de la semilla y su relevancia en las técnicas de producción de semillas. F. Stanham (Trad.). Editorial Hemisfério Sur. Montevideo, Uruguay. pp. 693-701.
- Pimentel, F. 1985. *Curso de estadística experimental*. Livraria Nobel S.A., São Paulo, Brasil.
- Powell, A. A. 1988. Seed vigour and field establishment. *Advances in Research and Technology of Seeds*, Wageningen. 11(1): 29-61.
- Presa, F. M. I. 2015. Evaluación *per se* en líneas de maíz para rendimiento, forraje y calidad de semilla. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Roque. Pp. 23-47.
- Ramírez-Díaz, J. L., Ron-Parra, J., Sánchez-González, J. d., & Chuela-Bonaparte, M. (2000). Selección recurrente en la población de maíz subtropical pabgt-cesubtropical PABGT-CE. *Agrociencia*, 34.
- Ranere, A., Piperno, D. R., Holst, I., Dickau, R., & Iriate, J. (2009). The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico. *PNAS*, 106(13), 5014-5018.
- Reyes, C., P. 1990. *El maíz y su cultivo*. AGT-EDITOR S. A. México, D. F.
- Reynolds M.P., Mujeeb-Kazi M. 2005. Prospects for utilizing plant adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought and salinity-prone environments. *Annals of Applied Biology* 146: 239-259.
- Robert N. 2002. Comparison of stability statistics for yield and quality traits in bread wheat. *Euphytica* 128: 333-341.
- Robles- Sánchez, R. (1975). *Producción de granos y forrajes*. D.F, México: Limusa.

- Rodríguez-Flores I. 2011. Semillas certificadas, origen de la competitividad. 2000 *AGRO Revista Industrial del Campo*. 69: 1-12.
- Rodríguez-Pérez, G. (2013). Análisis morfológico y molecular para el mejoramiento poblacional de maíces criollos del centro-norte de nuevo león. Tesis. Nuevo León: Universidad Autonoma de Nuevo León.
- Sabaghnia N.H., Dehghani and Sabaghpour S.H. 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype x environment interaction of lentil genotypes. *Crop Science* 46: 1100-1106.
- Salhuana, W., & Sevilla, R. (1995). *Latin American Maize Project (LAMP), stage 4 results homologous areas 1 and 5*. MD: ARS Special Publication. Beltsville.
- Sánchez- Ortega, I. (2014). Maíz I. *Reducao Biología*, 7(2), 151- 171.
- Sanchez, J. d. (2011). *Diversidad del Maíz y el Teocintle. Informe preparado para el proyecto: "Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México"* CONABIO. Recuperado el 1 de Mayo de 2016, de [http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo9\\_Analisis\\_Especialistas/Jesus\\_Sanchez\\_2011.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo9_Analisis_Especialistas/Jesus_Sanchez_2011.pdf).
- Secretaria de Desarrollo Agroalimentario y Rural. SEDAyR. 2015. Producción de Maíz en Guanajuato. <http://sdayr.guanajuato.gob.mx/> Revisado en Julio 2015.
- SE-DGIB (Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas). 2012. Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. Secretaría de Economía-Dirección General de Industrias Básicas. [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informaciónSectorial/20120411\\_analisis\\_cadena\\_valor\\_maíz-tortilla.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informaciónSectorial/20120411_analisis_cadena_valor_maíz-tortilla.pdf). (Consulta: julio, 2014).
- Serratos, H. J.A. 2009. El origen y diversidad del maíz en el Continente Americano. Universidad Autónoma de la ciudad de México. 31p.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera) 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.

- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera) 2014. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera) 2013. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera) 2010. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.
- Tekrony, D. M. 1995. Accelerated ageing. In: Congress of the international seed testing association 24. Copenhagen.
- Terenti O. 2004. Calidad de semilla, que implica y como evaluarla? EE.A. INTA San Luis, informativo Rural 1(2). [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- Yan W., y Kang M.S. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE

T E S I S

EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A SEQUÍA  
EN POBLACIONES DE MAÍZ RC151

QUE PRESENTA

MARTHA CECILIA SALGADO AGUILAR

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS

DIRECTOR: DR. GABRIEL ITURRIAGA DE LA FUENTE

ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO

JUNIO DE 2017





**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**EVALUACIÓN DE LA TOLERANCIA A SEQUÍA EN POBLACIONES DE MAÍZ  
RC1S1**

**QUE PRESENTA**

**MARTHA CECILIA SALGADO AGUILAR**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. GABRIEL ITURRIAGA DE LA FUENTE**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO DE 2017**

La tesis “Evaluación de la tolerancia a sequía en poblaciones de maíz RC1S1”, fue realizada por la alumna **Martha Cecilia Salgado Aguilar**, bajo la dirección del Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente y asesoría del Dr. José Luis Pons Hernández, M.C. Jorge Covarrubias Prieto, Dr. Juan Carlos Raya Pérez y Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel, y revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente**

**Cédula: 7625496**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**M.C. Jorge Covarrubias Prieto**

**Cédula: 5007776**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Juan Carlos Raya Pérez**

**Cédula: 4798249**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**

**Cédula: 487564**

## Dedicatoria

*A mis padres, el rostro del amor de Dios en mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente por confiar en mí y permitirme ser parte de su equipo de investigación, por sus enseñanzas, consejos y calidez humana.

Al Dr. José Luis Pons Hernández y al Dr. Jorge Covarrubias Prieto por aceptar ser parte de mi comité de asesores, y por guiarme y asesorarme en el trabajo de campo y de estadística.

Al Dr. Juan Carlos Raya Pérez y al Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel por aceptar ser parte de mi comité de asesores, por sus enseñanzas e invaluable consejos.

Al CIMMYT, particularmente al Dr. Terence Molnar y a la Dr. Sarah Hearne, por la donación de las semillas usadas en la evaluación y por la información y consejos brindados.

Al Dr. Miguel Villalobos por prestarme amablemente el FlourPen y por el tiempo invertido en explicarme su funcionamiento.

A la Dra. Lorena Pedraza por aceptarme en su laboratorio y por su colaboración en la cuantificación de trehalosa y T6P.

Al laboratorio de suelos del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Roque por su generosa ayuda en la realización del análisis de suelo.

Al Dr. Marco Antonio García Perea, a la Mtra. Ana Cuevas Romo y al Mtro. Alejandro Saldaña por sus asesorías de estadística.

A todos mis profesores del posgrado, especialmente al M.C. Francisco Chablé por el tiempo invertido en revisiones de tesis y consejos. Al M.C. Nicolás Morán Vázquez y al M.C. José Guadalupe García Rodríguez por sus enseñanzas, sus consejos y su amistad.

Al Dr. César Leobardo Aguirre Mancilla, director del posgrado, por confiar en mí, por sus enseñanzas y por su amabilidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme la beca de estudio con el número 405872.

A mis compañeros de laboratorio, Cristina, Anareli, Fernando, gracias por su generosa amistad y ayuda. Y a mis compañeras Ángeles y Mercedes, por su confianza y amistad. A Nadya por su valiosa ayuda en el trabajo de invernadero.

A mis amigos seminaristas Misioneros Ecuménicos por siempre estar al pendiente del progreso de mi investigación.

A mis papás que siempre apoyan mis sueños, mis metas y mis planes, gracias por enseñarme que el esfuerzo, la perseverancia y la alegría son piezas claves para lograr lo que me proponga. A mi hermano y a Diego por su valiosa ayuda, cariño y compañía.

A Dios por su infinito amor y misericordia, por inspirar mi vida y llenarme de su Espíritu.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>14</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>15</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
<b>II.1 Objetivo general</b>	<b>18</b>
<b>II.2 Objetivos específicos</b>	<b>18</b>
<b>II.3 Hipótesis</b>	<b>18</b>
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>19</b>
<b>III.1 Cambio Climático</b>	<b>19</b>
<b>III. 2 Sequía</b>	<b>20</b>
III.2.1 Sequía en México	20
III.2.2. Efecto de la sequía en la producción agrícola	22
<b>III.3 Efecto de la sequía en las plantas</b>	<b>23</b>
III.3.1 Relación agua-crecimiento	23
III.3.2 Fotosíntesis	25
III.3.3 Respiración celular	27
III.3.4 Metabolismo antioxidante	27
III.3.5 Fitohormonas	27
III.3.6 Osmoprotectores	28
<b>III.4 Percepción del estrés y señalización</b>	<b>30</b>
III.4.1 Percepción del estrés	32
III.4.3 Transducción de la señal	33
<b>III.5 Adaptaciones moleculares de las plantas bajo condiciones de sequía</b>	<b>34</b>
III.5.1. Expresión génica	34
III.5.2 Factores de transcripción	37
<b>III.6 Efectos de la sequía en el cultivo de maíz</b>	<b>38</b>
<b>III.7 Desarrollo de cultivos tolerantes a estrés osmótico</b>	<b>39</b>

<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>42</b>
<b>IV.1 Ubicación del experimento</b>	<b>42</b>
<b>IV.2 Material biológico</b>	<b>42</b>
<b>IV.3. Establecimiento del experimento en invernadero</b>	<b>45</b>
IV.3.1 Preparación del sustrato y llenado de bolsas para la siembra	45
IV.3.2 Análisis de suelo	45
IV.3.3 Siembra de la semilla	47
IV.3.4 Fertilización	47
IV.3.5 Riego de la unidad experimental	47
<b>IV.4 Germinación</b>	<b>48</b>
<b>IV.5 Emergencia de la primera y tercera hoja</b>	<b>48</b>
<b>IV.6 Días a floración masculina y femenina</b>	<b>48</b>
<b>IV.7 Determinación del contenido relativo de agua (CRA)</b>	<b>48</b>
<b>IV.8 Medición de la temperatura de la hoja</b>	<b>49</b>
<b>IV.9 Medición de fotosíntesis</b>	<b>49</b>
<b>IV.10 Cuantificación de prolina</b>	<b>50</b>
IV.10.1 Preparación de soluciones	50
IV.10.2 Extracción de prolina	50
IV.10.3 Curva de calibración	51
IV.10.4 Procesamiento de muestras	51
<b>IV.11 Cuantificación glicina betaína</b>	<b>51</b>
IV.11.1 Preparación de soluciones	52
IV.11.2 Extracción de glicina betaína	52
IV.11.3 Curva de calibración	52
IV.11.4 Procesamiento de muestras	53
<b>IV.12 Cuantificación trehalosa</b>	<b>53</b>
IV.12.1 Extracción de trehalosa	53
IV.12.2 Análisis de muestras por HPLC	54
<b>IV.13 Cuantificación de trehalosa-6-fosfato</b>	<b>55</b>
<b>IV.14 Estimación de rendimiento</b>	<b>55</b>
<b>IV.15 Análisis estadístico</b>	<b>55</b>
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>56</b>

<b>V.1 Germinación</b>	<b>56</b>
<b>V.2 Emergencia de la primera y tercera hojas</b>	<b>57</b>
<b>V.3 Días a floración masculina y femenina</b>	<b>59</b>
<b>V.4 Contenido relativo de agua (CRA)</b>	<b>62</b>
<b>V.5 Temperatura de la hoja</b>	<b>68</b>
<b>V.6 Fotosíntesis</b>	<b>74</b>
<b>V.7 Cuantificación de prolina</b>	<b>81</b>
<b>V.8 Cuantificación glicina betaína</b>	<b>86</b>
<b>V.9 Cuantificación trehalosa</b>	<b>91</b>
<b>V.10 Cuantificación de trehalosa 6-fosfato</b>	<b>96</b>
<b>V.11 Rendimiento</b>	<b>100</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>107</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA</b>	<b>108</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla IV.1</b> Caracterización de cada criollo <i>per se</i> .....	43
<b>Tabla IV.2</b> Caracterización de la línea élite <i>per se</i> .....	43
<b>Tabla IV.3</b> Nombre corto de las accesiones evaluadas durante la investigación.....	44
<b>Tabla IV.4</b> Análisis de la muestra de suelo utilizada en el experimento.....	45
<b>Tabla IV.5</b> Análisis de suelo, cationes intercambiables.....	46
<b>Tabla IV.6</b> Análisis de suelo, relación entre cationes.....	46
<b>Tabla IV.7</b> Curva de calibración para la determinación de prolina.....	50
<b>Tabla IV.8</b> Curva de calibración para la determinación de glicina betaína.....	52
<b>Tabla V.1</b> Concentración de prolina de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.....	84
<b>Tabla V.2</b> Concentración de glicín betaína de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.....	89
<b>Tabla V.3</b> Concentración de trehalosa de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.....	94
<b>Tabla V.4</b> Concentración de T6P de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.....	98
<b>Tabla V.4</b> Número de hileras, granos por hilera, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso de grano por mazorca y peso de olote de las tres poblaciones evaluadas expuestas a sequía y riego.....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura III.1</b> Clasificación de la sequía en el territorio mexicano .....	20
<b>Figura III.2</b> Porcentaje de área con sequía en México.....	21
<b>Figura III.3</b> Respuesta de la planta al estrés por sequía.....	25
<b>Figura III.4</b> Cascada de señalización desde la percepción del estrés por sequía hasta la regulación de la expresión génica.....	30
<b>Figura III.5</b> Estrategias de la ingeniería genética para desarrollar plantas tolerantes a la sequía.....	39
<b>Figura IV.1</b> Diagrama de la obtención del material vegetal donado por el CIMMYT.....	42
<b>Figura IV.2</b> Columna de intercambio iónico.....	53
<b>Figura V.1</b> Porcentaje de germinación de cada una de las poblaciones evaluadas bajo condiciones de invernadero.....	55
<b>Figura V.2</b> Tiempo de emergencia en días de la primera hoja de cada una de las poblaciones evaluadas bajo condiciones de invernadero.....	57
<b>Figura V.3</b> Tiempo de emergencia en días de la tercera hoja de cada una de las poblaciones evaluadas bajo condiciones de invernadero.....	58
<b>Figura V.4</b> Tiempo a floración masculina en días de cada una de las poblaciones evaluadas.....	59
<b>Figura V.5</b> Tiempo a floración femenina en días de cada una de las poblaciones evaluadas.....	60
<b>Figura V.6</b> Intervalo entre la floración masculina y femenina de las tres poblaciones evaluadas.....	61
<b>Figura V.7</b> Contenido relativo de agua (CRA) de las tres poblaciones evaluadas antes de aplicar el estrés de sequía.....	62
<b>Figura V.8</b> Contenido relativo de agua (CRA) de las tres poblaciones evaluadas durante la sequía.....	63
<b>Figura V.9</b> Contenido relativo de agua (CRA) de las tres poblaciones evaluadas después del riego de recuperación.....	63
<b>Figura V.10</b> Contenido relativo de agua (CRA) de la población CHIH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	64
<b>Figura V.11</b> Contenido relativo de agua (CRA) de la población COAH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	65

<b>Figura V.12</b> Contenido relativo de agua (CRA) de la población ARZM antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	66
<b>Figura V.13</b> Temperatura de la hoja (°C) de las tres poblaciones evaluadas antes de aplicar el estrés de sequía.....	68
<b>Figura V.14</b> Temperatura de la hoja (°C) de las tres poblaciones evaluadas durante el estrés de sequía.....	68
<b>Figura V.15</b> Temperatura de la hoja (°C) de las tres poblaciones evaluadas después del riego de recuperación.....	69
<b>Figura V.16</b> Temperatura de la hoja (°C) de la población CHIH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	70
<b>Figura V.17</b> Temperatura de la hoja (°C) de la población COAH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	71
<b>Figura V.18</b> Temperatura de la hoja (°C) de la población ARZM antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	72
<b>Figura V.19</b> $F_V/F_M$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de cada una de las poblaciones evaluadas antes de la sequía.....	74
<b>Figura V.20</b> $F_V/F_M$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de cada una de las poblaciones evaluadas durante la sequía.....	75
<b>Figura V.21</b> $F_V/F_M$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de cada una de las poblaciones evaluadas después del riego de recuperación.....	76
<b>Figura V.22</b> $F_V/F_M$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de la población CHIH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	77
<b>Figura V.23</b> $F_V/F_M$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de la población COAH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	78
<b>Figura V.24</b> $F_V/F_M$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de la población ARZM antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación.....	79
<b>Figura V.25</b> Curva de calibración para prolina a 520 nm.....	81
<b>Figura V.26</b> Determinación de prolina en la población CHIH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	82
<b>Figura V.27</b> Determinación de prolina en la población COAH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	83
<b>Figura V.28</b> Determinación de prolina en la población ARZM bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	84
<b>Figura V.29</b> Curva de calibración para glicina betaína a 520 nm.....	86

<b>Figura V.30</b> Determinación de glicina betaína en la población CHIH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	87
<b>Figura V.31</b> Determinación de glicina betaína en la población COAH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	88
<b>Figura V.32</b> Determinación de glicina betaína en la población ARZM bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	89
<b>Figura V.33</b> Curva de calibración para trehalosa.....	91
<b>Figura V.34</b> Determinación de trehalosa en la población CHIH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	92
<b>Figura V.35</b> Determinación de trehalosa en la población COAH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	93
<b>Figura V.36</b> Determinación de trehalosa en la población ARZM bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	94
<b>Figura V.37</b> Determinación de T6P en la población CHIH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	96
<b>Figura V.38</b> Determinación de T6P en la población COAH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	97
<b>Figura V.39</b> Determinación de T6P en la población ARZM bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación.....	98
<b>Figura V.40</b> Fotografía comparativa entre mazorcas cosechadas de la población CHIH bajo estrés por sequía y riego.....	101
<b>Figura V.41</b> Fotografía comparativa entre mazorcas cosechadas de la población COAH bajo estrés por sequía y riego.....	102
<b>Figura V.42</b> Fotografía comparativa entre mazorcas cosechadas de la población ARZM bajo estrés por sequía y riego.....	103
<b>Figura V.43</b> Rendimiento estimado por hectárea de cada una de las poblaciones evaluadas bajo condiciones de sequía y riego.....	104

## RESUMEN

La sequía es el factor abiótico que más limita la producción agrícola en distintas regiones del mundo. Los procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares, a nivel celular y planta completa, se alteran y desempeñan un papel clave para contrarrestar al estrés por sequía en el maíz, el cual es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la sequía en diferentes poblaciones de maíz tolerantes a sequía durante la etapa de polinización y llenado de grano. La sequía alteró la captación de luz por el aparato fotosintético de las poblaciones de maíz evaluadas, excepto CHIH que pudo reestablecer su capacidad fotosintética. Asimismo, se registró una elevación en la temperatura foliar cuando las plantas se expusieron a sequía. Los niveles de prolina fueron significativamente mayores en todas las poblaciones durante el estrés por sequía. En cambio, la concentración de glicín betaína no aumentó durante la sequía en ninguna población. Hubo un aumento en la concentración de trehalosa en todas las poblaciones de maíz durante la sequía, pero no fue significativo entre ellas. La población CHIH mostró mayor rendimiento de grano bajo estrés que las poblaciones COAH y ARZM. Por lo tanto, el conjunto de resultados sugiere que la población CHIH, con el nombre accesión CML376<2(CHIH338)-1-1, fue la población que tuvo mejor rendimiento bajo condiciones de sequía.

## SUMMARY

Drought is the most limiting factor in the agricultural production worldwide. Physiological, biochemical, and molecular pathways at the cellular and whole plant levels are altered and play a key role in counteracting drought stress in maize, which is one of the most important crops in the world. The aim of this work was to evaluate drought tolerance in different maize populations during the pollination stage and grain filling. Light harvesting by the photosynthetic apparatus was affected by drought in maize populations, except CHIH that could restore its photosynthetic capacity. Likewise, an increase on the foliar temperature was registered when plants were exposed to drought. The proline levels were significantly higher in all the population during the drought stress. Nevertheless, the glycine betaine concentration did not increase during the drought stress in any population. In the case of trehalose, there was an increase in its concentration in all maize populations during the drought stress, but was not significantly different among them. The CHIH population displayed a higher grain yield under stress than COAH y ARZM populations. Thus, all these results suggest that the CHIH population, CML376<2(CHIH338)-1-1 as accession name, has the best yield under drought conditions.

## I. INTRODUCCIÓN

Los cultivos se enfrentan constantemente a dos tipos de estrés: el biótico y el abiótico. El estrés biótico engloba a las afectaciones de la planta por bacterias, hongos e insectos. En cambio, el estrés abiótico se presenta cuando la planta es sometida a factores como la sequía, la salinidad, el frío, el calor, metales pesados o sustancias ácidas en el suelo. Así, el estrés abiótico es un factor limitante de gran importancia para el crecimiento de la planta y la producción de alimentos en muchas regiones del mundo (FAO y SAGARPA, 2012).

La sequía es un problema actual y futuro, ya que debido al aumento exponencial de la población humana, la demanda de agua ha aumentado considerablemente y además, debido al Cambio Climático la disponibilidad de agua está disminuyendo cada año en muchas partes del mundo (IPCC, 2014).

El agua constituye entre el 85 y 90% del peso seco de la mayoría de las plantas. En las plantas superiores, el agua del suelo es absorbida por las raíces y translocada a los brotes mediante gradientes de presión provenientes de la raíz o por la corriente ascendente en la planta debida a la evapo-transpiración. Cuando los niveles de pérdida de agua vía transpiración exceden los niveles de absorción del agua a través de las raíces, el agua en el tejido conductor pasa a un estado de tensión (presión negativa); de esta manera, el potencial es menor y ocurre una competencia por agua entre varios tejidos y órganos debido a un desequilibrio hídrico (Hale y Orcutt, 1987).

Las plantas han desarrollado complejas adaptaciones fisiológicas, bioquímicas y moleculares para adaptarse a diversos tipos de estrés. El estrés por sequía es mediado mediante la manipulación de los principales procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la respiración, las relaciones del agua, y el metabolismo de antioxidantes y hormonas (Bhargava y Sawant, 2013).

En particular, el cultivo de maíz se ve afectado por diversos factores bióticos y abióticos. En este caso, la sequía es un factor limitante para su producción. El maíz es un cultivo de gran importancia para la sociedad y sus múltiples usos se agrupan en tres rubros: semilla, planta y mazorca. La semilla se utiliza para la alimentación humana y del ganado, para la siembra y como materia prima en la industria. La planta sirve como forraje verde, ensilado, rastrojo y materia orgánica al suelo. Por último, la mazorca se utiliza como alimento humano (elote), forraje tosco y combustible (olote) (Reyes, 1990).

Por su gran importancia social y cultural, el maíz ha sido un cultivo clave en los programas de mejoramiento genético. Identificar poblaciones criollas tolerantes a sequía u otros tipos de estrés abiótico o biótico, permitirá primero, determinar el número de genes que controla el carácter y sus interrelaciones, y aislar los genes correspondientes para manipular su genoma y así poder generar variedades que toleren factores bióticos o abióticos. Con base en los planteamientos anteriores, en la presente investigación se determinaron los siguientes objetivos:



## **II. OBJETIVOS**

### **II.1 Objetivo general**

Caracterizar cinco poblaciones de maíz RC1S1 tolerantes a sequía bajo condiciones de sequía y riego de recuperación.

### **II.2 Objetivos específicos**

- Analizar parámetros fisiológicos de cinco poblaciones de maíz bajo condiciones de riego, sequía y recuperación.
- Analizar parámetros bioquímicos de cinco poblaciones de maíz bajo condiciones de riego, sequía y recuperación.
- Identificar la población o poblaciones que toleren mejor la sequía.

### **II.3 Hipótesis**

Las plantas de maíz RC1S1 son tolerantes a sequía a distintos niveles debido a que provienen de cinco criollos distintos, por lo que el rendimiento de las cinco poblaciones bajo condiciones de sequía será variable y medible estadísticamente.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### III.1 Cambio Climático

La influencia del ser humano en el Cambio Climático es clara y las emisiones actuales de gases de efecto invernadero son las más altas de la historia. Los recientes cambios climáticos han tenido impactos grandes en los sistemas humanos y naturales. El periodo entre 1983 y 2012 ha sido el más caliente de los últimos 1400 años en el Hemisferio Norte. Las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por las actividades del hombre han aumentado desde la era pre-industrial debido al crecimiento económico y demográfico. Esto ha elevado las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Sus efectos se han detectado en todo el sistema climático y es muy probable que haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde la mitad del siglo XX. La evidencia de los impactos observados con el cambio climático es más fuerte y más completa para los sistemas naturales. En muchas regiones del mundo, las precipitaciones cambiantes y el descongelamiento de cuerpos de nieve están alterando los sistemas hidrológicos, afectando así los recursos hídricos en términos de cantidad y calidad y se ha demostrado los impactos negativos sobre los rendimientos de los cultivos. Con el cambio climático aumentarán los riesgos existentes y surgirán nuevos riesgos para los sistemas naturales y humanos (IPCC, 2014).

El cambio climático provocará que la mayoría de las especies no puedan adaptarse y, aunque lo hicieren, su extinción ocurrirá debido a que su ambiente natural colapsará. Los océanos serán menos productivos y esto afectará directamente al 20% de la población que depende de ellos para la alimentación. El rendimiento de los cultivos disminuirá especialmente en poblados con altitud baja. Este estado ambiental desfavorable podría durar miles de años a medida que los procesos geológicos reaccionan lentamente a los desequilibrios provocados por la liberación del reservorio de carbón (McNutt, 2013).

El cambio climático es consecuencia del aumento de la temperatura debido a los altos niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico, así como alteraciones en los patrones de lluvia. Está previsto que periodos de lluvia irregular o insuficiente conllevan a que la sequía sea cada vez más frecuente. La sequía provoca una disminución progresiva de la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas causando la muerte prematura de la planta (Bhargava y Sawant, 2013).

### **III. 2 Sequía**

La Convención de las Naciones Unidas para combatir la sequía y la desertificación definen el término sequía como el fenómeno natural que existe cuando la precipitación ha sido significativamente más baja de lo normal en base a los niveles registrados, causando un desequilibrio hídrico que perjudica a los sistemas de producción de recursos agrícolas (ONU, 1994).

Las sequías son reconocidas en todo el mundo como un enorme desastre ambiental. Ocurren en todo tipo de clima y están relacionadas con la reducción de la precipitación en un largo periodo. Se clasifican en cuatro categorías. La sequía meteorológica se define como la ausencia de precipitación sobre una región por un periodo determinado. La sequía hidrológica es la que está relacionada a un periodo donde los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, son insuficientes para usos establecidos en un sistema de gestión de recursos hídricos. La sequía agrícola se refiere a un periodo de disminución de la humedad del suelo y la consiguiente pérdida de las cosechas por la escasez de los recursos hídricos superficiales. Por último, la sequía socio-económica está asociada con fallas en los sistemas de recursos hídricos que impiden abastecer el agua requerida y frenan su uso en bienes económicos (Mishra y Singh, 2010).

#### **III.2.1 Sequía en México**

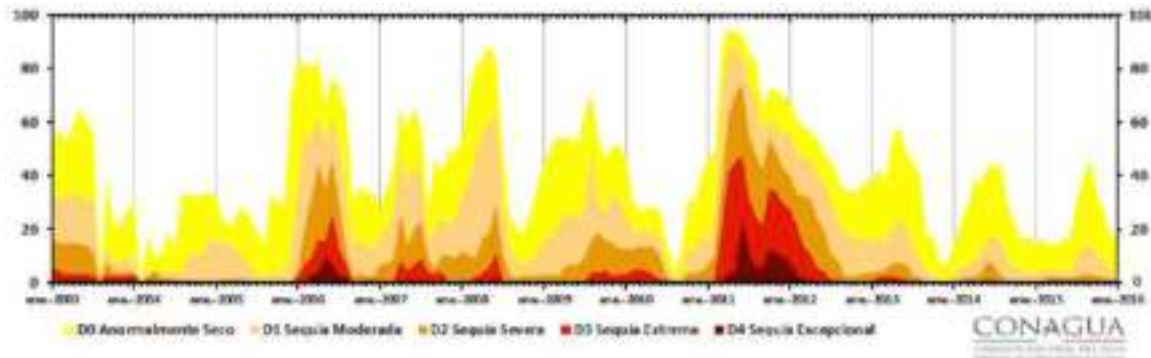
La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), a través del Servicio Meteorológico Nacional y con ayuda del Monitor de Sequía en México (MSM),

detecta y registra el estado actual y la evolución de la sequía, como uno de los fenómenos climáticos que más afectan a las actividades económicas del país. De acuerdo a la intensidad de la sequía, el MSM clasifica a la sequía en cinco niveles: D0, anormalmente seco; D1, sequía moderada; D2, sequía severa; D3, sequía extrema y D4, sequía excepcional. En el territorio mexicano existen los cinco niveles de sequía de la escala previamente mencionada (Figura III.1). La mayoría de los estados se encuentran en D0, anormalmente seco. Los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Nuevo León, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Yucatán presentan sequía moderada. La sequía severa se hace presente en Baja California, Veracruz, San Luis Potosí, Oaxaca y Chiapas. Solo Baja California presenta sequía extrema (CONAGUA, 2016).



**Figura III.1** Clasificación de la sequía en el territorio mexicano (CONAGUA, 2016).

La sequía es un fenómeno que no sigue un patrón de ocurrencia (Figura III.2). Los niveles más altos observados de sequía en México se registraron durante el 2011 y principios del 2012; durante este periodo se registraron los cinco niveles de sequía existentes (CONAGUA, 2016).



**Figura III.2** Porcentaje de área con sequía en México (CONAGUA, 2016).

### III.2.2. Efecto de la sequía en la producción agrícola

Se considera que la agricultura es el mayor consumidor de agua de calidad, particularmente en los países en desarrollo. De este modo, todas las operaciones y las actividades relacionadas con la agricultura se ven afectadas por la escasez de agua (Maiti y Satya, 2014).

En la agricultura, la sequía puede clasificarse en sequía terminal y sequía intermitente. La sequía terminal trae consigo una disminución progresiva del agua disponible en el suelo para la planta, causando la muerte prematura de la misma; mientras que la sequía intermitente afecta el crecimiento y desarrollo de la planta pero no es letal (Bhargava y Sawant, 2013).

Durante el 2011, la sequía afectó mayormente a los estados del norte del país, repercutiendo enormemente en la producción agrícola. Se registró una pérdida de la producción de frijol y maíz de 28.81% y 14.37% respectivamente, durante finales del 2010 y el 2011. Guanajuato fue el estado que presentó mayores estragos, con 43.37% de pérdida de las hectáreas totales sembradas durante el ciclo primavera-verano 2011 (Rodríguez y Juárez, 2011).

Se predice que en la próximas dos décadas, habrá una reducción en el rendimiento de cultivos primarios, como maíz, trigo y arroz, en las regiones semiáridas (Takeda y Matsuoka, 2008).

### **III.3 Efecto de la sequía en las plantas**

El estrés por sequía afecta muchos aspectos fisiológicos de las plantas. Si el estrés se prolonga, el crecimiento de la planta y la productividad disminuirán notablemente. Las plantas realizan un gran número de procesos fisiológicos, químicos y moleculares, a nivel celular y en planta completa, que se alteran y desempeñan una papel clave para contrarrestar al estrés por sequía (Osakabe *et al.*, 2014; Bhargava y Sawant, 2013).

#### **III.3.1 Relación agua-crecimiento**

La primera respuesta de las plantas en condiciones de sequía es detener el crecimiento. La inhibición del crecimiento de los brotes bajo estrés por sequía reduce la demanda metabólica de la planta y moviliza metabolitos para la síntesis de compuestos protectores necesarios para un ajuste osmótico. El cese del crecimiento de raíces permite al meristemo radicular mantener su función y recuperarse una vez que se termine el estrés. Se ha observado además, que la inhibición del crecimiento de las raíces laterales es una respuesta adaptativa de la planta, lo cual promueve que las raíces primarias crezcan más para poder extraer agua de niveles inferiores (Hsaio y Xu, 2000; Xiong *et al.*, 2006). A la búsqueda del agua por las raíces se le conoce como hidrotropismo y en años recientes se empiezan a comprender sus bases moleculares (Kobayashi *et al.*, 2007).

En respuesta al estrés por falta de agua, los sistemas de transporte, tanto iónico como de agua a través de las membranas, funcionan para controlar los cambios en la presión de turgencia en las células guarda que estimulan el cierre estomático.

La inhibición del crecimiento surge debido a la pérdida de turgencia celular derivada de la falta de disponibilidad de agua de las células en crecimiento. La disponibilidad de agua en las células es baja debido a la mala conductividad hidráulica de las raíces a las hojas causadas por el cierre de los estomas. Así, una disminución en la conductancia hidráulica disminuye el suministro de nutrientes a los brotes, evitando una obstrucción en el xilema (Blum, 2005).

La sequía tiene efectos severos en el crecimiento, rendimiento y calidad de la planta. La primera respuesta al estrés es la pérdida de turgencia que afecta la velocidad de expansión de la célula y su tamaño. La pérdida de turgencia es probablemente el proceso más sensible a la sequía, dando como resultado la disminución en la velocidad de crecimiento, de la elongación del tallo, de la expansión foliar, y de la apertura estomática (Hale & Orcutt, 1987).

Los citados autores señalan que el mecanismo de respuesta a la sequía de las plantas se divide en cinco procesos:

1. Reducción del potencial hídrico o de la actividad del agua celular.
2. Disminución de la presión de turgencia celular.
3. Concentración de moléculas pequeñas, iones y/o macromoléculas en la célula contrarresta la reducción de turgencia.
4. Alteración de las relaciones espaciales en la membrana celular, en los tonoplastos, y en las membranas de los organelos por cambios en el volumen.
5. Cambios en la estructura o configuración de macromoléculas debido a la eliminación de agua de hidratación o debido a la modificación de la estructura del agua adyacente.

También indican que el grado de estrés por sequía se divide en tres categorías, dependiendo de su potencial hídrico o de su contenido relativo de agua (CRA),

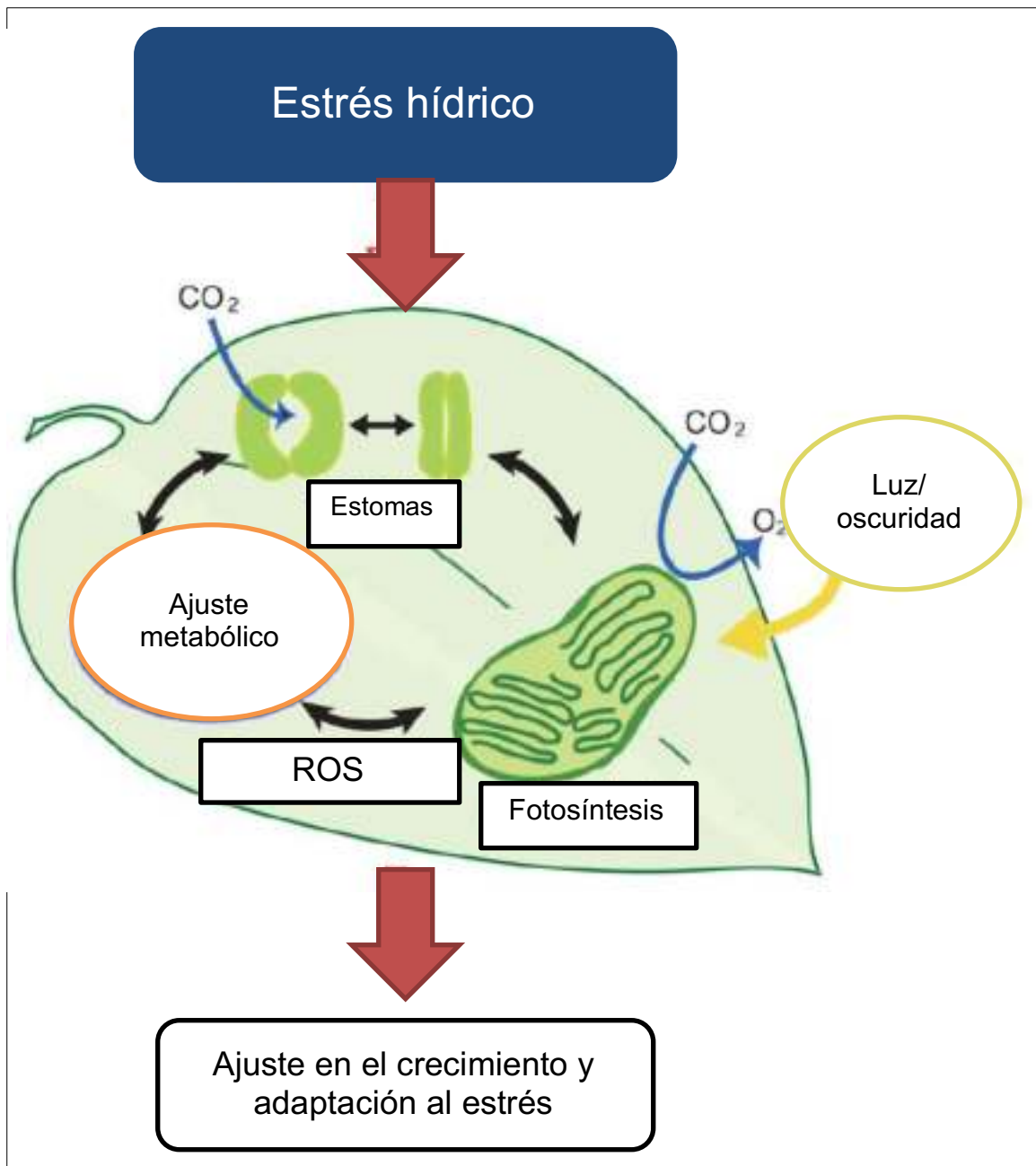
en bajo, moderado y severo. Se clasifica como bajo cuando el potencial hídrico de las hojas se sitúa sólo a décimas de un megapascal y el CRA sólo disminuye de un 8 a 10%. El estrés moderado ocurre si el potencial hídrico varía entre -1.2 y 1.5 MPa y la disminución del CRA es mayor a 10% pero menor que 20%. Por último, el estrés severo se alcanza cuando el potencial hídrico es menor que -1.5 MPa y el CRA disminuye más del 20%. El estrés por sequía moderado afecta indirectamente la translocación mediante la alteración de la relación fuente-demanda para los fotosintatos. Por ejemplo, cuando la expansión celular disminuye debido al estrés, la fuente fotosintética (las hojas) disminuye y hay menos fotosintatos disponibles para la translocación a los frutos. Por otro lado, el tamaño de la demanda (los frutos) disminuirá, y si la sequía ocurre después de la expansión foliar, el resultado será que la competencia entre las hojas y los frutos disminuirá.

### **III.3.2 Fotosíntesis**

La respuesta más rápida al déficit hídrico es el cierre de los estomas para proteger a la planta de la pérdida de agua y por consiguiente, la inhibición de la fotosíntesis. La falta de agua que induce la síntesis de ABA trae consigo el cierre estomático, lo cual causa una disminución en la concentración de dióxido de carbono intracelular e inhibe la fotosíntesis (Figura III.3). Esta inhibición es reversible y los estomas pueden abrirse cuando el estrés haya cesado (Chaves *et al.*, 2009).

El limitado dióxido de carbono intracelular, debido al prolongado cierre de los estomas, provoca la acumulación de componentes de transporte fotosintético de electrones reducidos, lo que reduce el oxígeno molecular y da lugar a especies reactivas de oxígeno (ROS, del inglés, "Reactive Oxygen Species"), causando así daño indiscriminado al aparato fotosintético. Esta inhibición metabólica de la fotosíntesis es irreversible y da lugar a una lesión en dicho aparato (Lawlor y Cornic, 2002).





**Figura III.3 Respuesta de la planta al estrés por sequía.** Cierre de estomas, acumulación de ROS, cambios metabólicos y la fotosíntesis (Modificada de Osakabe *et al.*, 2014)

De esta manera, se reduce la fotofosforilación y la generación de ATP, lo cual inhibe la actividad de la RuBisCO. Las respuestas adaptativas de la planta para prevenir el daño al fotosistema debido al estrés por sequía incluyen la disipación

termal de la energía de la luz, la fotodestrucción de la proteína D1 del fotosistema II, el ciclo de la xantofila, el ciclo del agua-agua y la disociación del complejo antena de los centros reactivos fotosintéticos (Niyogi, 1999; Demmig-Adams y Adams, 2006).

### **III.3.3 Respiración celular**

El crecimiento está determinado por la relación entre la asimilación de CO<sub>2</sub> fotosintético y el CO<sub>2</sub> liberado producto de la respiración. La tasa de respiración está regulada por procesos que usan productos de la respiración, como ATP, NADH e intermediarios del ciclo de los ácidos tricarboxílicos, los cuales contribuyen al crecimiento de la planta. Bajo estrés por sequía, estos procesos se afectan y la tasa de respiración disminuye. Por otro lado, un aumento en la tasa de respiración se ha observado también en condiciones de escasez de agua y esto conduce a un aumento en los niveles de CO<sub>2</sub> intercelular en las hojas (Lawlor y Tezara, 2009).

### **III.3.4 Metabolismo antioxidante**

Los ROS se generan debido a la perturbación metabólica de las células, y éstas causan daño y muerte celular. Un mecanismo de adaptación importante consiste en su eliminación eficaz. Existen sustratos antioxidantes como ascorbato,  $\alpha$ -tocoferol y carotenoides y enzimas antioxidantes tales como superóxido dismutasa, catalasa, peroxidasa de ascorbato y glutatión reductasa en orgánulos celulares y el citoplasma, que juegan un papel importante en la desintoxicación de estas especies reactivas (Shao *et al.*, 2008).

### **III.3.5 Fitohormonas**

Las fitohormonas regulan diversos procesos en las plantas, lo cual permite la aclimatación al estrés. Cuando la planta percibe déficit de agua, se sintetiza ácido abscísico (ABA) en la raíces y es translocado a las hojas, generando el cierre de los estomas, siendo esto una respuesta adaptativa en periodos sequía (Wilkinson y Davies, 2010).

Los niveles de ABA endógeno aumentan en variedades de cebada tolerantes a sequía durante el estrés en comparación con la variedad susceptible, comprobando así su rol en la tolerancia a sequía. Asimismo, se ha reportado que ABA regula la actividad de las acuaporinas, las cuales son transportadores de agua que, contribuyen a mantener el estado hidratado de la planta (Thameur *et al.*, 2011; Parent *et al.*, 2009).

El ABA endógeno se produce rápidamente durante la sequía, desencadenando una cascada de respuestas fisiológicas, incluyendo el cierre estomático, el cual es regulado por una red de transducción de señales. En *Arabidopsis*, la enzima 9-cis-epoxicarotenoide dioxigenasa (*NCED3*) cataliza un paso clave en la biosíntesis de ABA, y la expresión de *NCED3* se induce rápidamente durante el estrés por sequía de manera específica en el tejido vascular (Endo *et al.*, 2008; Behnam *et al.*, 2013). La sobre-expresión de *NCED3* mejora la tolerancia a sequía en algunas especies de plantas (Iuchi *et al.*, 2001; Tung *et al.*, 2008).

Las citocininas son hormonas que tienen un rol esencial en el crecimiento y desarrollo de la planta y se ha documentado que se presentan en bajos niveles durante el estrés debido a la sequía, pero su nivel aumenta después del riego de recuperación. Otras hormonas vegetales, como el etileno, el ácido jasmónico, el ácido salicílico y los brasinoesteroides, también están involucrados en la señalización de estrés aunque juegan un papel menor (Müller y Munné-Bosch, 2015).

### **III.3.6 Osmoprotectores**

El ajuste osmótico es uno de los procesos más eficientes por el que las plantas se protegen del daño causado por la sequía. La síntesis de solutos compatibles con el metabolismo, tales como polioles como el manitol, sales cuaternarias de amonio como la glicina betaína, algunos disacáridos como la trehalosa y ciertos aminoácidos como la prolina, son capaces, bajo condiciones de sequía, de evitar

la pérdida de agua de las células, jugando un papel importante en mantener la turgencia celular, y además protegen a las membranas y proteínas del daño irreversible causado por la pérdida de agua (DaCosta y Huang, 2006).

La prolina es un aminoácido que se acumula en el tejido vegetal como respuesta y adaptación a estrés como sequía. Kemble y MacPherson (1954) observaron por primera vez la acumulación de prolina en *Lolium multiflorum* expuesto a sequía. La biosíntesis de prolina comienza cuando la planta se somete a sequía y se detiene hasta que se libera el estrés y las células regresan a su estado osmótico normal. La acumulación de prolina tiene un rol directo y adaptativo contrarrestando los efectos del estrés osmótico. Su función es minimizar los efectos del daño celular y ajustar el potencial osmótico intracelular (Delauney y Verma, 1993).

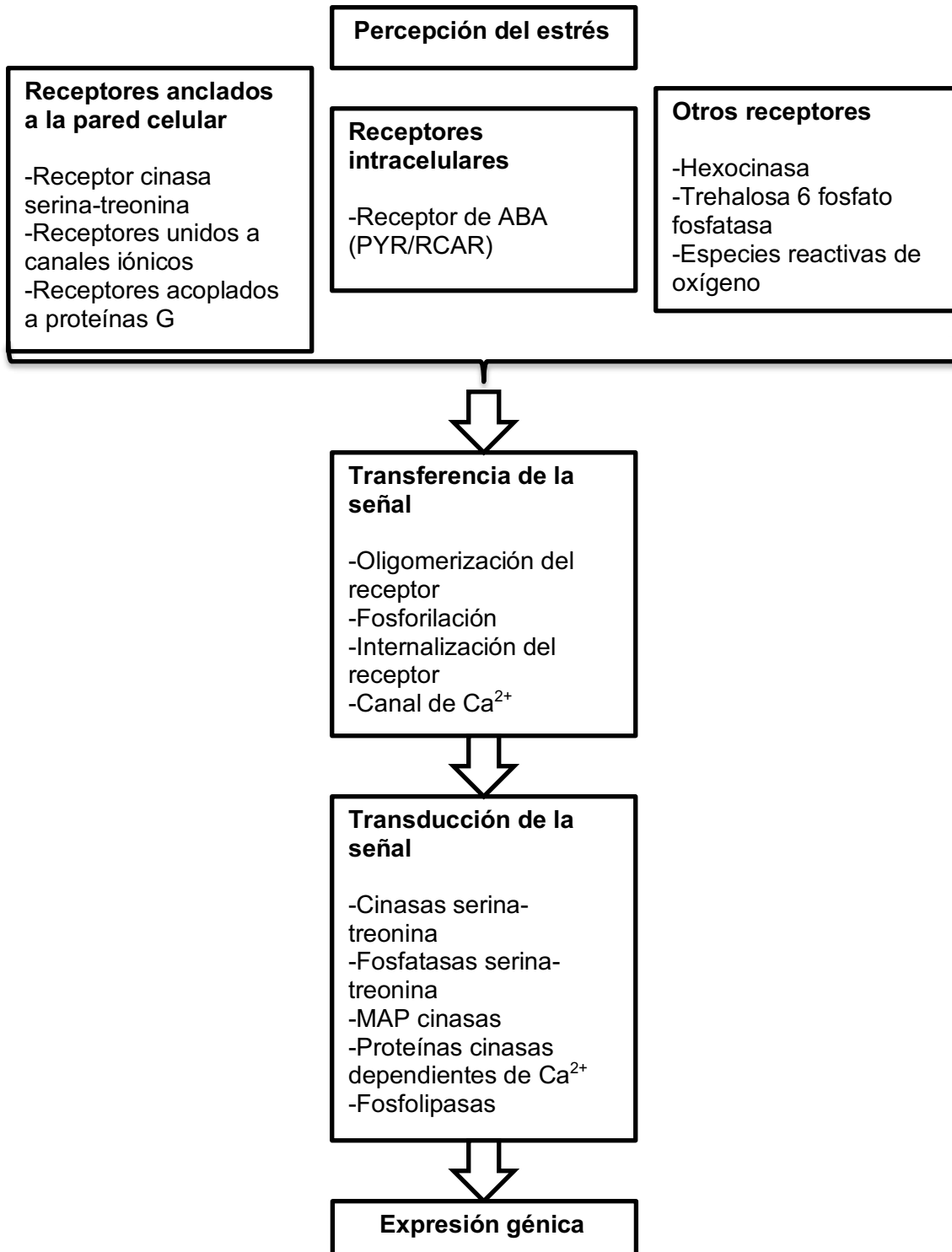
Otro osmoprotector es la glicina betaína, que al igual que la prolina, se acumula en muchas plantas expuestas a sequía. Su función es estabilizar la estructura y función de enzimas y de complejos proteicos, así como mantener la integridad de las membranas celulares (Sakamoto y Murata, 2002). Quan *et al.* (2004b) desarrollaron y evaluaron un maíz transgénico, el cual tiene una mejor biosíntesis de glicina betaína, que presenta tolerancia a sequía y un aumento en rendimiento en comparación al maíz no transformado. El transgénico consiste en la expresión del gen *betA* de *Escherichia coli* en maíz. El gen *bet A* codifica para la enzima colina deshidrogenasa, la cual cataliza la oxidación de colina a betaína aldehído; la colina deshidrogenasa también puede catalizar la oxidación de betaína aldehído a glicina betaína (Quan *et al.*, 2004a; Quan *et al.*, 2004b).

La trehalosa, es otro osmoprotector que ha sido muy estudiado por tener un papel clave en la tolerancia a sequía en las plantas (Iturriaga *et al.*, 2009). Es un disacárido con propiedades fisicoquímicas muy peculiares que está presente en altas concentraciones en bacterias, hongos, insectos y plantas tolerantes al estrés abiótico. Inicialmente se caracterizó en los organismos anhidrobióticos,

como por ejemplo las plantas de resurrección, que son capaces de sobrevivir meses o años en estado deshidratado y reviven en unas cuantas horas al estar en contacto de nuevo con el agua (Zentella *et al.*, 1999; Iturriaga *et al.*, 2000). Existen cinco vías de biosíntesis de la trehalosa, siendo la más común en las plantas, algunas bacterias y ciertos hongos la vía TPS-TPP (Avonce *et al.*, 2006). La trehalosa se sintetiza en dos pasos: primero, trehalosa 6-fosfato es sintetizada a partir de glucosa 6-fosfato y UDP-glucosa por la enzima trehalosa fosfato sintasa (TPS); en un segundo paso, la trehalosa 6-fosfato es desfosforilada por trehalosa 6-P fosfatasa (TPP), para dar lugar a la trehalosa activa. La trehalosa es degradada por la trehalasa, produciendo dos moléculas de glucosa. Los genes que codifican para la vía TPS-TPP confieren tolerancia a condiciones extremas de sequía, salinidad, congelamiento y calor cuando se expresan por transgénesis en *Arabidopsis*, alfalfa y banano (Avonce *et al.*, 2004; Suárez *et al.*, 2009; Santamaría *et al.*, 2009). Los niveles de trehalosa en una planta de maíz tolerante a sequía son mayores cuando se expone a sequía que los de una planta de maíz susceptible a la sequía en las mismas condiciones (Velázquez-Márquez *et al.*, 2015).

#### **III.4 Percepción del estrés y señalización**

La adaptación de las plantas ante el estrés hídrico involucra diversos procesos que empiezan por la percepción del estrés y dan lugar a la expresión de múltiples genes involucrados en respuestas morfológicas y fisiológicas que incrementan las posibilidades de supervivencia ante la falta de agua (Figura III.4) (Bhargava y Sawant, 2013).



**Figura III.4** Cascada de señalización desde la percepción del estrés por sequía hasta la regulación de la expresión génica. Figura traducida de Bhargava y Sawant (2013).

La respuesta al estrés osmótico en plantas es regulada por dos cascadas de transducción entre la señal inicial y la expresión específica de genes, una que es dependiente de ABA y otra que es independiente de ABA (Yamaguchi-Shinozaki y Shinozaki, 2006; Nakashima *et al.*, 2014).

### **III.4.1 Percepción del estrés**

Los mecanismos moleculares que perciben el estrés consisten en diversas clases de receptores de la membrana celular como receptor cinasa serina/treonina, que pertenece a la familia de los RLKs (del inglés, “Receptor-Like Kinases”), receptores unidos a canales iónicos, receptores acoplados a proteínas G conocidos como GPCRs (del inglés, “G Protein Coupled Receptors”) y receptores cinasa histidina de dos componentes (Bhargava y Sawant, 2013).

Los RLKs son los principales receptores involucrados en el desarrollo de la planta y en las señales ambientales. Su actividad se regula por oligomerización y fosforilación del receptor, internalización y desfosforilación del receptor o mediante regulación a nivel transcripcional (Chae *et al.* 2009). La proteína Cre 1, es un receptor de dos componentes que se fosforila en un residuo de histidina, y actúa como un sensor del estrés osmótico (Bartels y Sunkar, 2005). Los canales de  $Ca^{2+}$  son los responsables de la entrada de  $Ca^{2+}$  al citoplasma cuando la planta se encuentra en situaciones de estrés. Estos canales iónicos también actúan como receptores ante el estrés osmótico (Xiong *et al.* 2002). Los GPCRs son otro grupo de receptores de membrana, los cuales, cuando perciben el estrés activan enzimas como fosfolipasas tipo C o D que liberan segundos mensajeros y transducen la señal del estrés (Tuteja y Sopory, 2008).

El receptor PYR/RCAR es un receptor intracelular para ABA, que ha mostrado su capacidad de señalización para estrés por sequía a través de la activación de una cinasa serina/treonina SnRK2, en respuesta a la unión de ABA. En vista de que la síntesis de ABA se induce en respuesta al estrés por sequía, el receptor

de ABA puede ser considerado como un receptor de dicho estrés (Sheard y Zheng, 2009).

La señalización de azúcares se ha considerado como un componente importante de la respuesta al estrés. En este caso, las hexocinasas han sido identificadas como sensores de glucosa en las plantas, las cuales están involucradas en la represión de la expresión génica de la fotosíntesis cuando los niveles de hexosa en las hojas son altos (Hanson y Smeekens, 2009). La ruta de la biosíntesis de trehalosa, en la cual la trehalosa 6 fosfato (T6P) actúa como un inhibidor de la SnRK1, conecta el crecimiento y desarrollo de la planta con las necesidades metabólicas de la célula, de tal manera que este intermediario estimula las rutas biosintéticas, mientras que por el contrario, SnRK1 activa el catabolismo (Lawlor y Paul, 2014).

Los ROS, las cuales son productos tóxicos del metabolismo bajo estrés, también son moléculas importantes de señalización. La señal oxidativa se transduce vía intermediarios secundarios de señalización como  $Ca^{2+}$  o PA (del inglés, "Phosphatidic Acid"), proteínas cinasas activadoras de serina/treonina y MAPK (del inglés, "Mitogen-Activated Proteins Kinase") para activar las transcripciones de genes involucrados en la aclimatización (Cheeseman, 2007).

### **III.4.3 Transducción de la señal**

A la percepción de la señal le sigue la generación de moléculas de señalización secundarias involucradas en la transducción de la señal como proteínas cinasas y fosfatasas, fosfolípidos como fosfoinosítidos, ROS,  $Ca^{2+}$ , óxido nítrico, cAMP y azúcares (Bartels y Sunkar, 2005; Tuteja y Sopory, 2008)

Las MAP cinasas llevan a cabo la fosforilación de las proteínas y constituyen uno de los principales mecanismos de la transducción de la señal. Estas proteínas están localizadas en el citoplasma y consisten en tres clases de enzimas, MAPK, MAPKK y MAPKKK, que forman una cascada de señalización



que va desde el sensor del estrés ubicado en membrana celular hasta la regulación de la expresión génica en el núcleo. El movimiento de las MAPK al núcleo provocan la activación de factores de transcripción que van a encender genes que codifican para las proteínas o enzimas que permiten la adaptación del estrés y constituyen uno de los mecanismos para la transducción de la señal (Tena *et al.*, 2001).

Los niveles de calcio en el citoplasma aumentan durante el estrés. La fuente de este calcio citoplasmático es el apoplasto y las reservas celulares. Algunos receptores de  $\text{Ca}^{2+}$  como calmodulina (CaM) o proteínas unidas a CaM se han identificado en las células, los cuales transducen la señal al núcleo a través de otros mensajeros como fosfolipasa D y CDPKs (del inglés, “Calcium Dependent Protein Kinases”) (Tuteja y Sopory, 2008).

Los fosfoinosítidos, un tipo de fosfolípidos que están ubicados en la membrana plasmática, son una fuente de la mayoría de moléculas secundarias de señalización, como fosfatidilinositol fosfatos, que son fosforilados por cinasas. Las fosfolipasas actúan sobre estos fosfolípidos para generar moléculas de señalización como inositol 1,4,5-trifosfato, diacilglicerol y PA, las cuales están involucradas en la transmisión de la señal entre la membrana plasmática y la señalización intracelular (Drobak y Watkins, 2000).

### **III.5 Adaptaciones moleculares de las plantas bajo condiciones de sequía**

La tolerancia a la sequía es una característica que está controlada por varios genes. En particular, estudios transcriptómicos muestran diferencia en la expresión génica en plantas de maíz bajo condiciones de sequía y de riego constante (Hayano-Kanashiro *et al.*, 2009).

#### **III.5.1. Expresión génica**

Algunos de los genes reportados que se sobre-expresan bajo condiciones de sequía incluyen a los genes involucrados en la síntesis de osmolitos, genes que

codifican para proteínas LEA, para aquaporinas, para moléculas de señalización y para factores de transcripción (Bartels y Souer, 2004).

Estudios en la expresión génica de tres criollos de maíz bajo condiciones de sequía y recuperación mostraron cambios más drásticos en la expresión génica, la cual se correlaciona con diferentes mecanismos fisiológicos de adaptación a la sequía. Existen diferencias en la cinética y el número de genes sobre-expresados y reprimidos entre los dos genotipos tolerantes. Sin embargo, las diferencias más significativas se observaron entre el genotipo tolerante y el susceptible durante el riego de recuperación. Con esto sugirieron que los genotipos tolerantes activaron mecanismos que le permitieron una recuperación más eficiente después de la sequía severa (Hayano-Kanashiro *et al.*, 2009).

Los tipos de genes que han mostrado expresarse bajo condiciones de sequía en maíz son genes de detoxificación, genes de transporte, genes de estrés abiótico, genes de señalización y genes relacionados con el metabolismo hormonal. Asimismo, se han encontrado genes involucrados en la regulación hormonal, en el metabolismo de carbohidratos y azúcares, en moléculas de señalización, en reacciones redox y en la fotosíntesis (Hayano-Kanashiro *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2014).

Se han identificado 159 genes que codifican para las proteínas fosfatasa en el genoma del maíz. Análisis filogenéticos categorizan la familia del gen ZmPP en 3 clases: PP2C, PTP y PP2A, con una considerable conservación entre ellas. El perfil de expresión de ZmPPs bajo diferentes estados de desarrollo y estrés abiótico muestra 152 miembros en 18 tejidos diferentes que representan distintas etapas de desarrollo de maíz. Bajo condiciones de sequía, se identificaron 13 genes expresados diferencialmente en hoja, de los cuales 10 se sobre-expresan y 3 se reprimen (Wei y Pan, 2014).

Liu *et al.*, (2015) identificaron 71 genes MAPKKK en el genoma del maíz. Mediante análisis de RNA-Seq en la hoja, tallo y raíz bajo condiciones de riego y de sequía, identificaron 5,866 genes diferencialmente expresados (DEGs), incluyendo 8 genes MAPKKK que responden al estrés por sequía. La mayoría de los DEGs están relacionados con el estrés por sequía, estímulo abiótico, procesos de oxidación-reducción y procesos metabólicos. Los otros DEGs están involucrados en procesos como la oxidación, la fotosíntesis, y el metabolismo del almidón, de la prolina, del etileno y del ácido salicílico. Análisis de correlación sugieren que existe una correlación significativa entre los niveles de expresión de dos MAPKKKs y biomasa relativa en respuesta a la sequía. Así se demuestra que los MAPKKKs podrían tener funciones reguladoras importantes en la tolerancia a la sequía en maíz.

El análisis de RNA-Seq ha mostrado la expresión de genes involucrados en el metabolismo de carbohidratos, lo cual provoca cambios en el metabolismo del almidón y de la sacarosa en ovarios fertilizados de maíz, observando una disminución en los niveles de almidón y en la función de transporte de la sacarosa. También se ha observado una disminución masiva en la abundancia de transcritos de la división celular y el ciclo celular (Kakumanu *et al.*, 2012).

Thatcher *et al.* (2016) demostraron que el “splicing” alternativo juega un papel significativo en las etapas de desarrollo del maíz y durante la sequía. El nivel de expresión del factor de “splicing” *PRP18* parece estar bien correlacionado con el “splicing” alternativo que provoca el estrés por sequía.

Estudios recientes en maíz han demostrado que las proteínas que contienen el motivo VQ tienen un rol importante en la respuesta al estrés y en el desarrollo de la semilla en plantas. Se han identificado y caracterizado 61 genes *ZmVQ* en el genoma del maíz, de los cuales la mayoría muestran expresión en respuesta a la sequía; en particular, los genes *ZmVQ13*, *1*, *57*, *15*, *19* y *28* están involucrados en la respuesta al estrés por sequía (Song *et al.*, 2016).

### III.5.2 Factores de transcripción

Los factores de transcripción desempeñan un papel importante en la regulación de la expresión génica en respuesta al estrés, ya que actúan como interruptores que desencadenan la expresión simultánea de muchos genes involucrados en la tolerancia a la sequía (Bartels y Souer, 2004).

Se ha reportado que la expresión génica inducida debido al estrés por sequía está regulada por los factores de transcripción pertenecientes a las familias bZIP, AP2/ERF, HD-ZIP, MYB, bHLH, NAC, NF-Y, EAR y ZPT2. Estos factores de transcripción se activan a nivel transcripcional o a nivel proteína por transducción de la señal (Yang *et al.*, 2010).

Debido a que el estrés por sequía desencadena la biosíntesis de ABA, algunos factores de transcripción se activan específicamente por ABA. Los ABFs (del inglés, “ABA-responsive TFs”) pertenecen a la familia de los factores de transcripción bZIP y se unen a los ABRE (del inglés, “ABA-response elements”) presentes en los promotores de los genes que responden al estrés (Yoshida *et al.*, 2010).

Los factores de transcripción HD-ZIP son específicos de las plantas y muestran la presencia de un homeodominio adyacente a un cierre de leucina. Una función atribuida a esta familia de factores de transcripción es la regulación de genes dependientes de ABA bajo condiciones de sequía (Deng *et al.*, 2002). Asimismo, se ha encontrado que los factores de transcripción MYBs tienen un papel clave en la regulación de la expresión de genes involucrados en la respuesta a la sequía (Iturriaga *et al.*, 1996; Villalobos *et al.*, 2004; Baldoni *et al.*, 2015).

Los promotores de los genes involucrados en la respuesta a la tolerancia a la sequía tienen diferentes tipos de elementos cis, en los cuales los factores de transcripción de la misma o diferente familia pueden unirse. Así, la expresión génica bajo diferentes tipos de estrés puede regularse empleando factores de

transcripción adecuados, que forman homo- o heterodímeros al llevarse a cabo la activación transcripcional en situaciones específicas de estrés. Sin embargo, el uso de factores de transcripción en la ingeniería genética de plantas para mejorar la tolerancia a sequía puede ocasionar efectos pleiotrópicos no deseados que pueden tener efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de la planta (Abdeen *et al.*, 2010).

### **III.6 Efectos de la sequía en el cultivo de maíz**

El maíz es el cultivo más importante de México. Se utiliza para la elaboración de alimentos tradicionales como aceites e insumos para la industria. El maíz requiere de una temperatura cálida (entre 25 y 30°C) así como una alta radiación solar para que tenga un desarrollo completo. Necesita alrededor de cinco milímetros de lluvia o riego diario. Cada etapa de su desarrollo demanda diferentes cantidades de agua; cuando brota de la tierra, requiere menos cantidad, sólo con humedad constante basta; en la fase de crecimiento ocupa una mayor cantidad de agua, siendo la floración el periodo más crítico, porque de ello dependerá la producción final (Reyes, 1990).

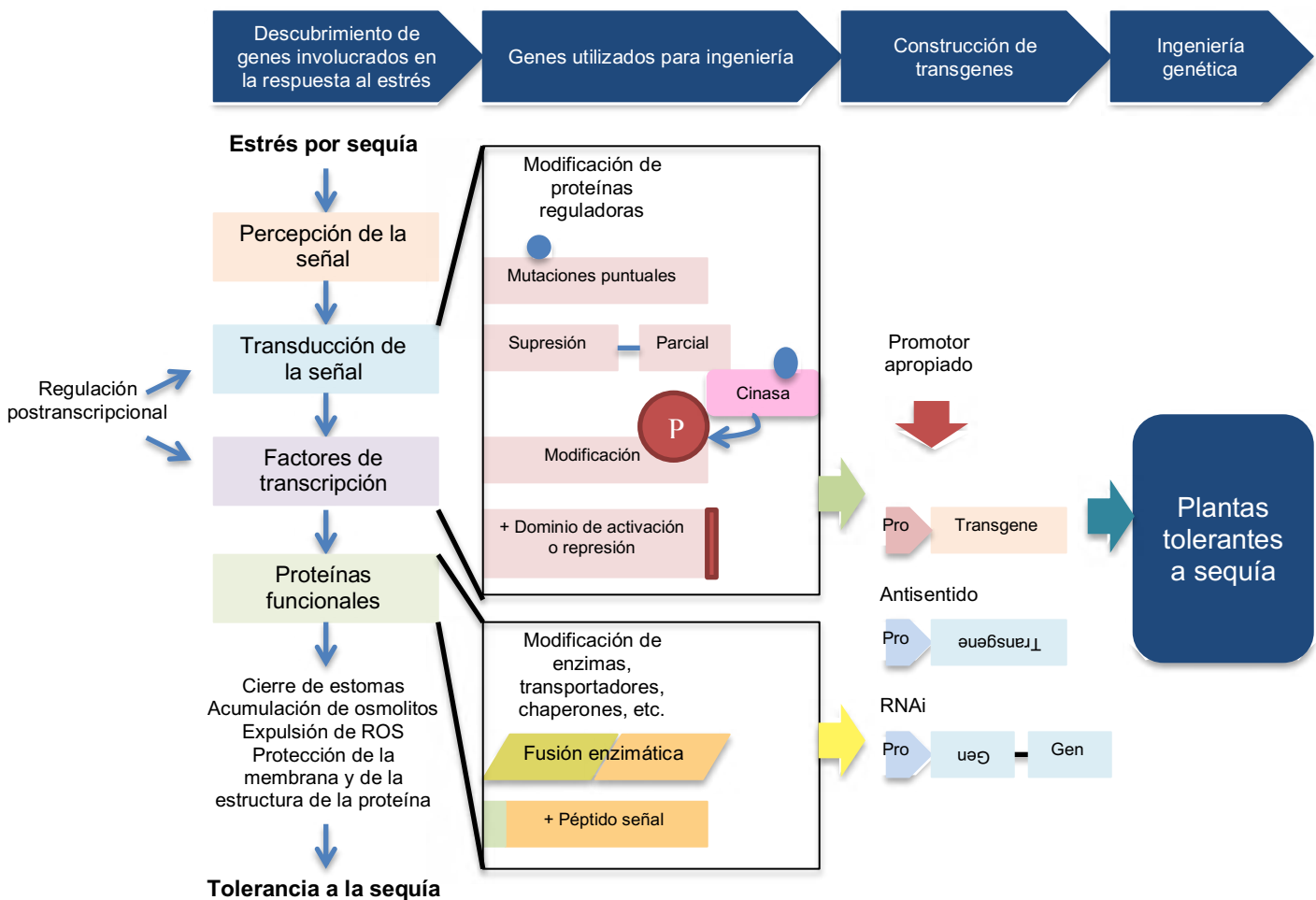
El desarrollo y el rendimiento del maíz dependen de la severidad, intensidad y duración del estrés por sequía. El estrés moderado provoca la disminución del peso de planta, del área foliar, del diámetro del tallo, de la acumulación de biomasa, de la tasa fotosintética y de la transpiración. Cuando aumenta el tiempo del estrés moderado disminuyen los días a floración masculina y femenina, y el número y el peso seco de semillas. El estrés severo afecta negativamente todos los parámetros de rendimiento y provoca que el periodo de maduración se retrase (Ge *et al.*, 2012).

Durante la etapa vegetativa del maíz, el estrés por sequía reduce el tamaño de la planta y de la hoja. Por lo tanto, la disminución del área foliar disponible para la fotosíntesis tiene un impacto negativo en el rendimiento. Después de la etapa de emisión de estigmas hasta la madurez, la sequía afecta el peso de la semilla,

provocando la disminución en el rendimiento de 20 a 30%. El estrés durante el llenado de grano acelera la senescencia de la hoja debido a la reducción de la fotosíntesis (Maiti y Satya, 2014; Banziger *et al.*, 2000).

### **III.7 Desarrollo de cultivos tolerantes a estrés osmótico**

Conocer y entender la función de genes candidatos en respuesta a estrés por sequía podría ayudar a acelerar el mejoramiento genético de diversos cultivos. Los análisis moleculares y genómicos han facilitado el descubrimiento de genes involucrados en la tolerancia al estrés osmótico, los cuales son utilizados en ingeniería genética para mejorar la tolerancia del cultivo. Un amplio rango de genes puede ser utilizado, incluyendo genes que codifican para proteínas funcionales como proteínas transportadoras y/o chaperonas. Asimismo, estudios recientes han utilizado proteínas reguladoras, como factores de transcripción y factores de señalización, para proponer rutas en la ingeniería de la tolerancia a sequía. La actividad de las proteínas reguladoras puede ser controlada a través de mutaciones puntuales, supresiones parciales, modificaciones post-traduccionales o por la adición de dominios de activación o represión. También, los genes pueden ser regulados a nivel mRNA. El patrón de intensidad génica y tiempo-espacio de la expresión del transgen puede ser regulado mediante promotores apropiados (Figura III.5).



**Figura III.5** Estrategias de la ingeniería genética para desarrollar plantas tolerantes a la sequía. Imagen modificada de Umezawa *et al.* (2006)

Se han desarrollado transgénicos tolerantes a la sequía sobre-expresando genes que codifican para proteínas cinasas, factores de transcripción, dehidrasas y enzimas responsables de la biosíntesis de osmoprotectores (Hu y Xiong, 2014).

Sin embargo, solo hay dos cultivos tolerantes a sequía aprobados para siembra, la caña de azúcar y el maíz. La caña de azúcar fue desarrollada por la empresa PT Perkebunan Nusantara XI, originaria de Indonesia, y obtuvo su aprobación de siembra en el 2013 sólo para Indonesia utilizando los genes EcBetA, Rm y BetA cuya función es de osmoprotección y producción de glicín betaína,

respectivamente. El maíz fue desarrollado por Monsanto y aprobado para Canadá, USA y Japón en 2010, 2011 y 2012, respectivamente, utilizando el gen de la proteína B de choque frío, cuya función es preservar la estabilidad del RNA y su traducción (Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotec, 2016).



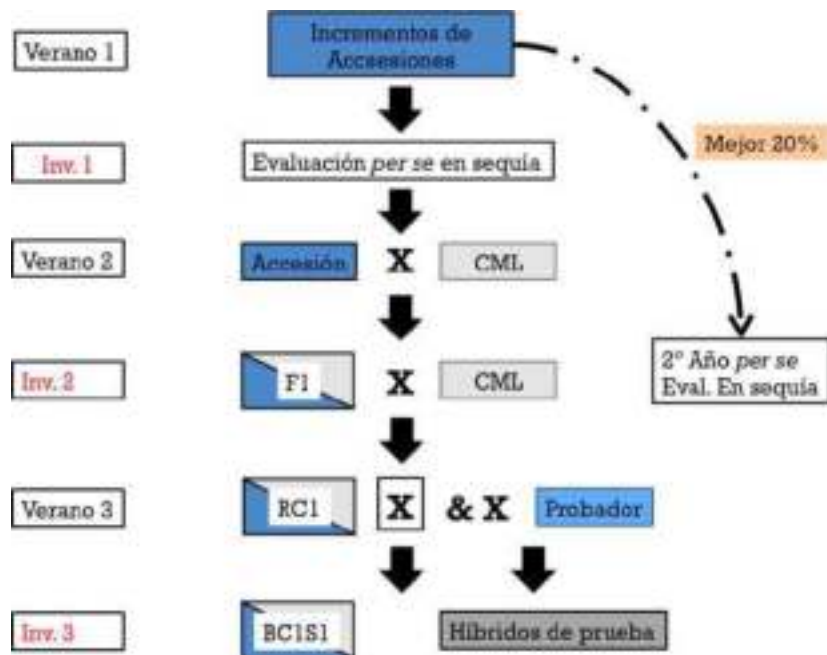
## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **IV.1 Ubicación del experimento**

El desarrollo del presente trabajo se llevó a cabo en el Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Roque, con dirección Km.8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, latitud de 20.581246, y longitud de -100.826430. Se caracteriza por presentar clima semiseco y semicálido. La lluvia media anual oscila entre los 600 y 700 mm y la temperatura media anual es de 18 y 20°C. Durante el 2016 se alcanzaron temperaturas máximas de 35 °C durante el mes de mayo.

### **IV.2 Material biológico**

El material vegetal fue donado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y consistió en maíces de la familia RC1S1 tolerantes a sequía. Su desarrollo consistió de 6 ciclos agrícolas (Figura 4.2). En el Verano 1 se incrementó semilla de los materiales criollos y de la línea élite. Después, en el Invierno 1 se evaluó cada accesión *per se*. Durante el Verano 2 se hizo la cruce de cada criollo con la línea élite para obtener la F1. Posteriormente, durante el Invierno 2, se retrocruzó la F1 con la línea élite. Por último, durante el Verano 2, se autofecundó la retrocruza obtenida en el Invierno 2.



**Figura IV.1** Diagrama de la obtención del material vegetal donado por el CIMMYT.

Cada material proviene de un criollo de maíz diferente cruzado con una línea élite. Los criollos provienen de colectas de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Argentina. En la Tabla IV.1 se muestran las características más sobresaliente de cada criollo *per se*, como el nombre común, la raza primaria y secundaria, los días a floración masculina y femenina y su elevación en metros sobre el nivel de mar.

**Tabla IV.1** Caracterización de cada criollo *per se*.

Accesión	Nombre común	Raza primaria	Raza secundaria	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Elevación (msnm)
CHIH338	Bonito	Ratón	-----*	61	63	2000
COAH117	-----*	Ratón	Tuxpeño-Norteño	75	78	1500
NVOL46	-----*	Ratón	-----*	74	78	1700
SNLP169	-----*	Cónico norteño	Cónico norteño	77	81	-----*
ARZM12236	Anaranjado panza blanca	Dentado y sedimentado blanco	-----*	60	62	838

\*----- No registrado.

La línea élite es una línea desarrollada por CIMMYT desde 1999 en Tlaltizapán, Morelos. Como se muestra en la Tabla IV.2, entre sus características registradas sobresalen los días a floración masculina y femenina, el porcentaje de germinación y su elevación en metros sobre el nivel del mal.

**Tabla IV.2** Caracterización de la línea élite *per se*.

Accesión	Floración masculina (días)	Floración femenina (días)	Germinación (%)	Elevación (msnm)
CML 376	87	88	95	940

Para establecer y reportar resultados se asignó un nombre corto a cada accesión evaluada, como se muestra en la Tabla IV.3. Así, en la sección de resultados y discusión se utilizará el nombre corto como referencia de las accesiones que se evaluaron.

**Tabla IV.3** Nombre corto de las accesiones evaluadas durante la investigación.

Accesión	Nombre corto
CML376<2(CHIH338)-1-1	CHIH
CML376<2(COAH117)-1-1	COAH
CML376<2(NVOL46)-1-1	NVOL
CML376<2(SNLP169)-1-1	SNLP
CML376<2(ARZM12236)-1-1	ARZM

### **IV.3. Establecimiento del experimento en invernadero**

#### **IV.3.1 Preparación del sustrato y llenado de bolsas para la siembra**

Para preparar el sustrato se hizo una mezcla homogénea de arena (80%) y tierra lama (20%) sobre el suelo cubierto con plástico. Se utilizaron bolsas de invernadero de 30 L previamente perforadas de la parte inferior para permitir el drenado de agua. Se llenó cada bolsa con 20 kg de la mezcla arena-tierra lama.

#### **IV.3.2 Análisis de suelo**

El análisis de suelo fue realizado por el Laboratorio de Suelos del Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Roque (Tabla IV.4).

**Tabla IV.4** Análisis de la muestra de suelo utilizada en el experimento.

Determinación	Norma y/o Método de referencia	Resultado	Clasificación
pH	AS-02*	7.62	Medianamente alcalino
Conductividad eléctrica	c.e.1:5	0.14 ms/cm	No salino
Densidad aparente	Probeta	1.38 gr/ml	.....
Textura	AS-09*	% Arena 75.04% % Arcilla 8.68% % Limo 15.28%	Arena Franca
Capacidad de campo	de Textura	16.00%	.....
Punto de marchitez permanente	Textura	8.00%	.....
Conductividad hidráulica	Textura	10.00 cm/hr	.....
%Materia orgánica	AS-07*	0.64%	Bajo
%Nitrógeno inorgánico	AS-08*	63.00 ppm	Muy alto
Fósforo (P)	AS-10* (Olsen)	89.89 ppm	Alto
Potasio (K)	AS-12*	652.61 ppm	Alto
Calcio (Ca)	AS-12*	1150.00 ppm	Medio
Magnesio (Mg)	AS-12*	448.00 ppm	Alto
Sodio (Na)	AS-12*	186.86 ppm	.....
Hierro (Fe)	AS-14*	2.4 ppm	Deficiente
Cobre (Cu)	AS-14*	0.72 ppm	Deficiente
Zinc (Zn)	AS-14*	0.36 ppm	Deficiente
Manganeso (Mn)	AS-14*	0.32 ppm	Deficiente
Boro (B)	AS-15*	0.04 ppm	Alto

**Tabla IV.5** Análisis de suelo, cationes intercambiables.

	Cación	Ca	Mg	K	Na	C.I.C.
Resultados	% Saturación	48.18	30.95	14.05	6.82	-
	meq/100 gr	5.74	3.69	1.67	0.81	11.91
Recomendado	% recomendado	65-75	15-20	.....	0-5	.....

**Tabla IV.6** Análisis de suelo, relación entre cationes.

Relación	Ca/Mg	Mg/Ca	Ca + Mg/Ca	Ca/K
Resultado	1.5	2.21	5.64	3.43

### **IV.3.3 Siembra de la semilla**

Se sembró una semilla por cada unidad experimental con una profundidad de 5 cm. Para asegurar que la profundidad de siembra fuera la misma para todas las unidades se utilizó una estaca de madera marcada hasta los 5 cm para así depositar la semilla sumergiéndola hasta que la marca empatara con la superficie del sustrato.

### **IV.3.4 Fertilización**

Al momento de la siembra se fertilizó cada unidad experimental con 1.2 g de YaraMila™ COMPLEX como fuente de nitrógeno (12%), fósforo (11%) y potasio (18%). Al día 57 después de la siembra, antes de la floración, se adicionaron 4 g de YaraMila™ y 4 g de sulfato de amonio.

### **IV.3.5 Riego de la unidad experimental**

Cada unidad experimental recibió un riego inicial de 2.5 L de agua. Cinco días después se comenzó a regar cada unidad con 1 L de agua cada dos días. Durante los meses de mayo y junio se regó diario con 1 L por unidad, debido a las temperaturas altas (30-35°C) que se presentaron en dicho periodo. Durante el tratamiento de sequía se suspendió el riego de las plantas con ese tratamiento

por 15 días y al finalizar el tratamiento se dio un riego para la recuperación de 2 L por planta.

#### **IV.4 Germinación**

La germinación de las semillas se determinó en función del porcentaje para cada población. Se realizó el conteo de las semillas germinadas una semana después de la fecha de siembra y después se realizó cada dos días para obtener el porcentaje de germinación de cada población.

#### **IV.5 Emergencia de la primera y tercera hoja**

La Emergencia de la primera hoja (EmH1) se evaluó cuando fue completamente visible la primera hoja verdadera y cuando el total de plantas establecidas habían emergida el 50 % más una, del establecimiento total (días). La emergencia de la tercera hoja (EmH3) se determinó cuando fue completamente visible la tercera hoja verdadera y cuando el total de plantas establecidas presentaran el 50 % más una, del establecimiento total de semillas (días). Se observaron las plantas diario después de la siembra para registrar el día exacto de la emergencia de la primera y tercera hoja.

#### **IV.6 Días a floración masculina y femenina**

Se registró el número de días a floración masculina (antesis) para cada planta una vez que inició la liberación de polen (días después de la siembra). La floración femenina (FF) se registró individualmente para cada planta en el momento de que los estigmas se hicieron visibles (días). Se observaron las plantas diariamente después de la siembra para registrar el día exacto de la floración masculina y de la floración femenina.

#### **IV.7 Determinación del contenido relativo de agua (CRA)**

Esta variable se calculó en porcentaje como la cantidad de agua que el tejido foliar perdió debido a la sequía.

Para determinar el contenido relativo de agua se realizó el protocolo descrito por Gaxiola *et al.* (2001). Se determinó el CRA por triplicado en tres tiempos, antes de aplicar el estrés, durante el estrés y después del riego de recuperación. Se recolectó el material y se pesó inmediatamente para obtener el peso fresco. Posteriormente, se sumergió cada muestra en un tubo Falcón con agua destilada y se dejó en reposo durante toda la noche a una temperatura de 4 °C para obtener el peso rehidratado. Por último, se colocó cada muestra en una caja Petri de vidrio y se secó en horno de convección a 70 °C toda la noche para tener el peso seco. El CRA se calculó con la siguiente fórmula:

$$CRA = \frac{Peso\ fresco - Peso\ seco}{Peso\ rehidratado - Peso\ seco}$$

#### **IV.8 Medición de la temperatura de la hoja**

Para determinar esta variable, el termómetro infrarrojo se dirigió al haz de la hoja bandera y se hicieron tres replicas por unidad experimental. Las mediciones se realizaron siempre a las 14:00 h y fueron antes del estrés, durante el estrés y en la recuperación. Se tomó la hoja bandera de cada planta con mucho cuidado, para evitar romperla y se apuntó con el termómetro al haz de la hoja. La medición se realizó en ambos extremos y en el centro de la hoja y se obtuvo un promedio de temperatura de la hoja por planta.

#### **IV.9 Medición de fotosíntesis**

Esta variable se determinó como el valor QY, que es el rendimiento cuántico del fotosistema II y es el parámetro más usado para determinar la fluorescencia de la clorofila. La tasa fotosintética se midió con un medidor de la fluorescencia fotosintética FlourPen FP100 (Photon Systems Instruments) el cual registra el valor de QY, que equivale a la eficiencia del fotosistema II. Se midió en la hoja bandera de cada planta, con el cuidado de no doblarla ni romperla; se tomó por triplicado. Se insertó la hoja entre el clip y el cristal óptico con el haz de la hoja hacia arriba y se midió QY. Se registraron todos los valores para obtener el promedio de los triplicados.



#### **IV.10 Cuantificación de prolina**

Para determinar esta variable se siguió el protocolo descrito por Carillo y Gibon (2011). La cuantificación se realizó del tratamiento de sequía, riego y recuperación de cada población por triplicado, por lo que en cada etapa mencionada de la investigación se tomó una hoja de la planta de maíz, se congeló inmediatamente en nitrógeno líquido para detener su metabolismo y se guardó a -80 °C hasta su análisis. Esta colecta de la muestra sirvió para determinar prolina, glicina betaína y trehalosa.

##### **IV.10.1 Preparación de soluciones**

**Etanol-agua (40:60 v/v).** Se mezclaron 20 ml de etanol absoluto con 30 ml de agua destilada.

**Mezcla de reacción.** Se disolvió ninhidrina 1% (p/v) en ácido acético 60% y etanol 20% (v/v). Para el ácido acético 60% se mezclaron 60 ml de ácido acético glacial con 40 ml de agua destilada. Se pesó 1 g de ninhidrina y se diluyó en la solución de ácido acético 60%. Por último, se agregaron 100 ml de etanol 20% a la solución de ninhidrina-ácido acético. Se cubrió el frasco con papel aluminio y se conservó a 4 °C.

**Patrón de prolina (1mM).** Se pesaron 0.0575 g de prolina y se disolvieron en 500 ml de solución etanol:agua (40:60 v/v). Se conservó cubriendo el frasco con papel aluminio a 4 °C hasta su uso.

##### **IV.10.2 Extracción de prolina**

Se molieron 50 mg de hoja (peso fresco) que se encontraba a -80°C con N<sub>2</sub> líquido y se colocó en un tubo Eppendorf de 2 ml etiquetado. Se agregó a cada tubo 1 ml de etanol-agua (40:60 v/v) y se dejó reposar toda la noche a 4 °C. Al día siguiente se centrifugó a 14,000 g durante 5 min. Se recuperó el sobrenadante en un tubo Eppendorf.

### IV.10.3 Curva de calibración

Para la curva de calibración se colocaron las cantidades mencionadas en la Tabla IV.7 en un tubo Eppendorf de 1.5 ml y se realizó por triplicado. Se tuvo un total de siete concentraciones distintas con un triplicado cada una. Una vez colocado el volumen completo, se agitó con vortex durante 10 s para homogenizar la mezcla.

**Tabla IV.7** Curva de calibración para la determinación de prolina.

	Etanol:agua (40:60 v/v) ( $\mu\text{l}$ )	Patrón de prolina 1mM ( $\mu\text{l}$ )
1	1000	0
2	975	25
3	950	50
4	900	100
5	800	200
6	500	500
7	0	1000

### IV.10.4 Procesamiento de muestras

Se colocaron 100  $\mu\text{l}$  de la mezcla de reacción en un tubo Eppendorf de 1.5 ml y se le agregaron 50  $\mu\text{l}$  del extracto etanólico (sobrenadante recolectado de la extracción) o 50  $\mu\text{l}$  del estándar de prolina según sea el caso. Se agitó cada muestra en vortex por 5 s, antes de calentar las muestras a 95 °C en un bloque de agua por 20 min. Se dejó enfriar a temperatura ambiente para posteriormente centrifugar a 2,500 rpm durante 1 min. Se transfirieron 100  $\mu\text{l}$  a la microplaca y se leyó la muestra a 520 nm.

### IV.11 Cuantificación glicina betaina

La cuantificación se realizó durante el tratamiento de sequía, riego y recuperación de cada población por triplicado siguiendo el método descrito por Greive y Grattan (1983). La colecta de las muestras se describe en el apartado Cuantificación de prolina.

#### **IV.11.1 Preparación de soluciones**

**Yoduro de potasio-Yodo.** Se disolvieron 15.7 g de yodo y 20 g de yoduro de potasio en 100 ml de agua destilada. Se usó un frasco previamente cubierto con papel aluminio. Se conservó la solución en 4 °C hasta su uso.

**Ácido sulfúrico (2N).** Se mezcló 55 ml de ácido sulfúrico en 945 ml de agua destilada.

**Patrón de glicina betaína.** Se pesaron 3 mg de betaína y se disolvieron en 333.33 ml de ácido sulfúrico 2N.

#### **IV.11.2 Extracción de glicina betaína**

Se molió 1 mg de tejido de hoja liofilizado con N<sub>2</sub> líquido hasta hacerlo polvo. Se transfirió la muestra pulverizada a un tubo Eppendorf de 2 ml y se le agregaron 1.5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2N. Se calentó la muestra a 60 °C con agitación durante 10 min. Posteriormente, se centrifugó a 14,000 rpm durante 25 min a temperatura ambiente y se recuperó el sobrenadante.

#### **IV.11.3 Curva de calibración**

Para la curva de calibración se colocaron las cantidades señaladas en la Tabla IV.8 en un tubo Eppendorf de 1.5 ml y se realizó por triplicado, un total de siete concentraciones distintas de glicín-betaína. Una vez colocado el volumen total, se agitó con vortex durante 10 s para homogenizar la mezcla.

**Tabla IV.8** Curva de calibración para la determinación de glicina betaína.

	Concentración ( $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ )	Ácido sulfúrico 2N ( $\mu\text{l}$ )	Patrón de glicina betaína ( $\mu\text{l}$ )
1	0	125	0
2	0.050	104	21
3	0.100	83	42
4	0.150	62.5	62.5
5	0.200	42	83
6	0.250	21	104
7	0.300	0	125

#### **IV.11.4 Procesamiento de muestras**

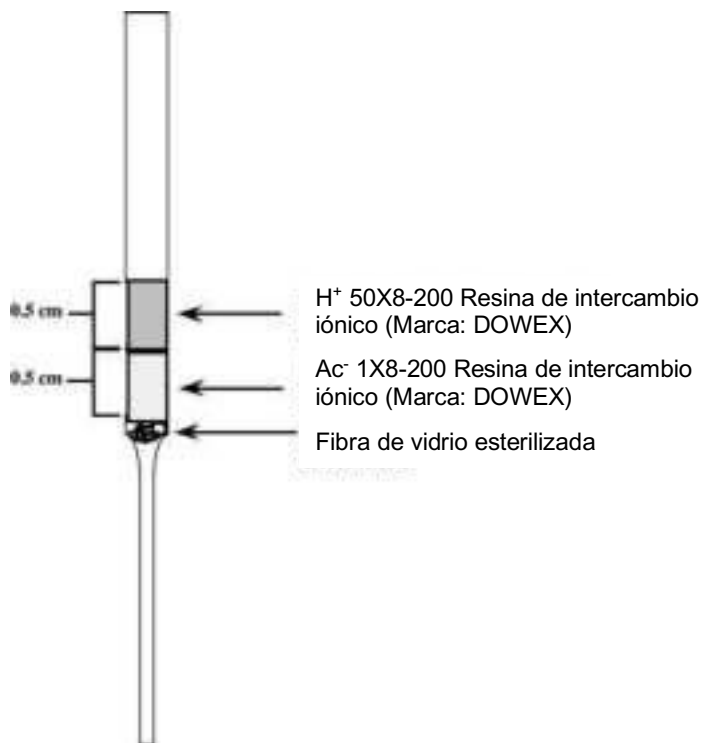
Se tomaron 125  $\mu\text{l}$  del extracto de las hojas de maíz o de las soluciones de concentración conocida de glicina betaína para obtener la curva de calibración, según sea el caso. Las muestras se colocaron en tubos Eppendorf de 1.5 ml cubiertos con papel aluminio. Se agregaron 50  $\mu\text{l}$  de KI-I<sub>2</sub> frío y se agitó cuidadosamente. Las muestras se mantuvieron en encubación por 16 horas a una temperatura de 4 °C. Cada muestra se centrifugó a 14,000 rpm durante 30 min a 0 °C. Se eliminó cuidadosamente el sobrenadante y se diluyó el precipitado con 1.4 ml de 1,2-diclorometano. Las muestras se dejaron reposar a 4 °C durante dos horas. Por último, se pasaron 200  $\mu\text{l}$  de cada muestra a una microplaca y se leyó a una absorbancia de 365 nm. Se usó 1,2-diclorometano como blanco.

#### **IV.12 Cuantificación trehalosa**

##### **IV.12.1 Extracción de trehalosa**

La técnica se basa en un protocolo para la extracción de trehalosa a partir de tejidos vegetales (Avonce *et al.*, 2004).

Se pesaron 100 mg de tejido fresco, y se molieron en nitrógeno líquido hasta obtener polvo. Se pasó la muestra a un tubo Eppendorf de 2 ml y se adicionó 1 ml de agua MilliQ. Se calentó por 10 min a 95°C. Se centrifugó 10 min a 14000 rpm a 25°C. Posteriormente, se tomaron 200  $\mu$ l de la muestra y se adicionaron a una columna de intercambio iónico preparada previamente (Figura IV.2). Antes de pasar la muestra, se lavó 5 veces con 1 ml de agua MilliQ.



**Figura IV.2** Columna de intercambio iónico.

Una vez que la muestra se puso en la columna, se eluyó con 1.2 ml de agua. Se colectó todo el eluido en un tubo Eppendorf de 1.5 ml. Y se congeló a -20 °C hasta su análisis por HPLC.

#### **IV.12.2 Análisis de muestras por HPLC**

Antes de analizar las muestras por HPLC se ajustó el pH entre 2-3 con una gota de NaCl 1M y se filtraron en filtros Millipore (tipo GSWP) de 0.22 micras. El análisis por HPLC se realizó en colaboración con la M.C. Lorena Pedraza Segura, en los laboratorios de investigación de la Universidad Iberoamericana en la Ciudad de México, campus Santa Fe.

#### **IV.13 Cuantificación de trehalosa-6-fosfato**

La cuantificación de la T6P (del inglés, “Trehalose 6-phosphate”) se realizó para cada población de maíz en condiciones de riego, sequía y después del riego de recuperación. Se utilizó el mismo extracto obtenido para la extracción de la trehalosa y el mismo protocolo de Análisis de muestras por HPLC. La ecuación de la curva de calibración fue  $y=120x+5.13$ , donde “y” es el área bajo la curva y “x” la concentración de T6P.

#### **IV.14 Estimación de rendimiento**

Se recolectaron todas las mazorcas de todas las unidades experimentales y se midieron algunos parámetros de rendimiento: peso de la mazorca completa (sin hojas), número de hileras, longitud y diámetro, granos por hilera. Para el peso de la mazorca sin hojas se utilizó una balanza analítica. Se contaron el número de hileras y los granos por hileras. La longitud de cada mazorca se midió con una regla en cm. El diámetro se midió a 1/3 de la base de la mazorca con un vernier en cm. Después se desgranaron las mazorcas y se pesaron los granos y el olote, por separado, en una balanza analítica. Los granos y el olote de cada unidad experimental se pesaron cada semana con la finalidad de obtener el peso final al 14%, en base a que si el peso se mantiene constante, los granos contienen 14% de humedad. El rendimiento se estimó por hectárea tomando 60 mil plantas por ha. Así, el rendimiento promedio por planta se multiplicó por 60,000 para obtener el rendimiento de una hectárea de cada tratamiento (Reyes, 1990).

#### **IV.15 Análisis estadístico**

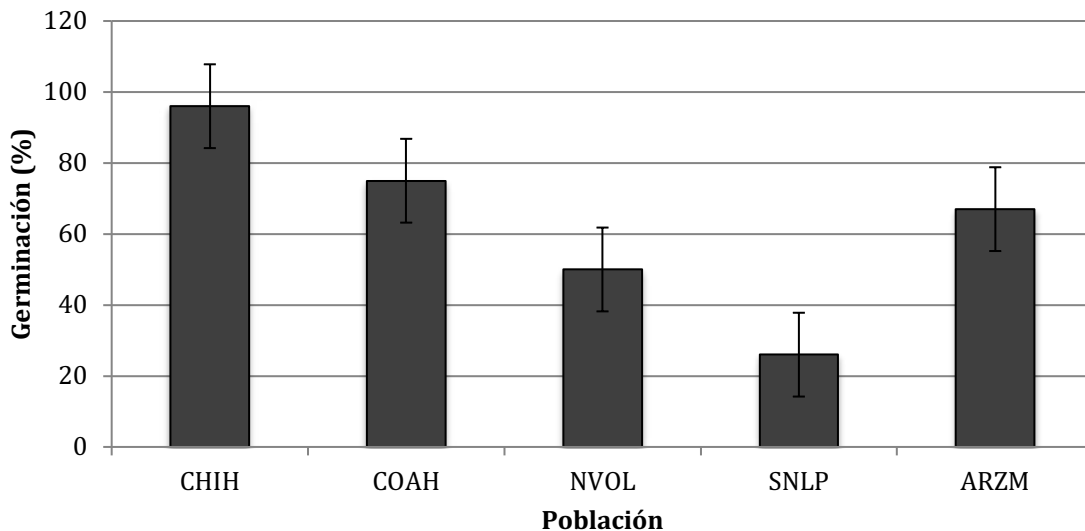
El análisis estadístico se realizó mediante el programa SAS-University-Edition (SAS, 2012), el cual consistió en un análisis de varianza para un diseño en parcelas divididas con distribución de bloques completamente al azar, y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### V.1 Germinación

La germinación de una semilla inicia cuando de su embrión han surgido estructuras esenciales que tienen la capacidad de formar una plántula normal en condiciones favorables (Bewley y Black, 1994). La emergencia ocurre cuando el mesocotilo empuja al coleoptilo para que salga a la superficie y alcance la luz.

En la Figura V.1 se muestra el porcentaje de germinación de las cinco poblaciones evaluadas. La población CHIH tuvo un porcentaje de emergencia de 96%, la población COAH de 75%, la población NVOL de 50%, la población SNLP de 26% y la población ARZM de 67%.



**Figura V.1** Porcentaje de germinación de las poblaciones evaluadas bajo condiciones de invernadero. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio.

Bajo condiciones adecuadas de cultivo, la semilla absorbe agua y comienza a crecer. La radícula es la primera estructura de la semilla que comienza a elongarse, seguido del coleóptilo. La emergencia ocurre cuando el mesocotilo empuja al coleoptilo y este sale a la superficie quedando visible. Bajo condiciones de calor y humedad, la emergencia de la planta debe ocurrir de cuatro a cinco días después de la siembra, y bajo condiciones de frío y sequía,

la emergencia ocurre de dos semanas o más después de la siembra (Ritchie *et al.*, 1986; Sekhon *et al.*, 2011). Teniendo en cuenta que el manejo agronómico para las cinco poblaciones fue el mismo y que la sequía no se aplicó en esta etapa, se supone que la germinación de la semilla no dependió del sustrato, de la siembra, de la fertilización, del riego, ni del clima del invernadero, sino de la naturaleza de la población *per se* y de las condiciones de cultivo de la planta madre.

Estas diferencias en el porcentaje de germinación puede deberse a que los cinco criollos con los cuales se generaron las poblaciones, provienen de zonas geográficas y razas diferentes. De igual manera, el lugar donde se desarrollaron, seleccionaron y evaluaron las poblaciones utilizadas en la presente investigación se han sembrado o seleccionado en climas distintos a las condiciones del Bajío. Con los resultados obtenidos se sugiere que la altitud y el clima son factores que afectan la germinación de la semilla de maíz. Debido a los bajos porcentajes de germinación de las poblaciones NVOL y SNLP, se decidió omitirlas de las siguientes mediciones, debido a que no podrán generar datos estadísticamente confiables.

## **V.2 Emergencia de la primera y tercera hojas**

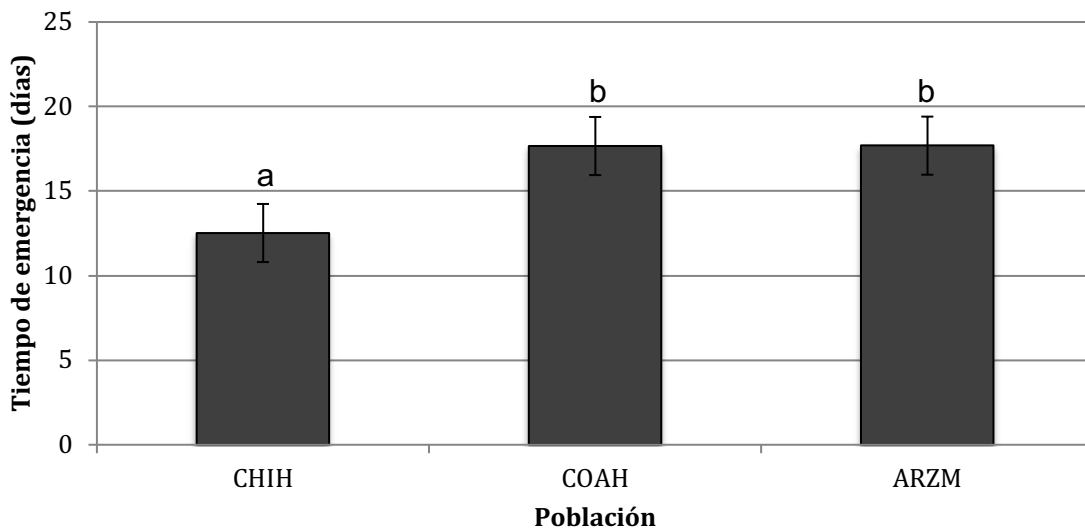
El desarrollo de la planta de maíz se divide en dos etapas: la vegetativa y la reproductiva. La etapa vegetativa se divide a su vez en varias etapas, las cuales dependen totalmente de la emergencia de las hojas visibles. Así, la emergencia de la primera hoja es igual al tiempo en que se da la primera hoja completamente visible, y de igual manera, la emergencia de la tercera hoja es igual al tiempo en que se da la tercera hoja completamente desarrollada (Ritchie *et al.*, 1986; Sekhon *et al.*, 2011).

Se registró la emergencia de la primera y tercera hojas bajo condiciones de invernadero mediante observaciones diarias a las plántulas de maíz. Se registró el día exacto de emergencia de la primera y de la tercera hoja verdadera de



cada plántula y se obtuvo un promedio por población. Estas variables no fueron afectadas por la sequía, ya que el estrés se aplicó durante la etapa de floración, es decir, después de registrar estas variables.

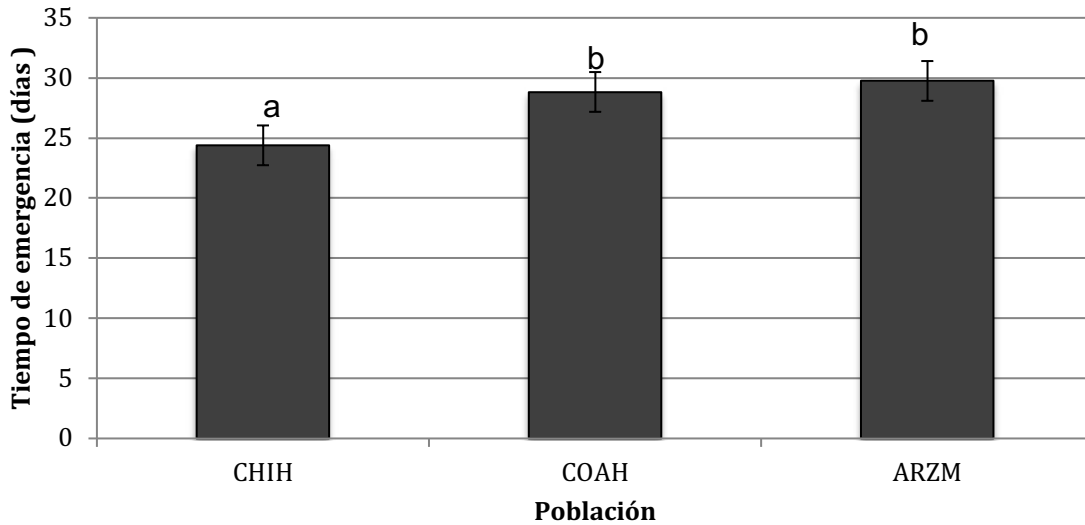
La Figura V.2 muestra el tiempo de emergencia de la primera hoja registrado en las tres poblaciones evaluadas. La población CHIH tuvo un promedio de 12.52 días, COAH de 17.66 días y ARZM de 17.66 días. El análisis estadístico señaló que el promedio de la población CHIH fue estadísticamente diferente ( $P < 0.01$ ) comparando con el promedio de las poblaciones COAH y ARZM, mientras que los promedios de las dos últimas fueron estadísticamente iguales.



**Figura V.2** Tiempo de emergencia en días de la primera hoja de cada una de las poblaciones evaluadas bajo condiciones de invernadero. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

El promedio de la emergencia de la tercera hoja se muestra en la Figura V.3; la de la población CHIH fue de 24.39 días, de COAH de 28.83 días y ARZM de 29.75 días. El análisis estadístico muestra que el promedio de emergencia de la tercera hoja de la población CHIH fue estadísticamente diferente ( $P < 0.01$ ) en comparación con las otras dos poblaciones. No existieron diferencias significativas entre las poblaciones COAH y ARZM. Esto se debe en parte a que

estas últimas resultaron similares en su comportamiento agronómico. El periodo entre la primer y tercer hoja fue similar en las tres poblaciones, con un día menor en COAH. Hasta aquí podemos señalar que CHIH se más precoz, sin poder señalar si se debe a su mayor tolerancia a la sequía.



**Figura V.3** Tiempo de emergencia en días de la tercera hoja de cada una de las poblaciones evaluadas bajo condiciones de invernadero. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Este análisis sugiere que en los primeros días de la etapa vegetativa del cultivo, la población CHIH va desarrollándose más rápido que la población COAH y ARZM. En cambio, el desarrollo de COAH y ARZM es estadísticamente igual hasta la etapa V3 (del inglés, “Vegetative Stage 3”).

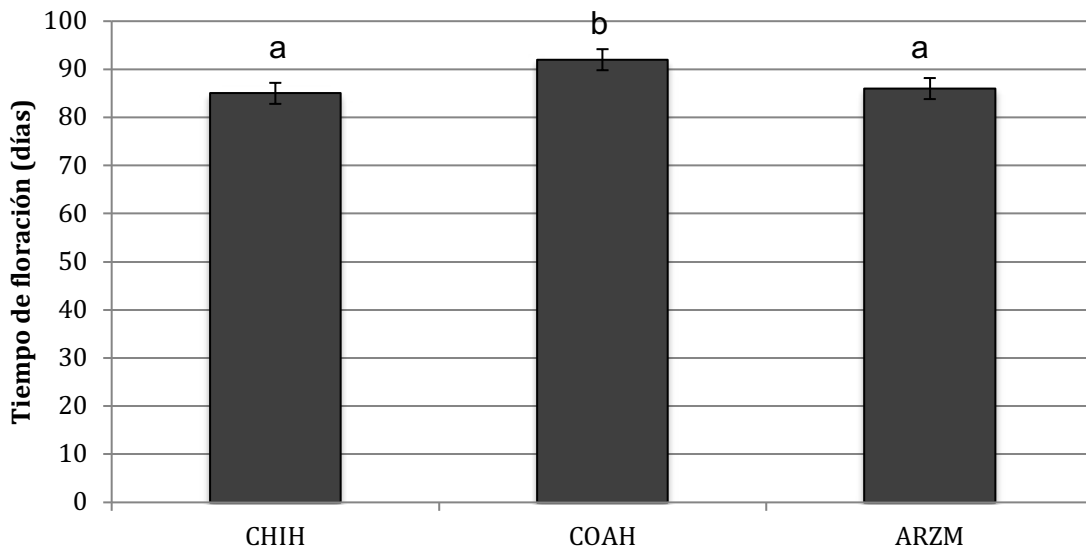
### V.3 Días a floración masculina y femenina

La etapa VT (del inglés, “Vegetative Tasseling”) inicia cuando la espiga es completamente visible y los estigmas no han emergido. En esta etapa se comienza a liberar el polen y el periodo de liberación puede durar de una a dos semanas. En cuanto a la floración femenina, la etapa R1 (del inglés, “Reproductive Stage 1”) es la que marca el inicio de esta. La etapa R1 comienza cuando los estigmas son visibles. Así, la polinización ocurre cuando los granos

de polen caen en los estigmas húmedos y el tiempo que tarda un grano de polen en llegar al óvulo de los estigmas es de 24 horas. El estrés abiótico durante esta etapa causa una polinización baja (Ritchie *et al.*, 1986; Sekhon *et al.*, 2011).

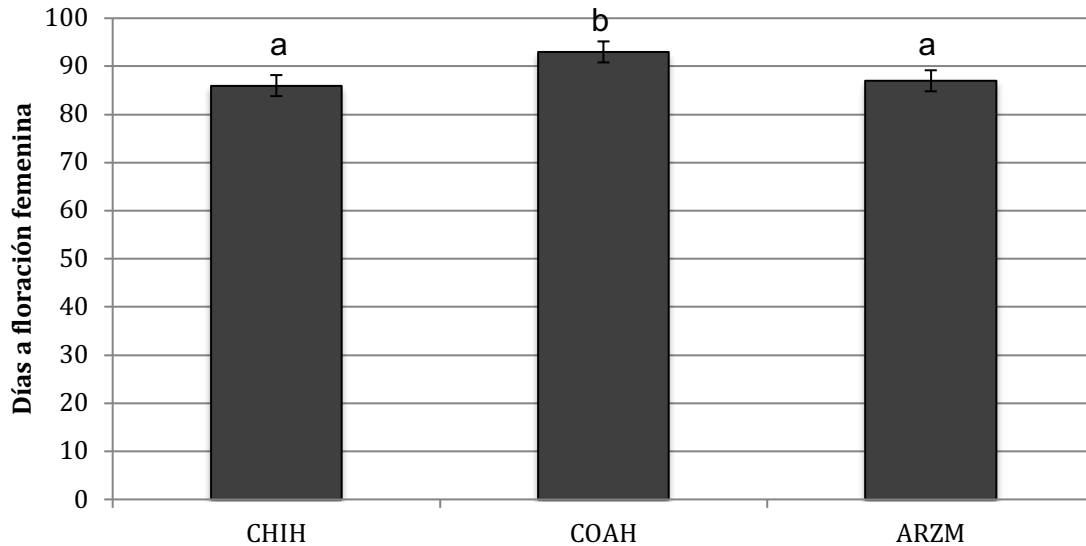
Para el presente trabajo se registró el tiempo de floración masculina y femenina de cada población, con la finalidad de que éste periodo sea la pauta para aplicar el estrés por sequía.

Se registró los días a floración masculina para cada población y se obtuvieron los resultados graficados en la Figura V.4. La población CHIH tuvo una floración masculina promedio de 85 días, COAH de 92 días y ARZM de 86 días. El análisis estadístico mostró que el promedio de la floración masculina en la población CHIH fue estadísticamente diferente ( $P < 0.05$ ) del de la población COAH y fue estadísticamente igual a la población ARZM. El promedio del tiempo a floración masculina de COAH fue estadísticamente superior ( $P < 0.05$ ) a las poblaciones CHIH y ARZM. COAH resultó más tardío.



**Figura V.4** Tiempo a floración masculina en días de cada una de las poblaciones evaluadas. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

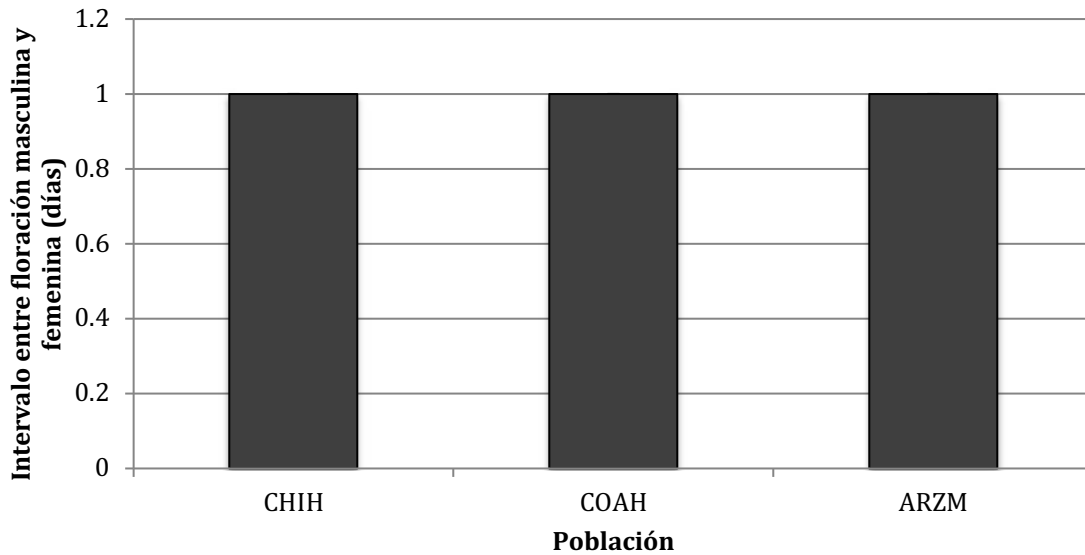
La Figura V.5 muestra el promedio de días a floración femenina de las poblaciones evaluadas. La población CHIH tuvo una floración de 86 días, COAH de 93 días y ARZM de 87 días. Los días a floración femenina de CHIH y de ARZM fueron estadísticamente iguales. El promedio de días a floración femenina de COAH fue estadísticamente superior a CHIH y ARZM. Como se señaló, COAH resultó más tardío.



**Figura V.5** Tiempo a floración femenina en días de cada una de las poblaciones evaluadas. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

El análisis de los días a floración masculina y femenina sugiere que las poblaciones CHIH y ARZM son materiales más precoces que la población COAH ya que tuvieron un periodo más corto. En esta etapa se aplicó el estrés.

Se determinó el intervalo entre floración masculina y floración femenina o ASI (del inglés, "Anthesis-Silking Interval"), que ha demostrado ser una variable importante cuando se considera el estrés abiótico del maíz. En la Figura V.6 se muestra el intervalo entre floración masculina y femenina de las tres poblaciones evaluadas. El ASI fue de 1 día para las tres poblaciones. Por lo tanto, son numéricamente y estadísticamente iguales.



**Figura V.6** Intervalo entre la floración masculina y femenina de las tres poblaciones evaluadas.

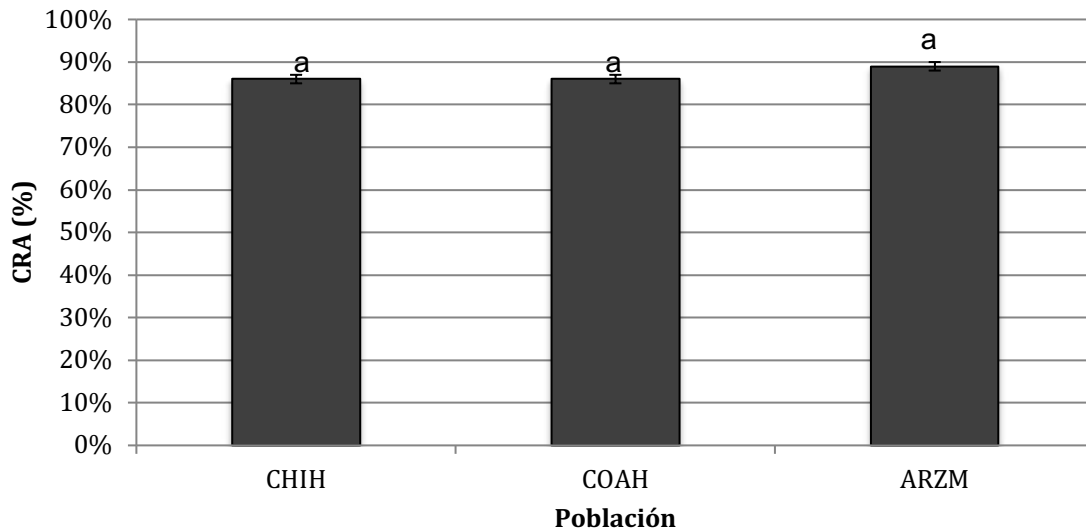
El ASI no se vio afectado por la sequía ya que la sequía se aplicó al final de este intervalo. Sin embargo, cabe mencionar que el ASI es de gran interés en los programas de mejoramiento genético de maíces tropicales para tolerancia a sequía (Bolaños y Edmeades, 1996). Se han determinado 12 QTLs para ASI en maíz, de los cuales ocho se detectaron en condiciones de riego y seis en condiciones de sequía, lo cual es de interés para su mejoramiento genético (Welcker *et al.*, 2007).

#### **V.4 Contenido relativo de agua (CRA)**

El Contenido Relativo de Agua (CRA) es una variable que fue descrita originalmente por Weatherley y ha sido ampliamente aceptada como un método reproducible y significativo índice del estado de agua de la planta (Smart y Bingham, 1974). Es un indicador importante del estatus del agua en las plantas, reflejando el equilibrio entre el suministro de agua al tejido foliar y la tasa de transpiración (Lugojan y Ciulca, 2011).

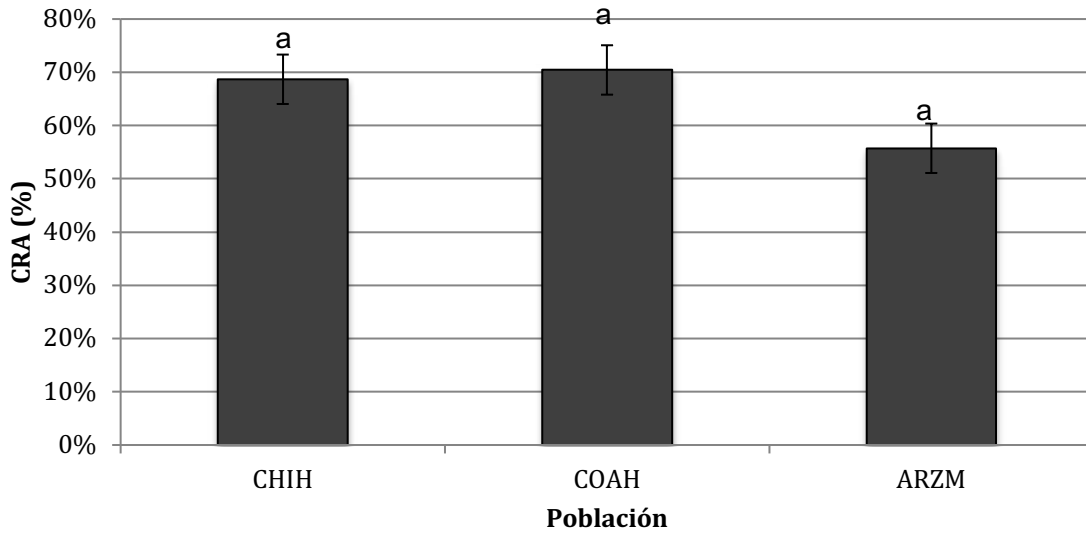
Antes de someter la planta a estrés por sequía, el CRA de la población CHIH fue de 86%, de la población COAH fue de 85% y de la población ARZM de 88%. El

análisis estadístico indicó que no hubo diferencias significativas en el CRA entre las tres poblaciones antes de aplicar el estrés (Figura V.7).



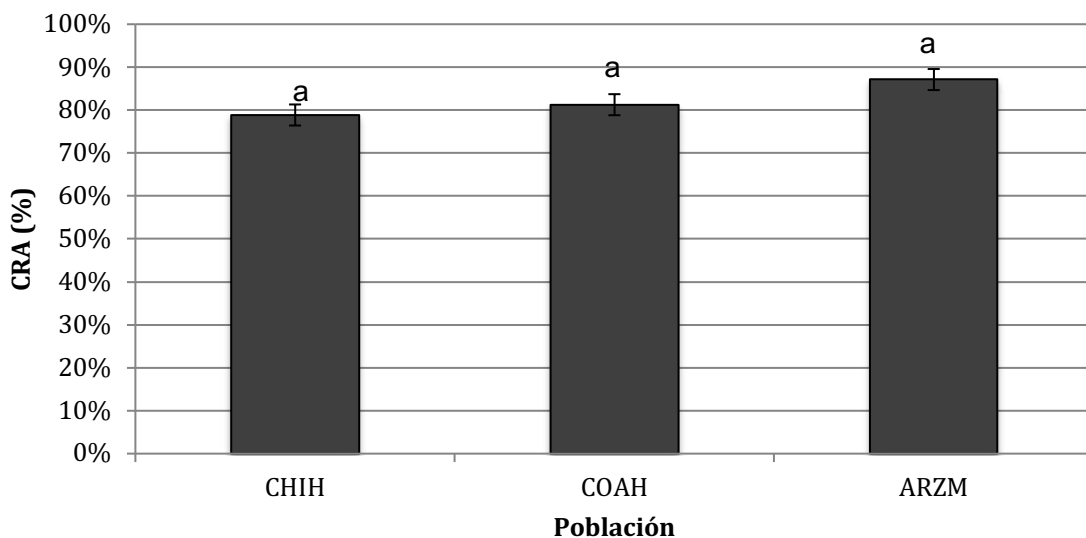
**Figura V.7** Contenido relativo de agua (CRA) de las tres poblaciones evaluadas antes de aplicar el estrés de sequía. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Durante el estrés por sequía, el CRA registrado para la población CHIH fue de 69%, para la población COAH de 70% y para la población ARZM de 56%. El análisis estadístico mostró que no hubo diferencias significativas entre el CRA registrado de las tres poblaciones durante el tratamiento de sequía (Figura V.8).



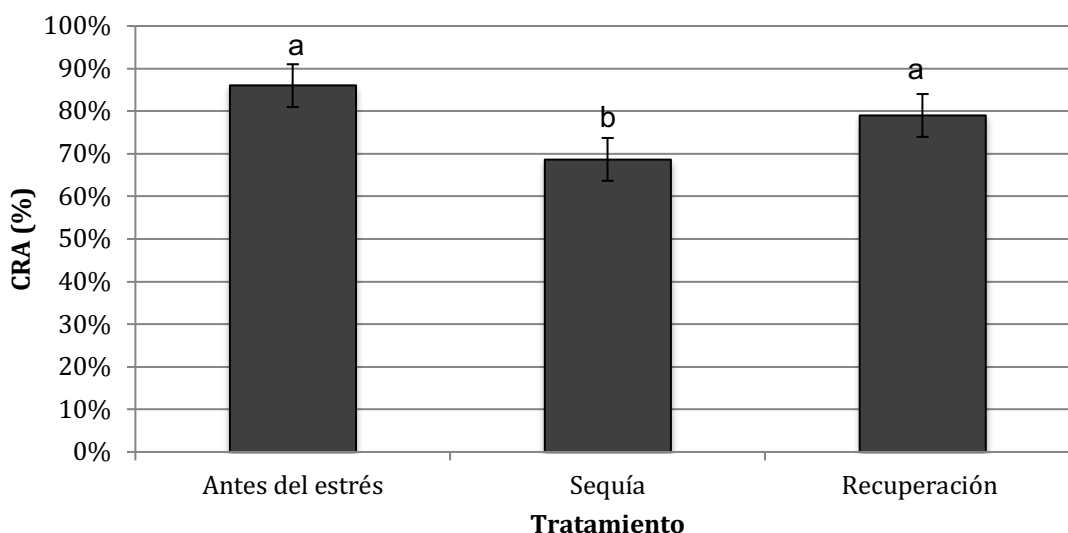
**Figura V.8** Contenido relativo de agua (CRA) de las tres poblaciones evaluadas durante la sequía. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

En la recuperación el CRA fue de 78% para la población CHIH, de 81% para la población COAH y de 87% para la población ARZM. El análisis estadístico dió como resultado que no hubo diferencias significativas entre las tres poblaciones evaluadas después del riego de recuperación (Figura V.9).



**Figura V.9** Contenido relativo de agua (CRA) de las tres poblaciones evaluadas después del riego de recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Se realizó el análisis estadístico para saber si existían diferencias significativas por población durante los periodos de evaluación. En la población CHIH, el CRA tuvo un decremento del 20% por efecto del tratamiento de sequía y una recuperación del 91%. Hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los valores obtenidos antes de aplicar el estrés y durante el estrés, sugiriendo que las plantas de esta población tuvieron una pérdida de agua significativa provocada por el estrés de sequía (Figura V.10). El CRA en la recuperación fue estadísticamente igual al CRA antes de aplicar el estrés y estadísticamente diferente ( $P < 0.05$ ) al CRA durante la sequía, sugiriendo así que el tejido celular logró restablecer el CRA después del riego de recuperación.

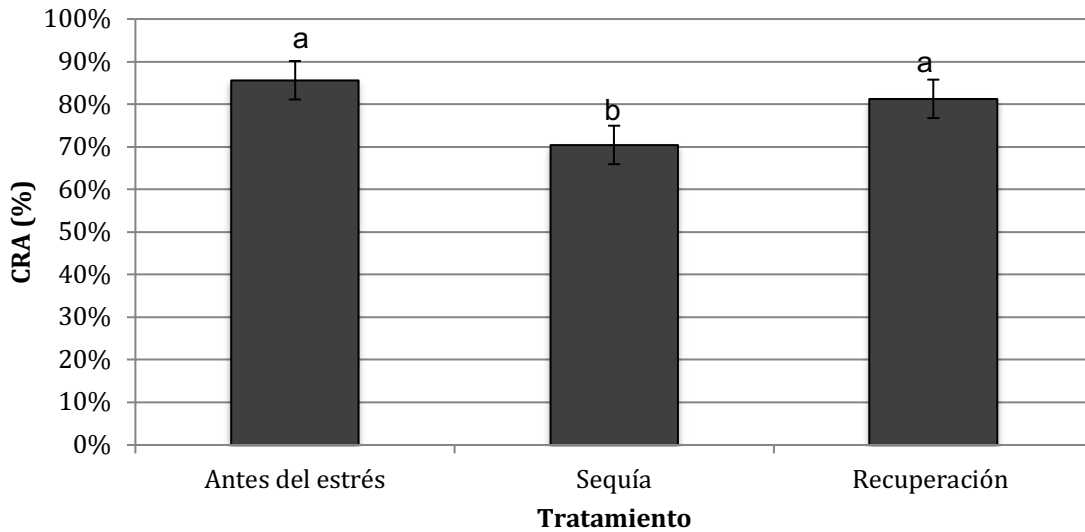


**Figura V.10** Contenido relativo de agua (CRA) de la población CHIH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

En la población CHIH, el CRA tuvo un decremento del 18% por efecto de la sequía y una recuperación del 95%. El análisis del CRA durante el estrés presentó diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre los valores que se obtuvieron antes de aplicar el estrés y durante la sequía, sugiriendo que la pérdida de agua celular fue significativa para la planta. Esta población presentó diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre el CRA durante la sequía y en la recuperación, sugiriendo que después del riego de recuperación las plantas aumentaron

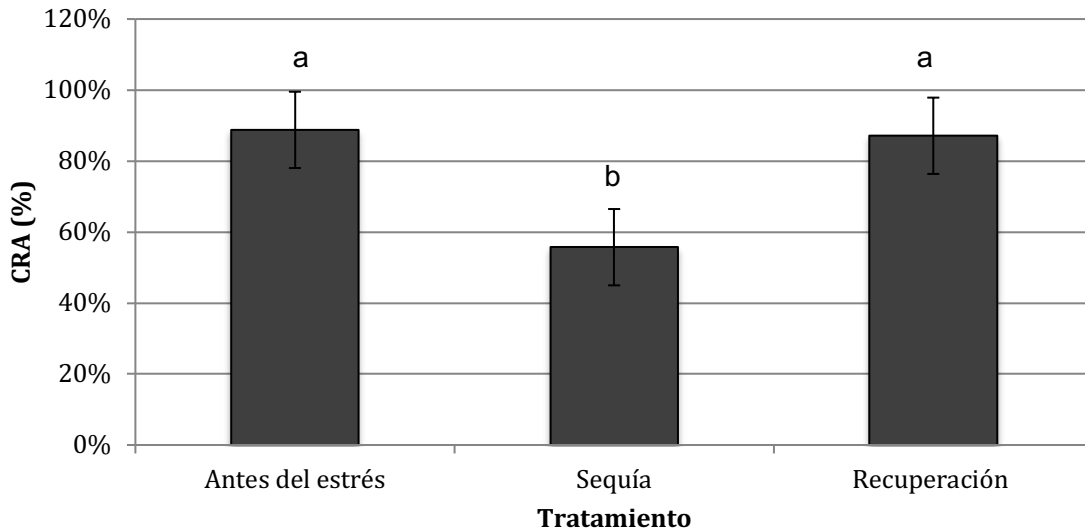


significativamente su volumen de agua. Esto sugiere que las plantas recuperaron prácticamente sus niveles de agua que disminuyeron durante la sequía. El análisis estadístico sugiere que si hubo pérdida de agua celular debido a la sequía pero los niveles de agua celular se restablecieron después del riego de recuperación.



**Figura V.11** Contenido relativo de agua (CRA) de la población COAH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

La población ARZM presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el CRA entre las etapas antes de aplicar el estrés y durante la sequía; también se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el CRA entre las etapas durante la sequía y en la recuperación. No hubo diferencias significativas en el CRA entre las etapas antes del estrés y en la recuperación (Figura V.12). Este análisis sugiere que la pérdida de agua celular es significativa debido a la sequía y que los niveles de agua celular se restablecieron después de restablecer el riego a las plantas. En esta población, el CRA tuvo un decremento de 36% por efecto del tratamiento de sequía y fue superior al de las otras poblaciones.



**Figura V.12** Contenido relativo de agua (CRA) de la población ARZM antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Estas poblaciones tienen cierto tipo de tolerancia a sequía, pues los mecanismos fisiológicos no fueron afectados o el estrés por sequía no fue lo suficientemente fuerte para afectarlo.

Estos tres últimos análisis realizados para las poblaciones CHIH, COAH y ARZM muestran que el CRA disminuyó debido al estrés por sequía y que el contenido de agua celular se recuperó parcialmente después de restablecer el riego a las plantas. La población COAH perdió menos agua (18%) en comparación con CHIH (20%) y ARZM (36%). Sin embargo, la población ARZM logró una mejor recuperación (99%) que CHIH (91%) y COAH (95%). En conclusión, las tres poblaciones de maíz resultaron tolerantes a la sequía, con diferencias en precocidad.

Estos resultados concuerdan con Soltys-Kalina *et al.* (2016) quienes encontraron en sus experimentos una disminución en el CRA cuando exponían sus cultivares de papa a sequía en comparación con el control. Todos los cultivares de papa registraron un CRA entre 64.4% y 86.7% durante la sequía a excepción de un

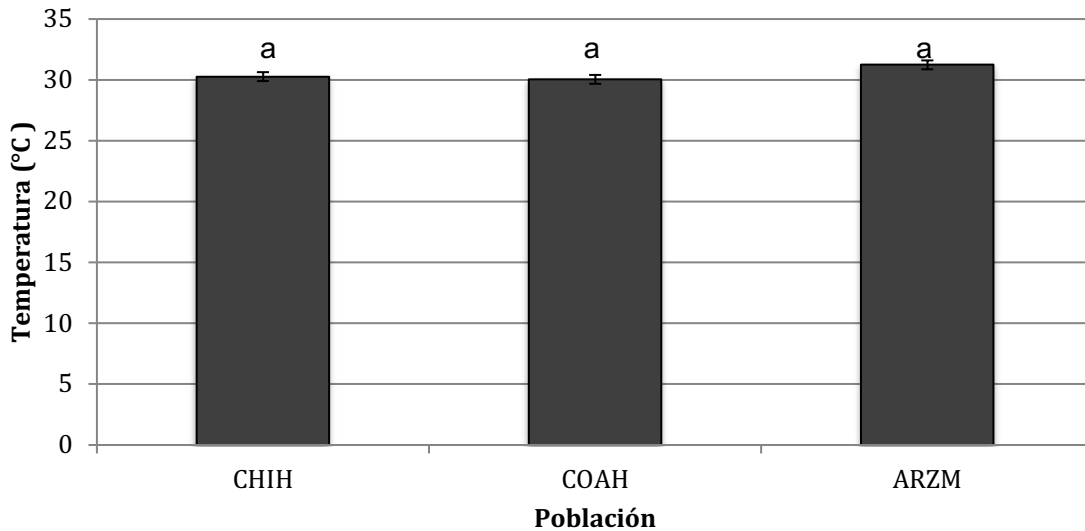
cultivar que registró un CRA de 92% bajo condiciones de sequía. En conclusión, el CRA de la planta bajo condiciones de sequía disminuyó debido a la falta de agua suministrada por las raíces y llevada al tejido foliar así como la pérdida de agua vía transpiración.

Resultados similares fueron reportados por Chen *et al.* (2016) quienes evaluaron el CRA de 10 líneas de maíz pero en la etapa de plántula y encontraron una disminución significativa en el CRA de todas las plántulas que se sometieron a sequía en comparación con los controles. Durante la sequía, ellos registraron el CRA más alto de 64.3% y el más bajo de 44.8%. Sin embargo, todas las líneas tuvieron una recuperación significativa de casi el 100% después de suministrar agua a la planta.

### **V.5 Temperatura de la hoja**

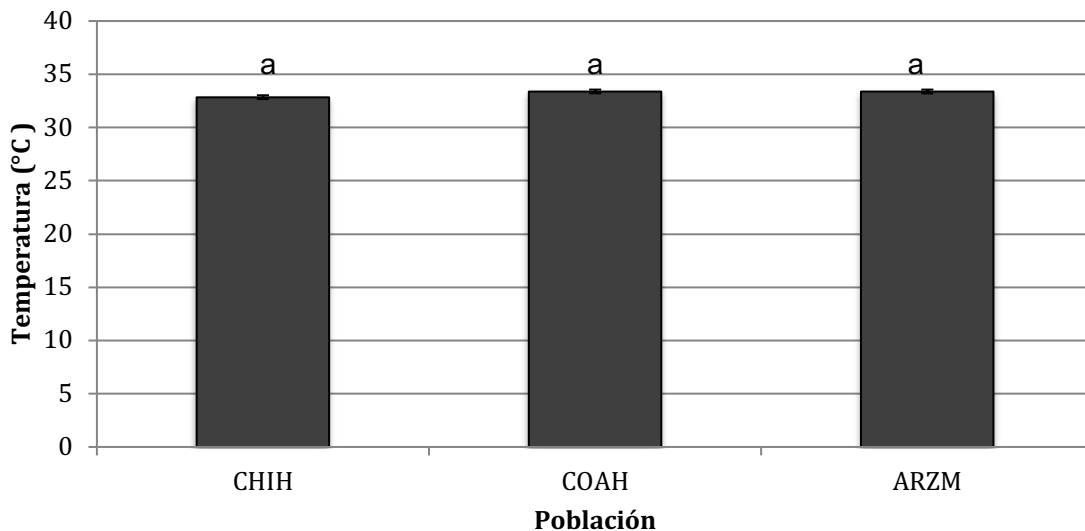
La temperatura afecta el crecimiento de la planta y su desarrollo. Las temperaturas mayores de 35 °C disminuyen significativamente la actividad de la ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa oxigenasa (RuBisCO), limitando así a la fotosíntesis y la respiración. En los cloroplastos, las temperaturas altas reducen la eficiencia fotoquímica del fotosistema II (PSII), el componente en la fotosíntesis más sensible a las altas temperaturas (Barnabás *et al.*, 2008)

Se evaluó el efecto de la sequía en la temperatura de la hoja de las poblaciones antes del estrés por sequía, durante el estrés y después del riego de recuperación. En la Figura V.13, se observa que la temperatura de la hoja antes de aplicar el estrés fue similar en las tres poblaciones antes de la aplicación del tratamiento de sequía. Para la población CHIH fue de 30.27 °C, para COAH de 30.04 °C y para ARZM de 31.24 °C.



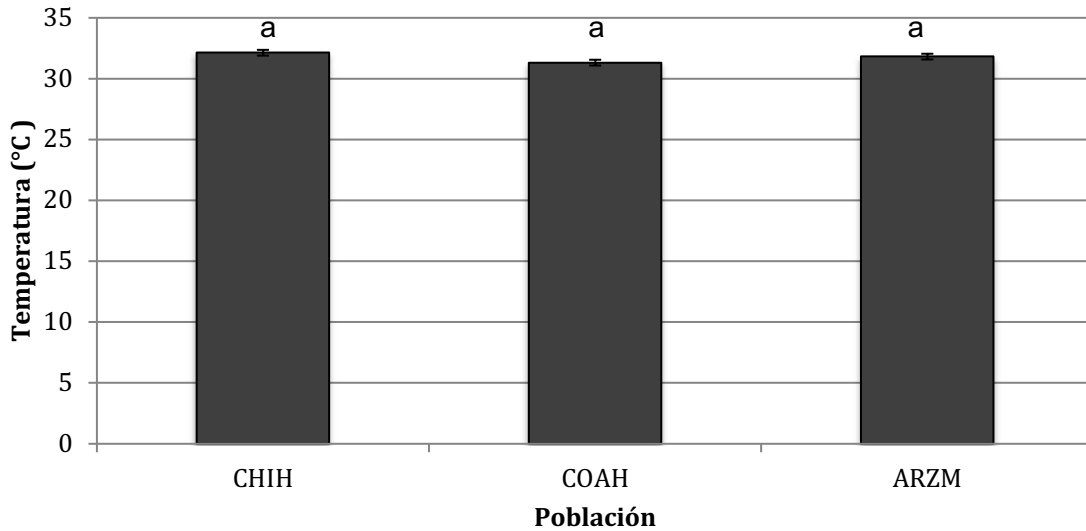
**Figura V.13** Temperatura de la hoja (°C) de las tres poblaciones evaluadas antes de aplicar el estrés de sequía. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Durante el estrés por sequía, la temperatura de la hoja de la población CHIH fue de 32.85 °C, de la población COAH de 33.39 °C y de la población ARZM de 33.38 °C; no hubo diferencias estadísticas entre las poblaciones (Figura V.14).



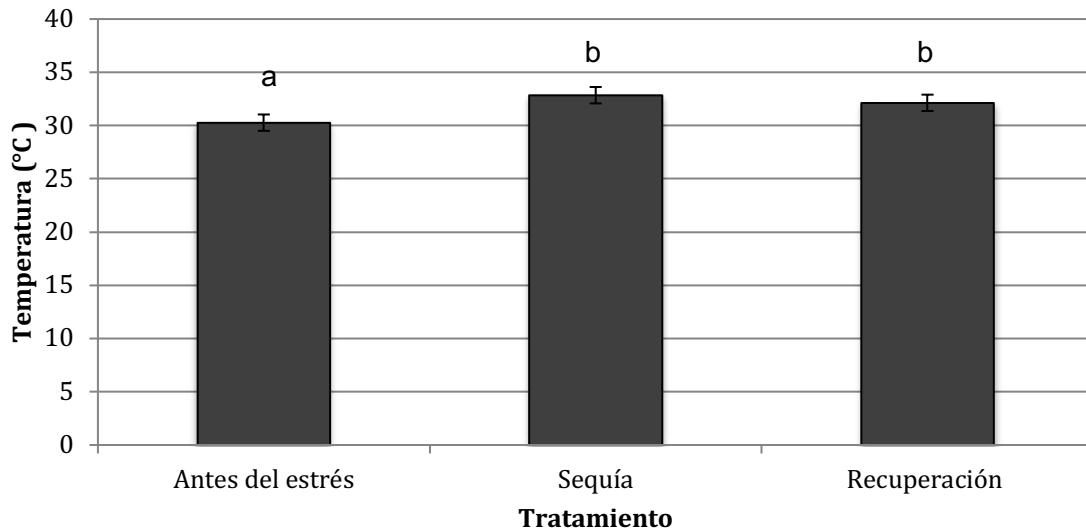
**Figura V.14** Temperatura de la hoja (°C) de las tres poblaciones evaluadas durante el estrés de sequía. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

La temperatura foliar en la etapa recuperación fue de 32.13 °C en la población CHIH, de 31.32 °C en la población COAH y de 31.81 °C en la población ARZM (Figura V.15); tampoco se observaron diferencias estadísticas entre las tres poblaciones en esta otra etapa.



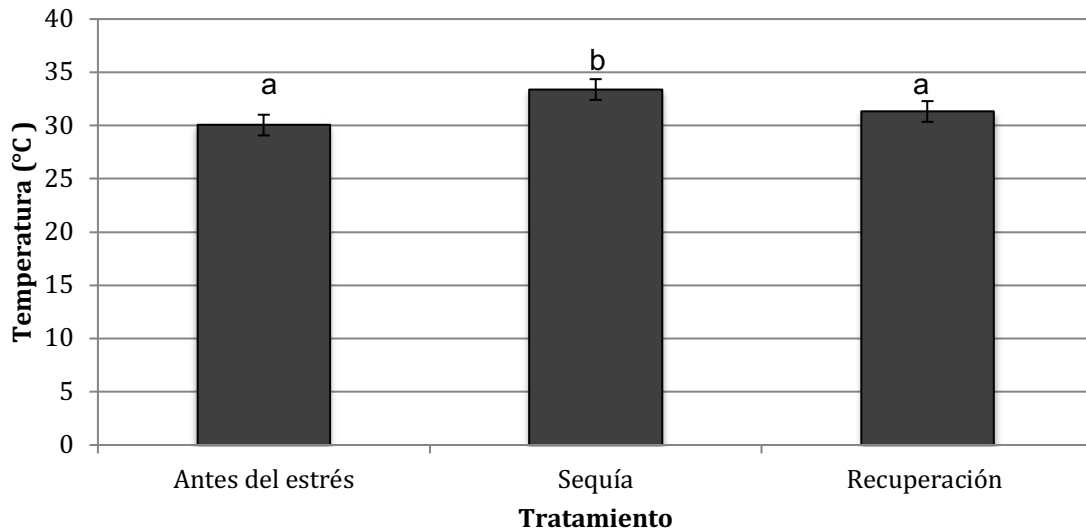
**Figura V.15** Temperatura de la hoja (°C) de las tres poblaciones evaluadas después del riego de recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Para saber si existían diferencias significativas para cada población con respecto al período de evaluación, se realizó un análisis estadístico y como se muestra en la Figura V.16, se encontró que en la población CHIH hubo un incremento significativo en la temperatura de la hoja por efecto de la sequía y este ya no se recuperó con el riego de recuperación.



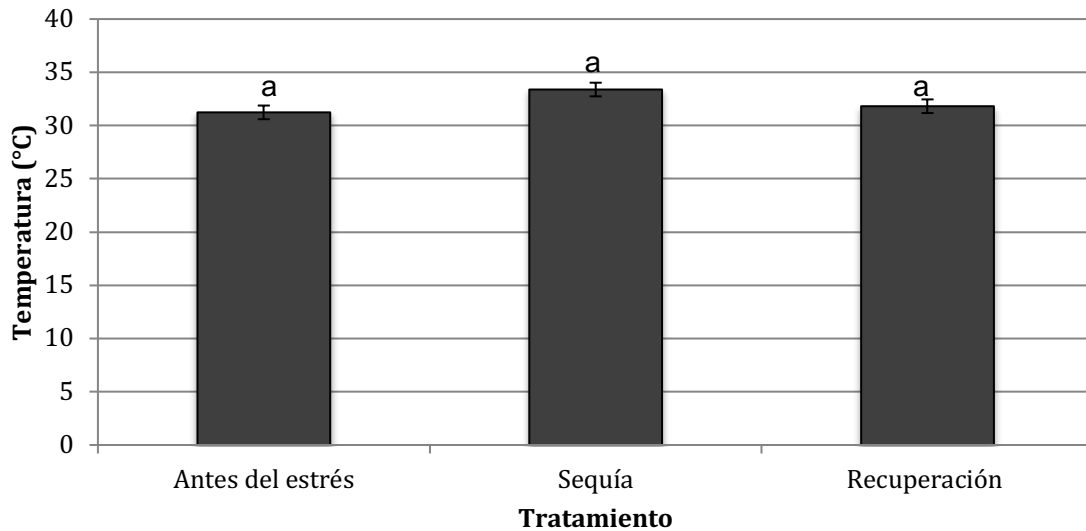
**Figura V.16** Temperatura de la hoja (°C) de la población CHIH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

En la población COAH hubo un incremento significativo en la temperatura entre las etapas antes y después del tratamiento con sequía; con el riego de recuperación volvió a bajar la temperatura de la hoja a un nivel similar a la etapa antes de aplicar la sequía. En esta población, a diferencia de CHIH, si tuvo una recuperación con respecto a la temperatura de la hoja (Figura V.17).



**Figura V.17** Temperatura de la hoja (°C) de la población COAH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

La población ARZM no presentó diferencias significativas entre los periodos evaluados, es decir, no hubo un efecto significativo en la temperatura de la hoja por efecto del tratamiento de sequía (Figura V.18). Respecto a esta variable, las tres poblaciones tuvieron un comportamiento diferente.



**Figura V.18** Temperatura de la hoja (°C) de la población ARZM antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Las temperaturas de la hoja bajo condiciones de sequía fueron de 32.85°C para CHIH, 33.39°C en el caso de COAH y 33.38°C en ARZM. Por registrar la temperatura más baja durante el estrés, CHIH parece ser la población que mejor tolera la sequía.

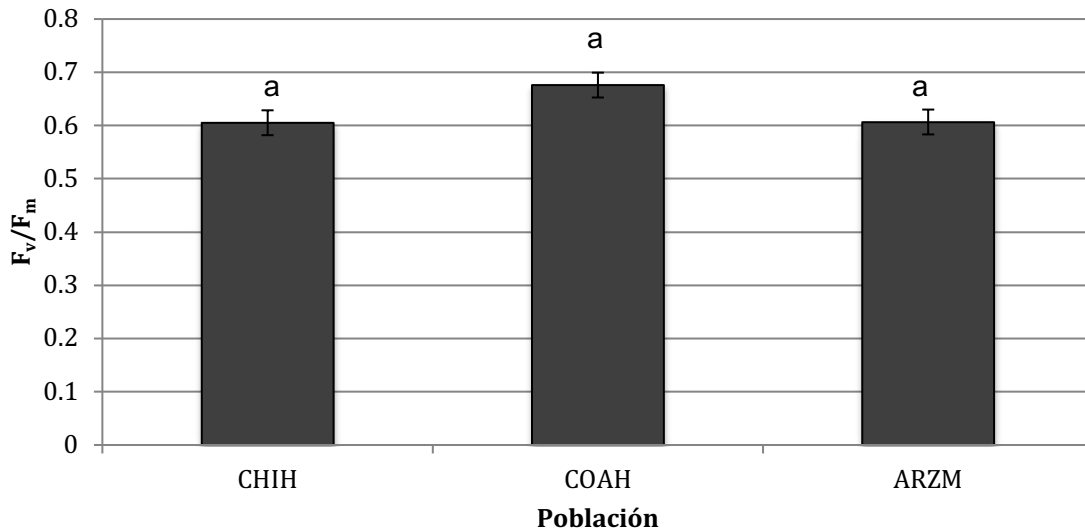
Nelson *et al.* (2007) compararon, entre otras variables, la temperatura de la hoja de un transgénico de maíz tolerante a la sequía con un maíz no transformado genéticamente bajo condiciones de sequía, y encontraron que la temperatura de la hoja del transgénico fue de 38.2°C y del no transformado de 38.5°C. Evidentemente, la temperatura de la hoja del transgénico resultó más fría que la del control y esto lo asocian con una mejor tolerancia a la sequía. Por lo tanto, basados en varios parámetros relacionados con la tolerancia a la sequía, incluyendo la temperatura de la hoja, concluyeron que el aumento de la expresión del factor de transcripción ZmNF-YB2 en maíz muestra tolerancia a la sequía.



## V.6 Fotosíntesis

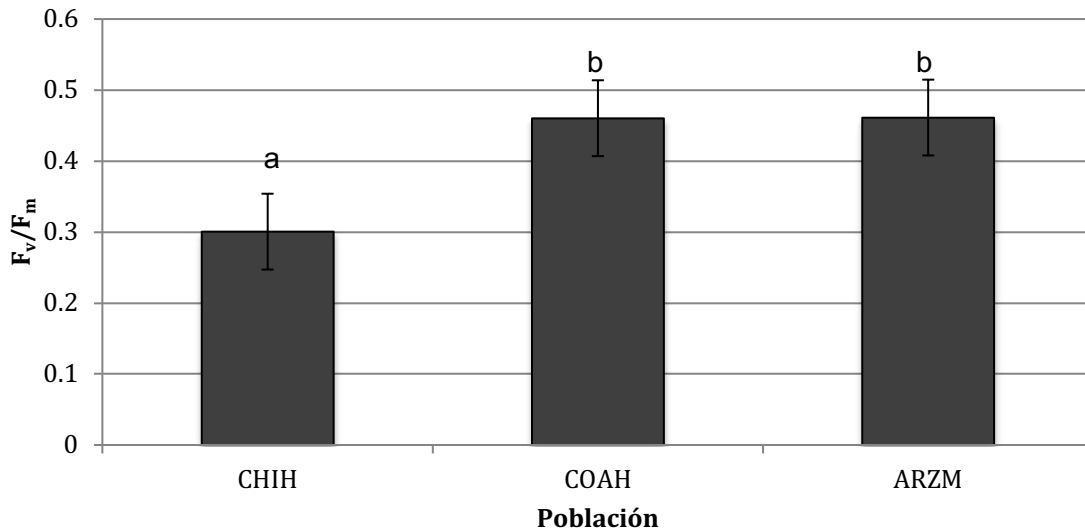
El estrés por sequía afecta QY (rendimiento cuántico del fotosistema II), que es equivalente a  $F_v/F_m$ , y es un parámetro utilizado para medir la fluorescencia de la clorofila (Wang *et al.*, 2012). La energía luminosa utilizada en la fotosíntesis se pierde como fluorescencia principalmente de la reacción del PSII (del inglés, "Photosystem II"). Un fluorómetro, como el usado en la presente investigación, permite determinar la eficiencia cuántica del PSII ( $q_Q = F_v / F_m$ ), donde  $F_v$  es la fluorescencia variable y  $F_m$  la fluorescencia variable máxima tras la aplicación de luz actínica continua (Bibi *et al.*, 2008). En el proceso de la fotosíntesis, parte de la energía absorbida en el fotosistema II se reemite como fluorescencia de la clorofila. La sequía disminuye la emisión de la fluorescencia, lo que hace que esta sea una herramienta potencialmente útil para detectar los efectos de la sequía en las plantas (Guo y Tan, 2015).

El QY de cada población se registró para monitorear el cambio en la fotosíntesis durante la sequía y después del riego de recuperación. Para esto se midió el QY antes del estrés, durante el estrés y después del riego de recuperación. El QY antes del estrés fue de 0.60 para la población CHIH, de 0.67 para la población COAH y de 0.60 para la población ARZM. No hay diferencias estadísticas entre las poblaciones antes de aplicar el estrés (Figura V.19).



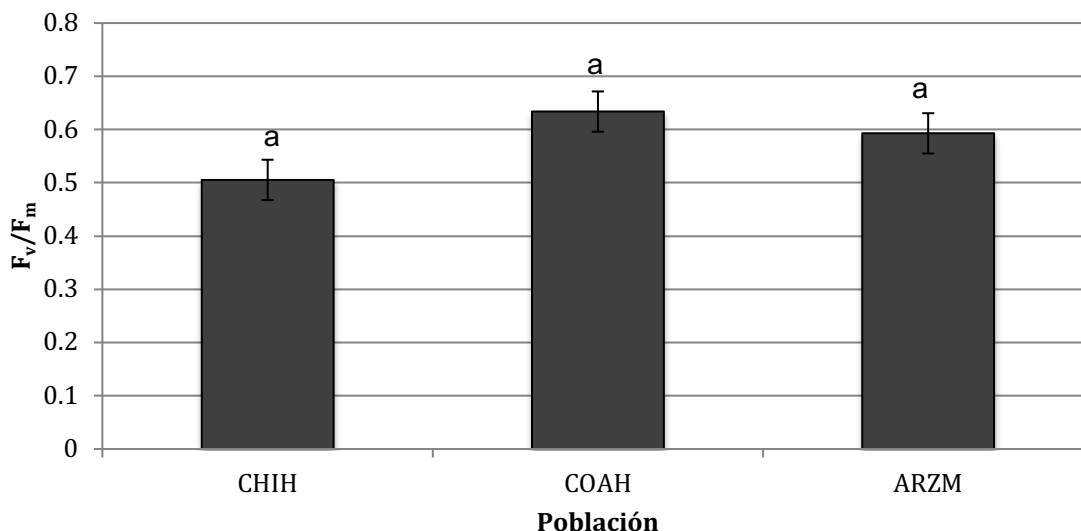
**Figura V.19**  $F_v/F_m$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de cada una de las poblaciones evaluadas antes de la sequía. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Como se muestra en la Figura V.20, durante la sequía el QY fue de 0.30 en la población CHIH, de 0.46 en la población COAH y de 0.46 en la población ARZM, lo cual indica que hay diferencias significativas de CHIH con las otras dos poblaciones pero no hubo diferencias estadísticas entre COAH y ARZM.



**Figura V.20**  $F_v/F_m$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de cada una de las poblaciones evaluadas durante la sequía. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

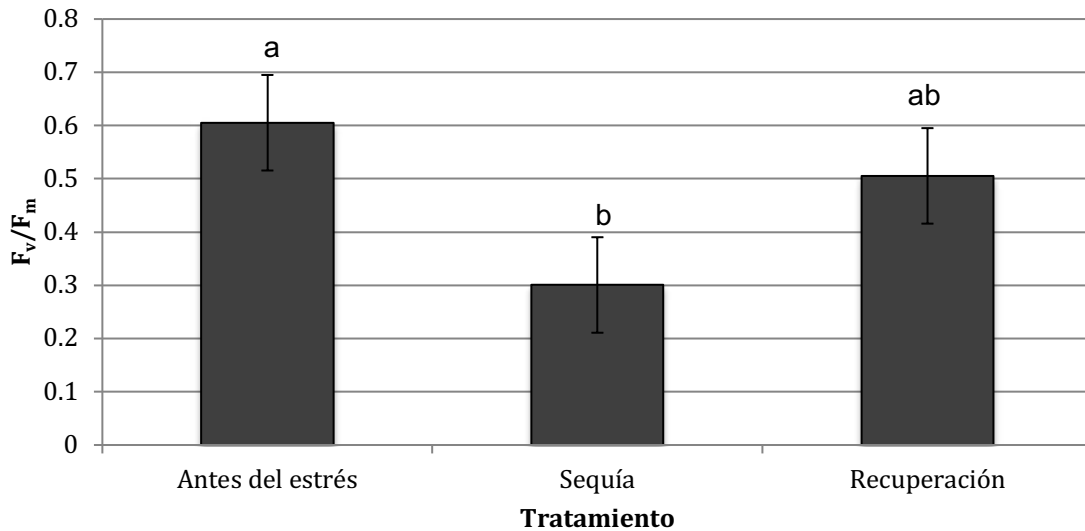
Después del riego de recuperación, el QY que registró la población CHIH fue de 0.50, el de la población COAH fue de 0.63 y el de la población ARZM fue de 0.59. No hay diferencias estadísticas entre las tres poblaciones en la recuperación (Figura V.21).



**Figura V.21**  $F_v/F_m$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de cada una de las poblaciones evaluadas después del riego de recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

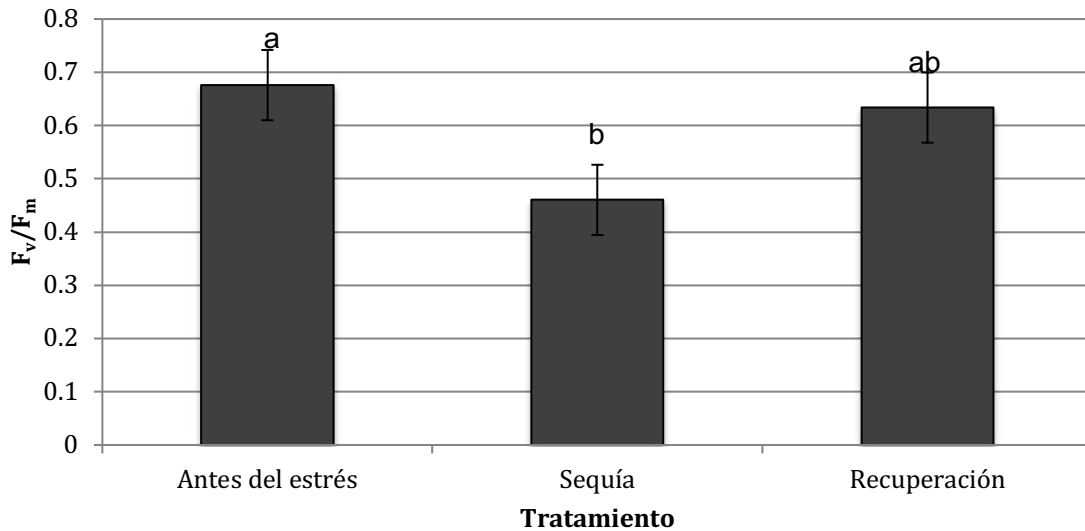
Se realizó un análisis para cada población de maíz para saber si la sequía afectó o no el proceso fotosintético. La población CHIH disminuyó 50% su valor de QY durante la sequía respecto a su valor sin estrés, en COAH disminuyó 31.34% y en ARZM12236 disminuyó 23.33%; esto muestra que la población CHIH fue la más afectada por el estrés y la población ARZM la menos afectada.

La Figura V.22 muestra el análisis de los resultados de la población CHIH, donde se observa que hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre el QY antes de aplicar el estrés y durante el estrés. No hubo diferencias estadísticas en el QY antes de aplicar el estrés y en la recuperación, así como no hubo diferencias estadísticas en el QY durante el estrés y en la recuperación. Esto sugiere que para la población CHIH el proceso fotosintético se afectó por el estrés de sequía, y que el nivel de fotosíntesis no se restableció completamente después del riego de recuperación.



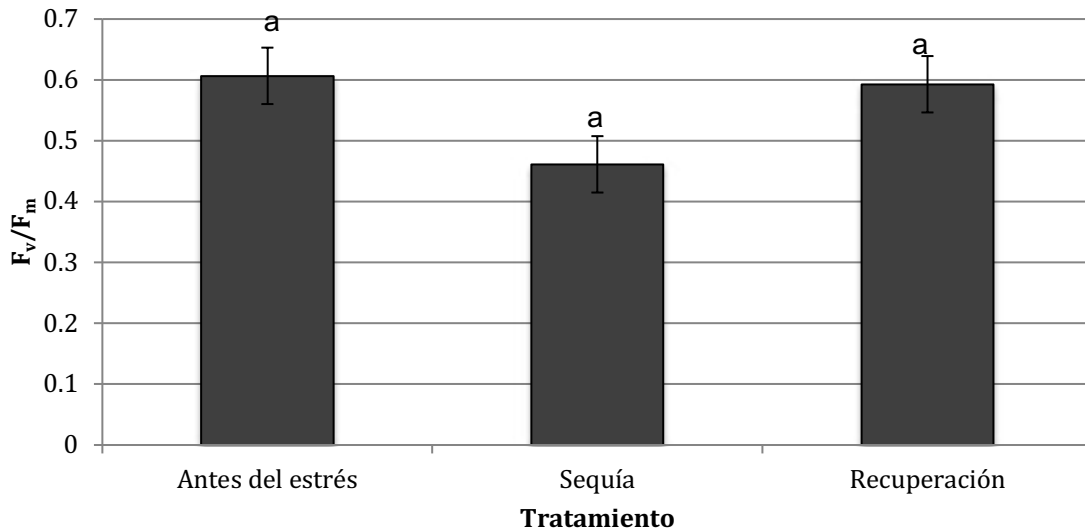
**Figura V.22**  $F_v/F_m$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de la población CHIH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

La Figura V.23 muestra el análisis de los resultados de la población COAH, en la cual hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el QY entre las etapas antes de aplicar el estrés y durante el estrés. No hubo diferencias estadísticas entre el QY de las etapas durante el estrés y en la recuperación, así como no hubo diferencias estadísticas entre el QY antes de aplicar el estrés y en la recuperación. Esto sugiere que el proceso fotosintético se afectó por el estrés de sequía y que el nivel de la fotosíntesis se restableció parcialmente después del riego de recuperación.



**Figura V.23**  $F_v/F_m$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de la población COAH antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

La Figura V.24 muestra el análisis de los resultados de la población ARZM. No hubo diferencias estadísticas entre el QY de las tres etapas evaluadas. Esto sugiere que la sequía no fue significativa para la población ARZM en la disminución del QY durante el estrés.



**Figura V.24**  $F_v/F_m$ , rendimiento cuántico del fotosistema II (QY) de la población ARZM antes del estrés, durante la sequía y en la recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

En resumen, el QY de las poblaciones CHIH y de COAH disminuyó durante la sequía y se recuperó parcialmente después del riego de recuperación, mientras que el QY de ARZM no se afectó. Estos resultados indican que estas poblaciones de maíz son tolerantes a sequía.

El proceso fotosintético se afecta debido a la sequía, pero las plantas tolerantes logran restablecer dicho proceso después de que se libera el estrés. Hayano-Kanashiro *et al.* (2009) midieron la fotosíntesis en función de  $\mu\text{moles}/\text{m}^2/\text{s}$  de tres criollos mexicanos de maíz (Michoacán21 y Cajete, ambos tolerantes a la sequía, y 85-2 que es sensible a la sequía) antes de aplicar estrés de sequía, durante dos periodos de sequía (moderado y severo) y después del riego de recuperación. Los niveles de fotosíntesis disminuyeron en las tres accesiones mientras el periodo de estrés se prolongó y restablecieron sus niveles de fotosíntesis después del riego de recuperación. Los criollos tolerantes, Michoacán21 y Cajete, presentaron niveles más altos de fotosíntesis y tuvieron

una mejor recuperación que el 85-2. Por lo tanto, confirmaron que Michoacan21 y Cajete son tolerantes a la sequía.

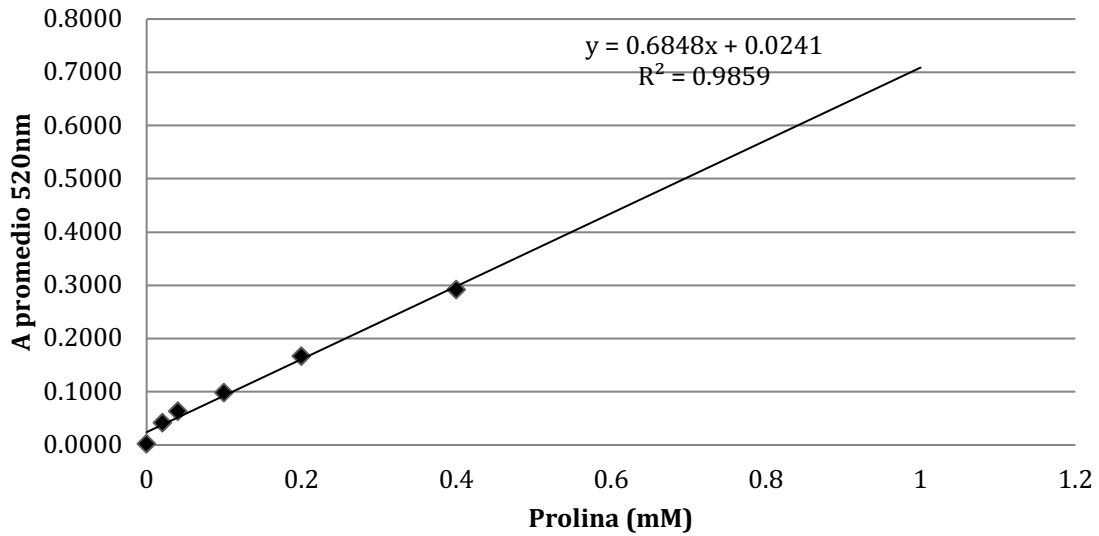
Bibi *et al.* (2008) evaluaron el rendimiento cuántico del PSII en genotipos de algodón expuestos a estrés por calor. El QY de los genotipos sin estrés fue de 0.78, mientras que el QY de los genotipos bajo estrés fue de 0.39. Así, claramente se observa que los niveles de QY disminuyeron cuando la planta esta sometida a sequía.

Plántulas de maíz transgénicas, transformadas con el gen *betA*, presentaron una disminución del QY menor que la no transformada bajo sequía (Quan *et al.*, 2004b). El QY de las plantas transgénicas se redujo a 80-85% de la actividad inicial, mientras que el QY de la no transformada se redujo a 75%. Mejorar la acumulación de glicina betaína confiere tolerancia a sequía en plántulas de maíz.

### **V.7 Cuantificación de prolina**

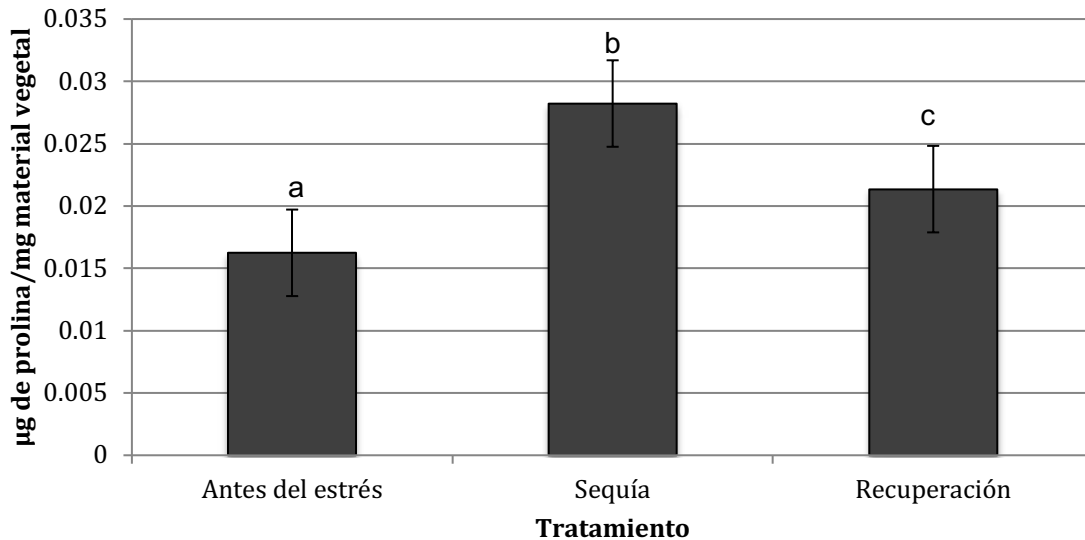
Se determinar la posible presencia de tres osmoprotectores muy comunes en plantas tolerantes a sequía: prolina, glicina betaína y trehalosa. En primer lugar, para el caso de la prolina, se construyó una curva de calibración (Figura V.25) para obtener la concentración de prolina de cada muestra analizada en µg de prolina/mg material vegetal.





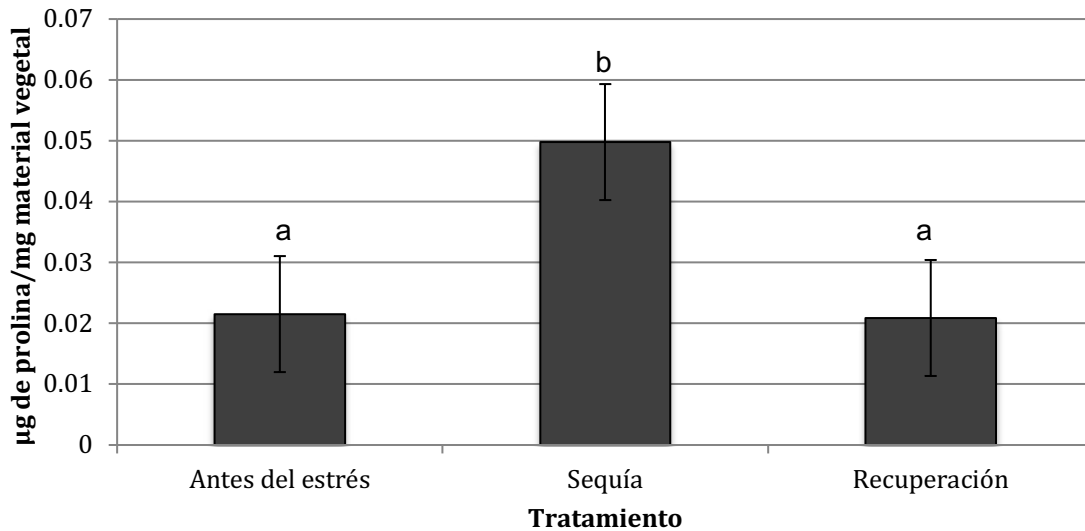
**Figura V.25** Curva de calibración para prolina a 520 nm.

La concentración de prolina se obtuvo de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante el estrés y en la recuperación. Como se muestra en la Figura V.26, la concentración de prolina de la población CHIH antes del estrés fue de 0.016 µg de prolina/mg, en condiciones de sequía fue de 0.028 µg de prolina/mg y en condiciones de recuperación de 0.021 µg de prolina/mg. Hubo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre las tres condiciones, lo que significa que la concentración de prolina foliar es diferente antes de la sequía, durante la sequía y después del riego de recuperación, sugiriendo que la sequía provocó la biosíntesis de prolina durante el estrés.



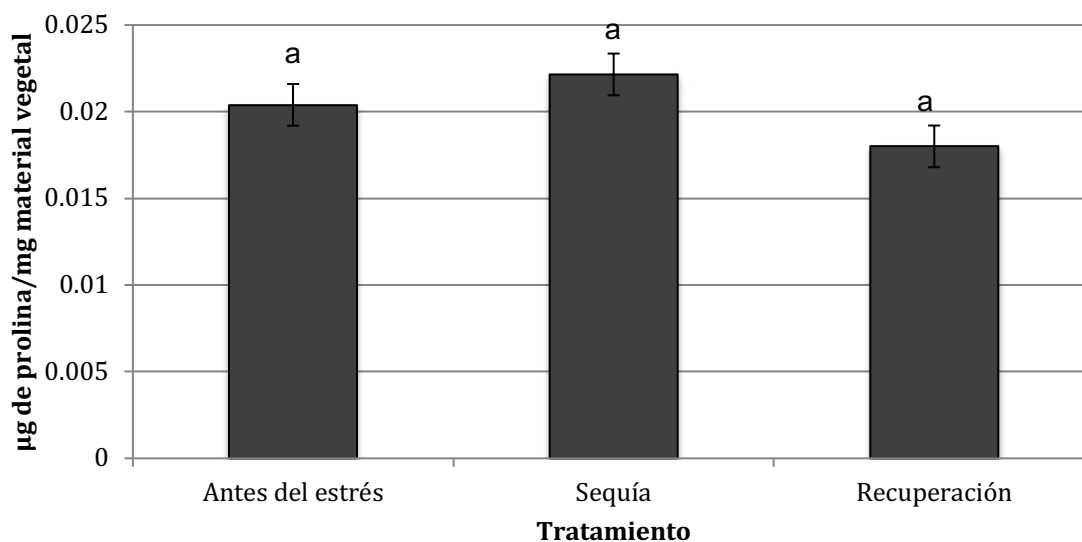
**Figura V.26** Determinación de prolina en la población CHH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

La población COAH registró niveles de prolina de 0.021 µg de prolina/mg antes del estrés, de 0.049 µg de prolina/mg durante la sequía y de 0.020 µg de prolina/mg en la recuperación (Figura V.27). El análisis estadístico muestra que existe diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre los niveles de prolina antes de la sequía y durante la sequía, al igual que existe diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ) entre los niveles de prolina durante la sequía y en la recuperación, y no hubo diferencias estadísticas entre los niveles de prolina antes de aplicar el estrés y en la recuperación. Esto sugiere que el estrés por sequía indujo la biosíntesis de prolina y una vez que el estrés cesó y la planta recibió agua los niveles de prolina regresaron a la normalidad.



**Figura V.27** Determinación de prolina en la población COAH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

El nivel de prolina de la población ARZM antes del estrés fue de 0.020 µg de prolina/mg, durante la sequía de 0.022 µg de prolina/mg y en la recuperación de 0.017 µg de prolina/mg material vegetal (Figura V.28). El análisis estadístico de esta población muestra que no hubo diferencias significativas entre las tres condiciones, es decir, la concentración de prolina en las hojas fue similar en los tres periodos de evaluación, sugiriendo que la sequía no indujo la biosíntesis de prolina.



**Figura V.28** Determinación de prolina en la población ARZM bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Se realizó el análisis estadístico para comparar las concentraciones de prolina de las tres poblaciones antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación (Tabla V.1). Como se puede observar, las poblaciones CHIH y COAH muestran un aumento significativo ( $P < 0.05$ ) de prolina en sequía con respecto a la condición de riego, mientras que no hubo diferencias estadísticas en la población ARZM.

**Tabla V.1** Concentración de prolina de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.

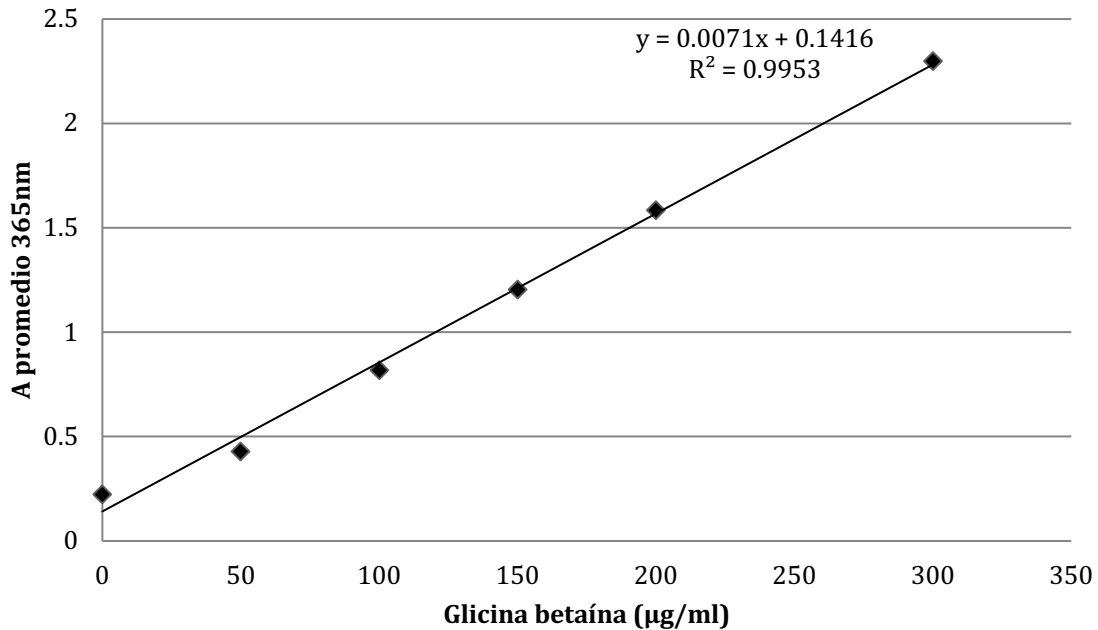
Población	Concentración de prolina (µg de prolina/mg material vegetal)		
	Antes del estrés	Sequía	Recuperación
CHIH	0.016a	0.028b	0.021c
COAH	0.021a	0.049b	0.02a
ARZM	0.020a	0.022a	0.017a

El estrés por sequía provoca cambios en el metabolismo de aminoácidos, en particular de prolina, que está correlacionada con la osmoprotección en algunas plantas y se ha demostrado que su biosíntesis es un factor importante en la tolerancia a la sequía (Hayano-Kanashiro *et al.* (2009). Los niveles de prolina aumentaron en los criollos de maíz tolerantes a sequía Michoacán21 y Cajete mientras se encontraban en estrés severo de sequía y los niveles aumentaron ocho veces más en comparación de los niveles de prolina antes de aplicar el estrés. Recientemente se encontró que la prolina se acumula en los ápices radiculares de una variedad de maíz tolerante (VS-22) a la sequía y cuya biosíntesis aumenta cuando las plantas de maíz se someten a condiciones de estrés (Velázquez-Márquez *et al.*, 2015).

Por lo tanto, si bien el estrés por sequía indujo la biosíntesis de prolina en las poblaciones CHIH y COAH, el aumento fue mayor en la población COAH en la cual se indujo 2.3 veces mientras que en CHIH solo aumentó 1.75 veces, además, en COAH los niveles de prolina regresaron a sus niveles iniciales de una vez que el estrés finalizó. Esto sugiere que la biosíntesis de prolina en estas dos poblaciones juega un papel en su tolerancia a sequía.

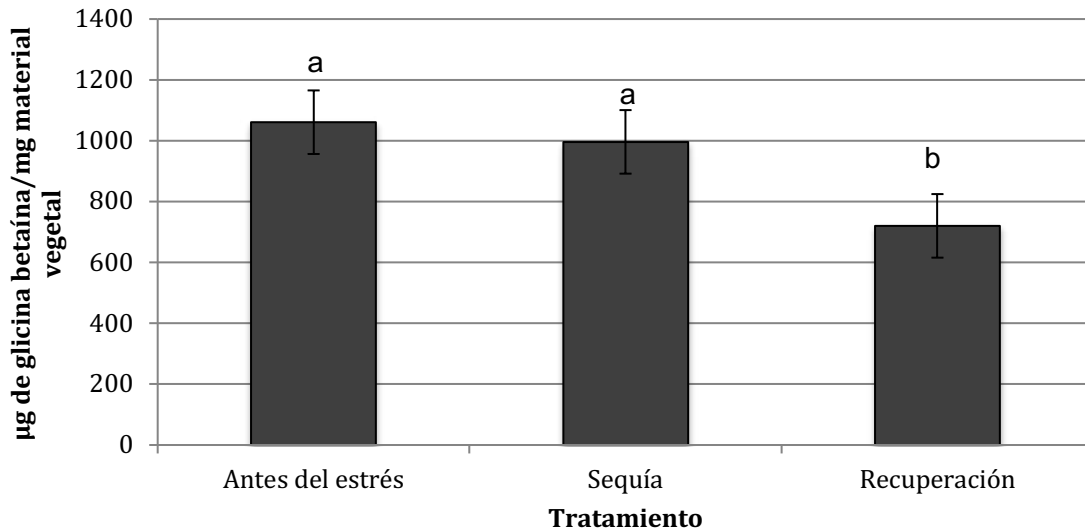
### **V.8 Cuantificación glicina betaína**

Se construyó una curva de calibración (Figura V.29) para obtener la concentración de glicina betaína de cada muestra analizada en  $\mu\text{g}$  de glicina betaína/mg material vegetal.



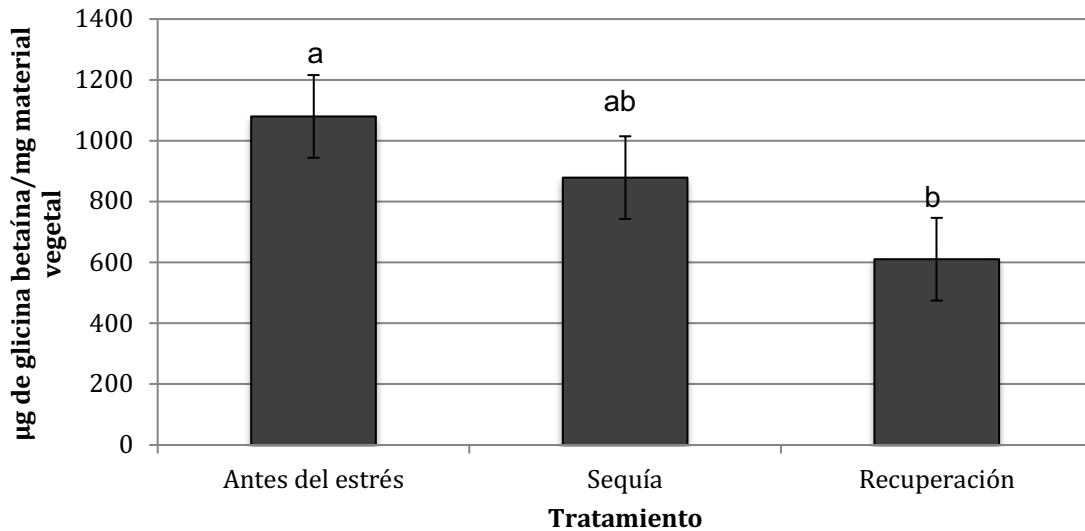
**Figura V.29** Curva de calibración para glicina betaína a 520 nm.

La concentración de glicina betaína se obtuvo de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante el estrés y en la recuperación. Como se muestra en la Figura V.30, el nivel de glicina betaína antes del estrés de la población CHIH fue de 1061 µg de glicina betaína/mg, durante la sequía de 996 µg de glicina betaína/mg y en la recuperación de 720 µg de glicina betaína/mg. No hubo diferencias estadísticas entre la concentración de glicina betaína antes del estrés y la concentración de glicina betaína durante el estrés y la disminución del nivel de glicina betaína en la recuperación si fue significativo ( $P < 0.05$ ) con respecto a antes del estrés y durante el estrés. Esto sugiere que el estrés por sequía no indujo la biosíntesis de glicina betaína en la población CHIH.



**Figura V.30** Determinación de glicina betaína en la población CHIH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

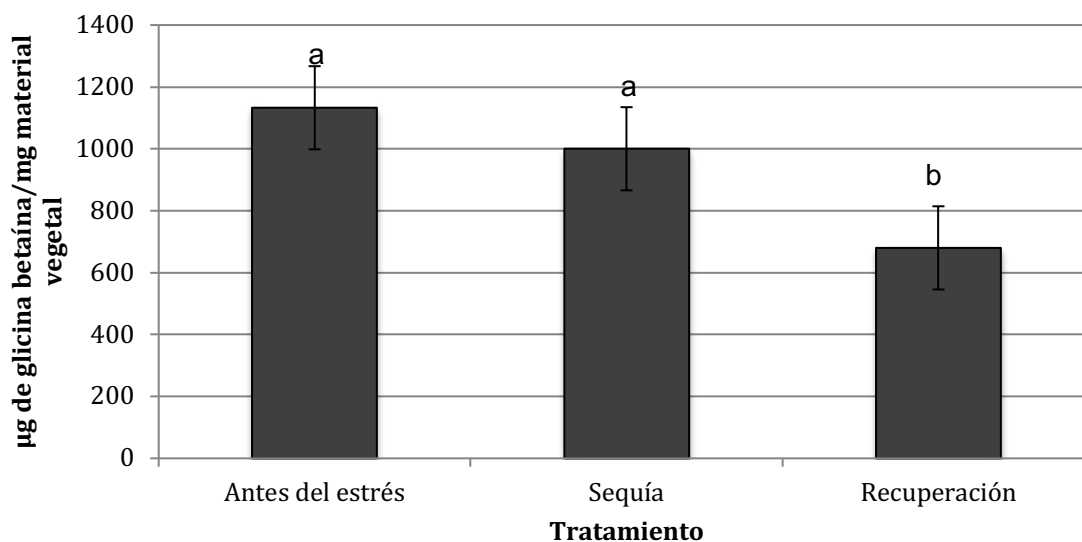
El nivel de glicina betaína antes del estrés de la población COAH fue de 1080 µg de glicina betaína/mg, durante la sequía de 879 µg de glicina betaína/mg y en la recuperación de 680 µg de glicina betaína/mg (Figura V.31). Los niveles de la concentración de glicina betaína en esta población no aumentaron bajo condiciones por sequía. El análisis estadístico muestra que no hubo diferencias significativas antes del estrés y durante el estrés, tampoco hubo diferencias significativas durante el estrés y en la recuperación. Sin embargo, si hubo diferencias significativas ( $P < 0.5$ ) antes del estrés y después del riego de recuperación.



**Figura V.31** Determinación de glicina betaína en la población COAH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

La población ARZM registró niveles de 1133 µg de glicina betaína/mg antes de aplicar el estrés, de 1000 µg de glicina betaína/mg durante el estrés y de 680 µg de glicina betaína/mg en la recuperación (Figura V.32). Los niveles de la concentración de glicina betaína en esta población no aumentaron bajo condiciones por sequía y no hubo diferencias significativas antes del estrés y durante el estrés. Si hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la recuperación respecto a los niveles de glicina betaína antes del estrés y durante el estrés.





**Figura V.32** Determinación de glicina betaína en la población ARZM bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Se hizo un análisis estadístico para cada periodo de evaluación para comparar las tres poblaciones (Tabla V.2). No hubo diferencias significativas en las tres poblaciones antes del estrés. No hubo diferencias significativas en las tres poblaciones evaluadas durante la sequía. Después del riego de recuperación no hubo diferencias significativas entre las tres poblaciones.

**Tabla V.2** Concentración de glicina betaína de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.

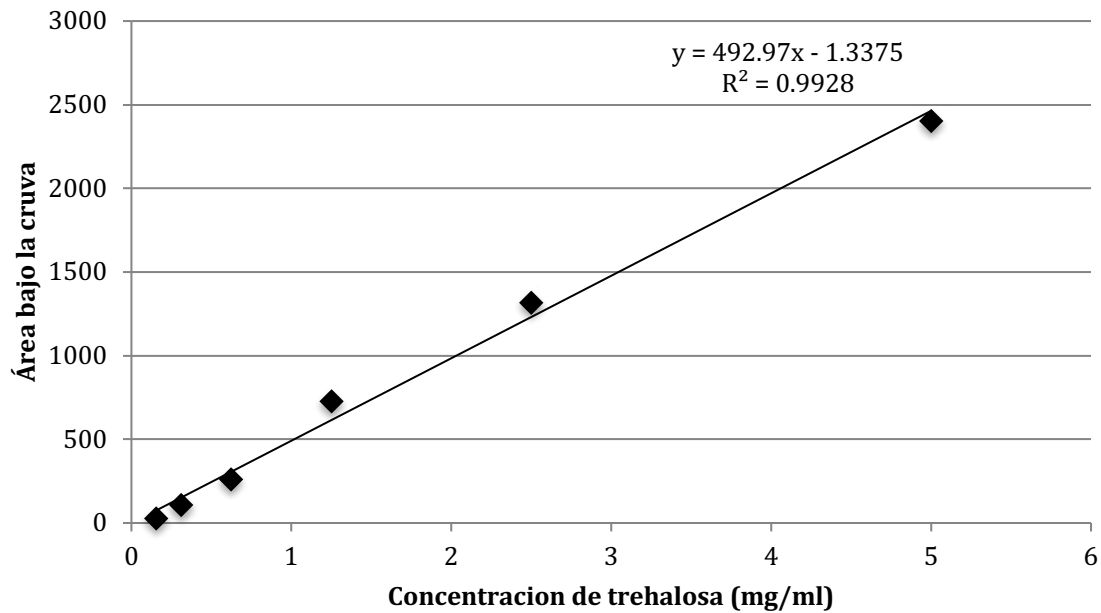
Población	Concentración de glicina betaína (µg de glicina betaína/mg material vegetal)		
	Antes del estrés	Sequía	Recuperación
CHIH	1061a	996.32a	720.27a
COAH	1079.93a	878.8a	610.63a
ARZM	1132.77a	1000.27a	680.04a

Legaria *et al.* (1998) clonaron y mostraron la expresión del gen *ahybadh17* que codifica para la enzima BADH (betaína aldehído deshidrogenasa), la cual está involucrada en el primer paso en la biosíntesis de glicina betaína, en hojas de amaranto de plantas expuestas a estrés osmótico. Quan *et al.* (2004b) transformaron un línea de maíz con el gen *betA* de *Escherichia coli* que codifica para colina deshidrogenasa, la cual también es una enzima clave en la biosíntesis de glicina betaína. Las plantas transgénicas acumulan mayores niveles de glicina betaína durante el estrés por sequía que las plantas no transgénicas en la etapa de germinación y en las primeras etapas vegetativas del cultivo; la concentración de glicina betaína en la plantas no transformadas fue cinco veces menor a la concentración de glicina betaína de las plantas transformadas. Por lo tanto la acumulación de glicina betaína en las plantas de maíz confiere tolerancia a la sequía.

En el presente trabajo, si hay presencia de glicina betaína en las tres poblaciones, lo cual podría estar relacionado con su tolerancia a la sequía concluida con en análisis del CRA, fotosíntesis y temperatura de la hoja, debido a que la acumulación de glicina betaína en maíz mejora la integridad de la membrana celular y la actividad enzimática (Quan *et al.*, 2004b). Sin embargo, los niveles de glicina betaína no fueron superiores durante el estrés por sequía en ninguna de las poblaciones de maíz evaluadas en comparación con la etapa antes de aplicar el estrés, es decir, el periodo de sequía no indujo la biosíntesis de glicina betaína.

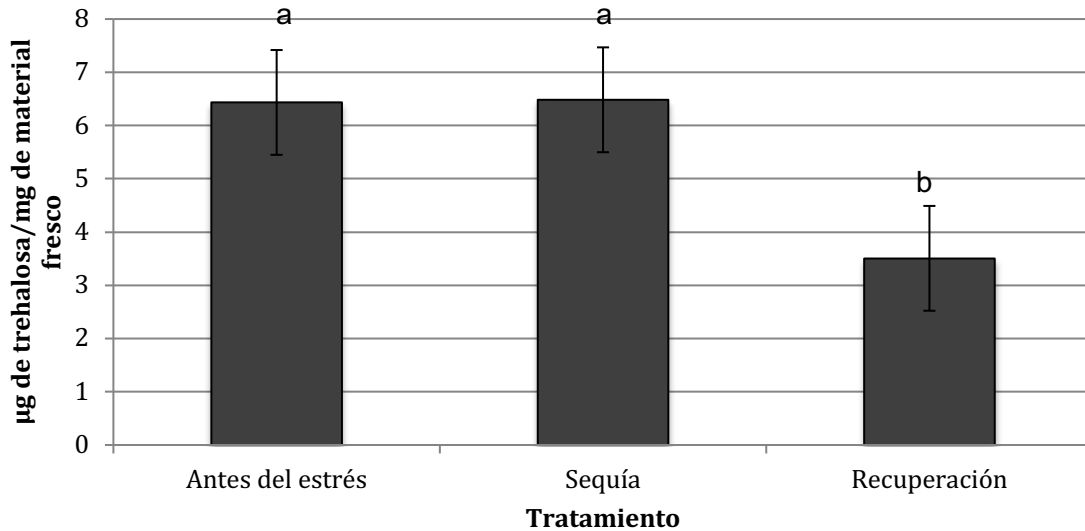
### **V.9 Cuantificación trehalosa**

La concentración de trehalosa se midió de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante el estrés y en la recuperación. Para la cuantificación, se realizó una curva estándar de trehalosa (Figura V.33), para obtener la concentración de trehalosa de cada muestra analizada en  $\mu\text{g}$  de trehalosa/mg material vegetal.



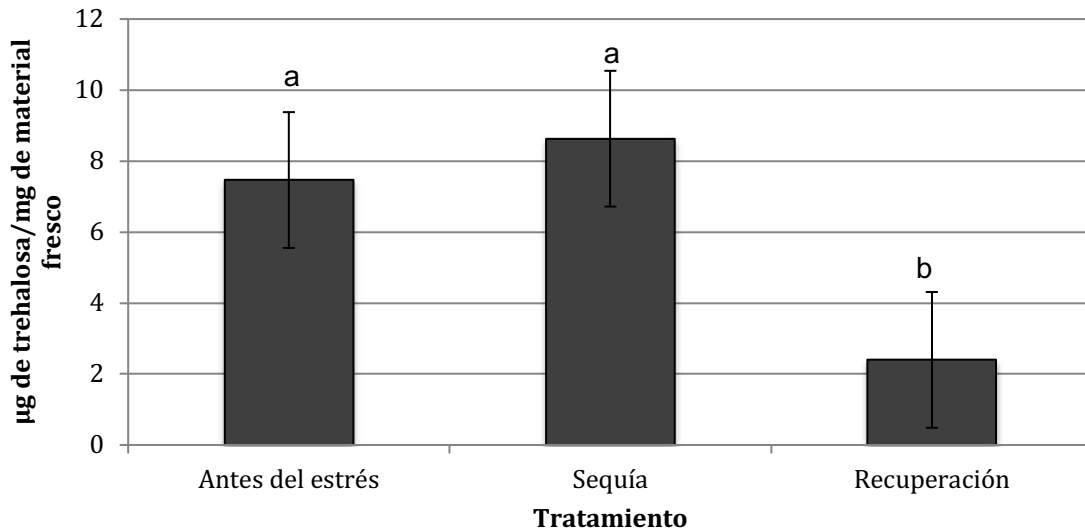
**Figura V.33** Curva de calibración para trehalosa.

La población CHIH tuvo una concentración de 6.43  $\mu\text{g}$  de trehalosa/mg antes del estrés, de 6.48  $\mu\text{g}$  de trehalosa/mg durante la sequía y de 3.51  $\mu\text{g}$  de trehalosa/mg en la recuperación (Figura V.34). No hubo diferencias significativas antes del estrés y durante el estrés, pero si hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) después del riego de recuperación.



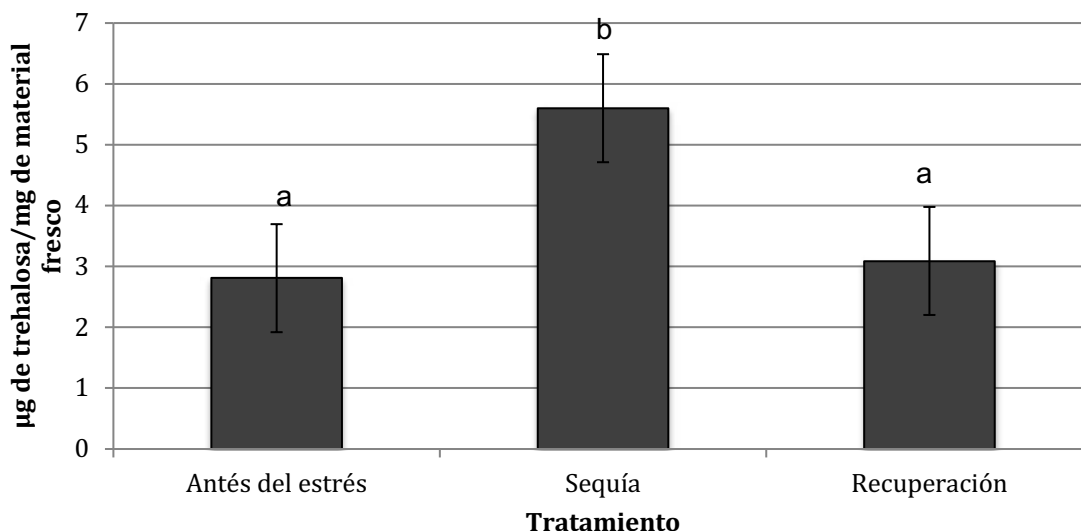
**Figura V.34** Determinación de trehalosa en la población CHIH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

El nivel de trehalosa de la población COAH bajo condiciones de riego fue de 7.47 µg de trehalosa/mg, en condiciones de sequía de 8.63 µg de trehalosa/mg y en la recuperación de 2.40 µg de trehalosa/mg (Figura V.35). No hubo diferencias significativas antes del estrés y en la sequía. Sin embargo, los niveles de trehalosa después del riego si presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).



**Figura V.35** Determinación de trehalosa en la población COAH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Por otro lado, antes del estrés la concentración de trehalosa fue de 2.81 µg de trehalosa/mg en la población ARZM, durante la sequía la concentración fue de trehalosa de 5.60 µg de trehalosa/mg y en la recuperación de 3.09 µg de trehalosa/mg (Figura V.36). No hubo diferencias significativas entre antes del estrés y en la recuperación. Si hubo diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en los niveles de trehalosa durante la sequía.



**Figura V.36** Determinación de trehalosa en la población ARZM bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Se realizó un análisis estadístico para comparar las poblaciones evaluadas antes del estrés, durante el estrés y después del riego de recuperación (Tabla V.3).

**Tabla V.3** Concentración de trehalosa de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.

Población	Concentración de trehalosa (µg de trehalosa/mg de material fresco)		
	Antes del estrés	Sequía	Recuperación
CHIH	6.43a	6.48a	3.5b
COAH	7.46a	8.63a	2.3b
ARZM	2.8a	5.6b	3.09a

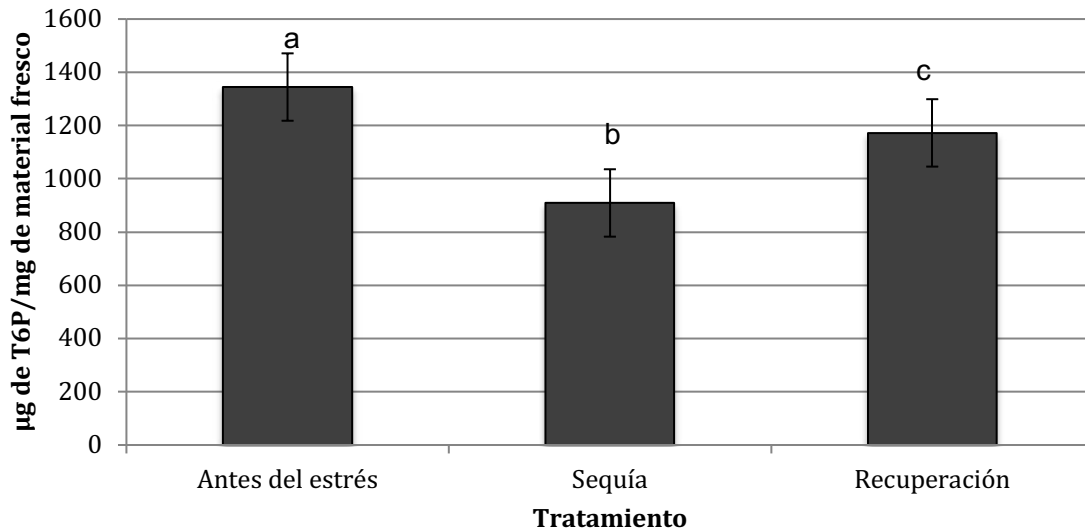
Solamente la población ARZM aumentó significativamente sus niveles de trehalosa durante la sequía, lo cual sugiere que esta población sintetiza trehalosa como respuesta a la sequía.

Se ha demostrado que la acumulación de trehalosa en plantas de maíz mejora la tolerancia a sequía cuando estas se exponen a estrés (Rodríguez-Salazar *et al.* 2009). En un trabajo reciente, Velazquez-Marquez *et al.* (2015) mostraron la acumulación de trehalosa en ápices radiculares en plántulas de una variedad tolerante a sequía 72 horas después del inicio del estrés. En comparación con las plantas sin estrés, la concentración de trehalosa en las plántulas expuestas a estrés fue 30 veces mayor. En contraste, en esta tesis se muestra que los niveles de trehalosa en la población ARZM aumentaron solo 2 veces, por lo que es posible que su contribución a la tolerancia a la sequía de esta población de maíz no sea relevante.

#### **V.10 Cuantificación de trehalosa 6-fosfato**

La T6P además de ser un intermediario en la biosíntesis de trehalosa, se ha encontrado que juega un papel en las plantas como molécula señal integrando la utilización de la sacarosa con el crecimiento y desarrollo en relación con las condiciones ambientales. Durante estas etapas, el anabolismo domina al catabolismo debido a la inhibición de la proteína cinasa SNF1 (SnRK1, por sus siglas en inglés) ejercida por la T6P, y durante la noche cuando la planta respira, la inhibición cesa y predomina el catabolismo (Schluepmann *et al.*, 2003; Nunes *et al.*, 2013). Por lo que en el presente trabajo se decidió medir la concentración de T6P de las tres poblaciones de maíz antes del estrés, durante el estrés y en la recuperación.

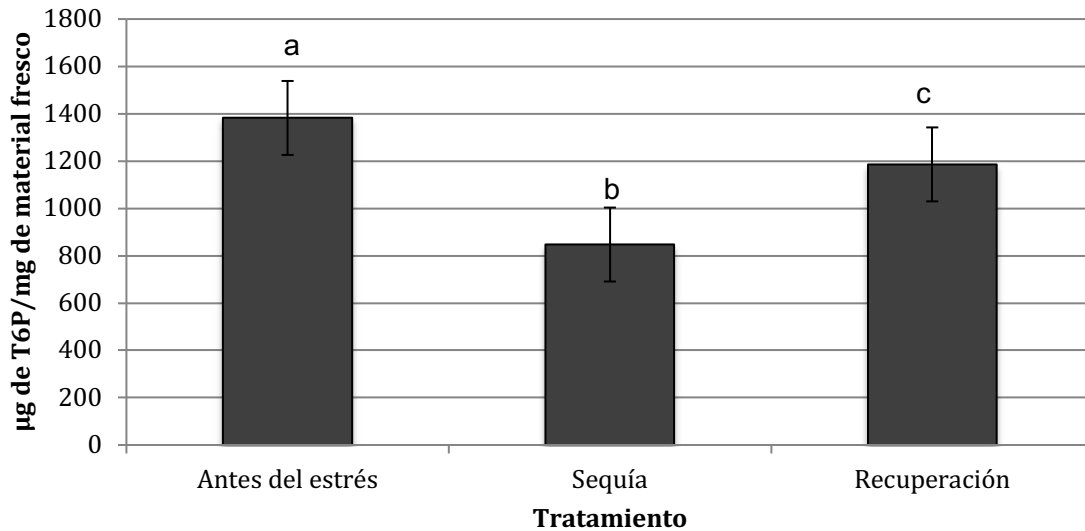
La concentración de T6P de la población CHIH fue de 1344.61 µg de T6P/mg en condiciones de riego, de 909.21 µg de T6P/mg en condiciones de sequía y de 1172.4 µg de T6P/mg después del riego de recuperación (Figura V.37). El análisis estadístico muestra diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tres periodos de evaluación.



**Figura V.37** Determinación de T6P en la población CHIH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

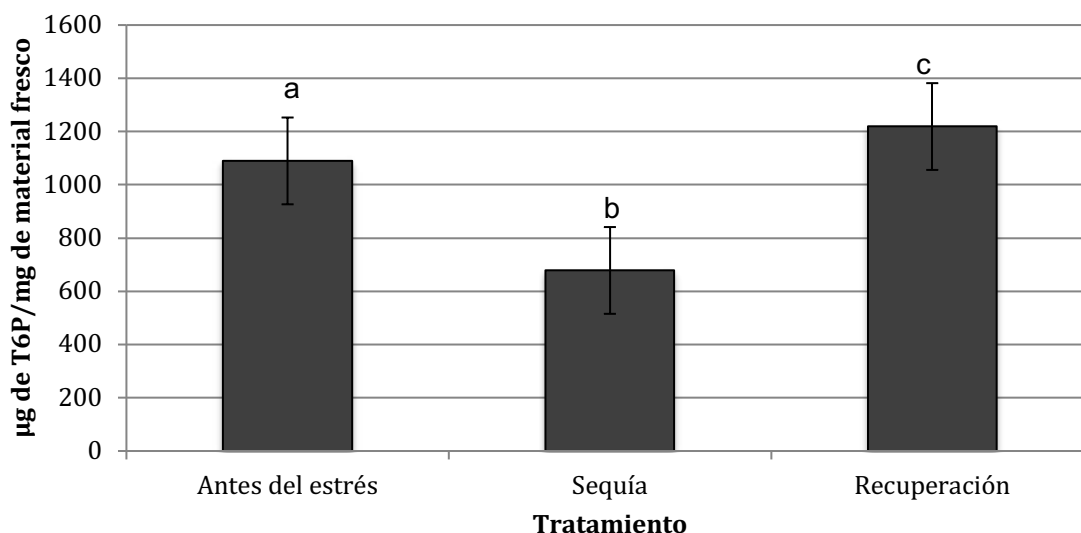
Los niveles de T6P en la población COAH fueron de 1382.1 µg de T6P/mg antes del estrés, de 909.21 µg de T6P/mg de material fresco durante la sequía y de 1172.4 µg de T6P/mg después del riego de recuperación (Figura V.38). Hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en los tres periodos de evaluación.





**Figura V.38** Determinación de T6P en la población COAH bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Para la población ARZM, la concentración de T6P antes del estrés fue de 1089.72 µg de T6P/mg de material fresco, durante la sequía fue de 678.26 µg de T6P/mg de material fresco y después del riego de recuperación de 1218.82 µg de T6P/mg de material fresco (Figura V.39). El análisis estadístico muestra que hubo diferencias significativas antes de aplicar el estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.



**Figura V.39** Determinación de T6P en la población ARZM bajo condiciones de riego, sequía, y recuperación. Las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar del promedio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones (Tukey  $P < 0.05$ ).

Se realizó un análisis estadístico para comparar las poblaciones antes del estrés, en la sequía y después del riego de recuperación (Tabla V.4). No hubo diferencias estadísticas en la población CHIH y COAH antes del estrés, pero si hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en ARZM. Durante la sequía, no hubo diferencias significativas en la población CHIH y COAH ni en la población COAH y ARZM, sin embargo, si hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la población CHIH y ARZM. No hubo diferencias significativas después del riego de recuperación.

**Tabla V.4** Concentración de T6P de las tres poblaciones evaluadas antes del estrés, durante la sequía y después del riego de recuperación.

Población	Concentración de T6P (µg de T6P/mg de material fresco)		
	Antes del estrés	Sequía	Recuperación
CHIH	1344.61a	909.21b	1172.4c
COAH	1382.1a	847.15b	1185.86c
ARZM	1218.82a	678.26b	1218.82c

Las tres poblaciones muestran el mismo patrón de concentración de T6P, observándose una disminución en la concentración durante el estrés y un aumento significativo después del riego de recuperación. Se sabe que los niveles altos de sacarosa aumentan la concentración de T6P que a su vez inhibe la actividad de SnRK1; así, cuando la planta se encuentra sometida a sequía los niveles de T6P disminuyen (Lawlor y Paul, 2014). Las poblaciones CHIH y COAH restablecieron parcialmente su concentración de T6P después del riego de recuperación, mientras que los niveles de T6P en la población ARZM se restablecieron completamente.

### **V.11 Rendimiento**

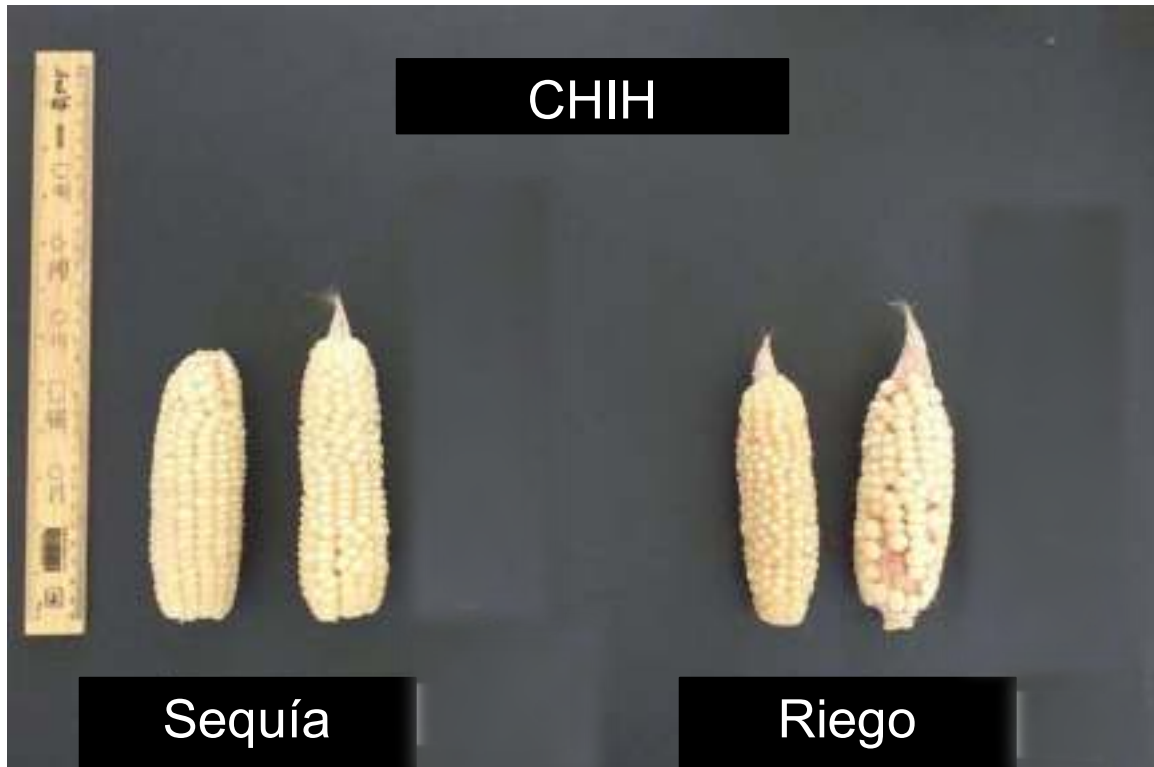
El rendimiento de un cultivo es un rasgo complejo en el que intervienen un gran número de genes y aun no completamente entendido (Hill y Li, 2016). El rendimiento de grano es la variable más importante y significativa del cultivo del maíz para los agricultores. Por esta razón, en esta investigación fue de gran importancia determinar el rendimiento de grano de las poblaciones de maíz en condiciones de tolerancia a la sequía.

En la Tabla V.5 se despliegan una serie de variables referentes al rendimiento que muestran el promedio obtenido por mazorca bajo condiciones de sequía y de riego de las tres poblaciones de maíz evaluadas.

**Tabla V.5** Número de hileras, granos por hilera, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso de grano por mazorca y peso de olote de las tres poblaciones evaluadas expuestas a sequía y riego.

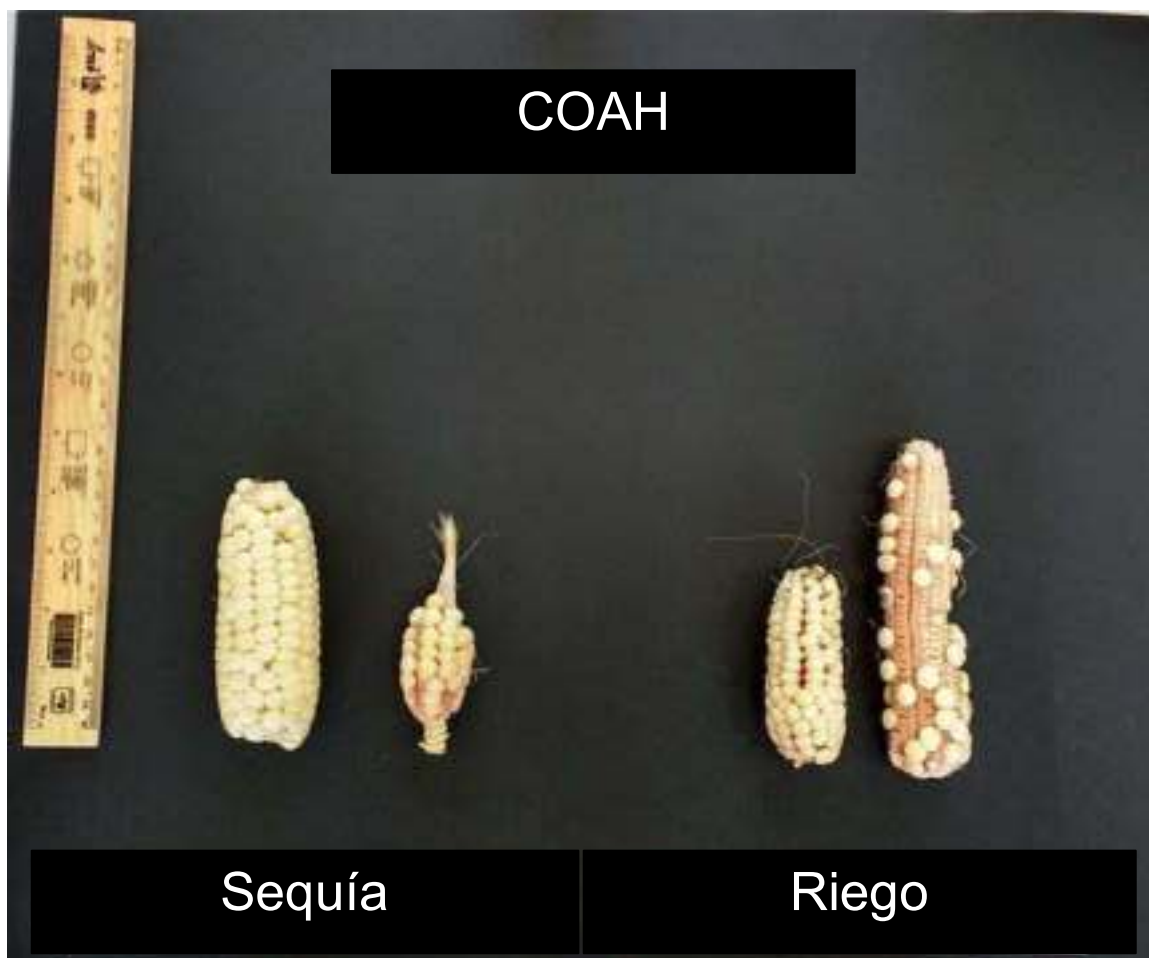
	Número de hileras	Granos por hilera	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Grano por mazorca (g)	Olote (g)
Riego						
CHIH	12	21	15	4	68	19
COAH	12	23	14	4	48	16
ARZM	10	26	15	4	65	21
Sequía						
CHIH	12	22	13	4	59	14
COAH	10	17	12	3	30	8
ARZM	10	17	12	3	30	8

En la Figura V.40 se muestra una fotografía comparativa entre mazorcas de la población CHIH bajo las dos condiciones, sequía y riego. Se tomaron las mazorcas más representativas de la población para verificar si existe una diferencia visual entre ambas condiciones. Como se puede observar, al comparar las mazorcas en condiciones de sequía con las cosechadas bajo riego, existe poca variabilidad entre ellas.



**Figura V.40** Fotografía comparativa entre mazorcas cosechadas de la población CHIH bajo estrés por sequía y riego.

La población COAH muestra variabilidad en la apariencia de las mazorcas dentro de la misma condición. Como se observa en la Figura V.41, bajo condiciones de sequía se encontraron mazorcas que desarrollaron todos sus granos mientras otras no. En condiciones de riego se encontró el mismo fenómeno, no se desarrolló el grano por completo en algunas mazorcas.



**Figura V.41** Fotografía comparativa entre mazorcas cosechadas de la población COAH bajo estrés por sequía y riego.

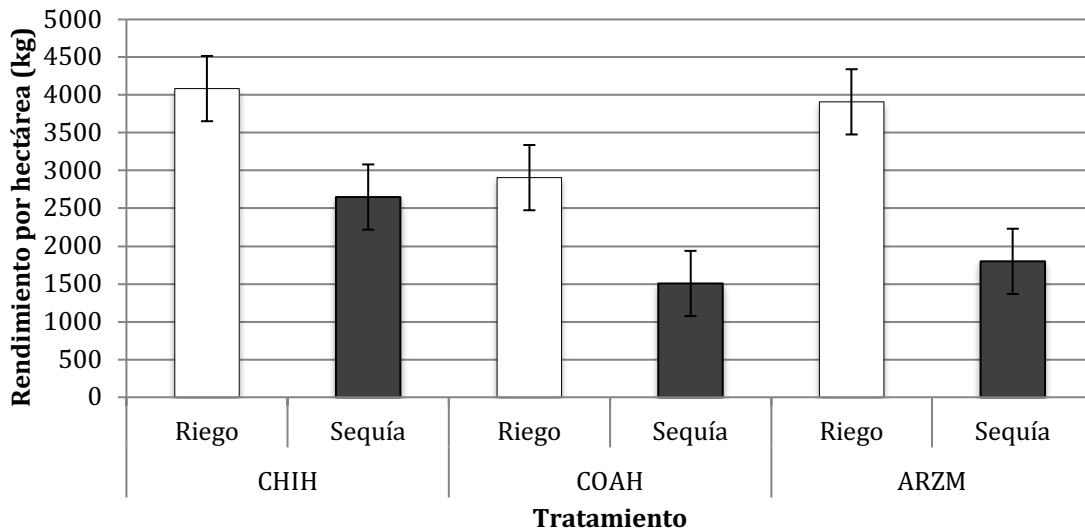
La Figura V.42 muestra una comparación representativa de las mazorcas de la población ARZM cosechadas bajo condiciones de sequía y riego. Se observó variabilidad entre las mazorcas cosechadas. Bajo condiciones de sequía hubo mazorcas bien desarrolladas y otras con desarrollo incompleto. De igual manera, en condiciones de riego se encontró que algunas mazorcas no completaron su desarrollo, lo cual podría deberse a que esta población no se adaptó completamente a la altitud y clima del bajío.



**Figura V.42** Fotografía comparativa entre mazorcas cosechadas de la población ARZM bajo estrés por sequía y riego.

Cómo se explica en MATERIALES Y MÉTODOS, el rendimiento se estimó por hectárea de cada población bajo sequía y riego. El rendimiento estimado de la población CHIH bajo sequía es de 2649.42 kg y de 4084.98 kg en riego. La población COAH tiene un rendimiento estimado de 1505.56 kg en condiciones de sequía y de 2906.71 kg bajo riego. Por último, el rendimiento estimado de la población ARZM bajo sequía fue 1798.92 kg y de 3909.51 en riego (Figura V.43). Con estos resultados obtenidos se sugiere que la sequía afectó el rendimiento en las tres poblaciones evaluadas. Sin embargo, se observa que en

condiciones de sequía la población CHIH fue la población que obtuvo mayor rendimiento.



**Figura V.43** Rendimiento estimado por hectárea de cada una de las poblaciones evaluadas bajo condiciones de sequía y riego.

La población CHIH fue la menos afectada por la sequía con un porcentaje de reducción de 35.14%, seguida de COAH con un porcentaje de reducción de 48.20%, y ARZM que tuvo el mayor porcentaje de reducción de 53.99%. La sequía, después de la etapa de emisión de estigmas hasta la madurez, afecta el peso del grano o semilla y afecta severamente el rendimiento del cultivo de maíz (Maiti y Satya, 2014; Banziger *et al.*, 2000).

Se sabe que la disminución del rendimiento correlaciona con el aumento de los niveles de ABA (Hirayama y Shinozaki, 2007). Se ha encontrado esta relación en maíz (Kakumanu *et al.*, 2012) y además parecen estar involucrados la disminución de los niveles de glucosa, la interrupción de la señalización ABA/glucosa, la activación de la muerte celular programada a través de la represión de una fosfolipasa C mediada por la vía de señalización, y al cese del ciclo celular en el ovario estresado por sequía después de un día de polinización.



Se ha encontrado una relación entre T6P, el rendimiento de grano en trigo y la sequía; la manipulación genética de los niveles de T6P en meristemas y granos recién fertilizados en trigo aumentan potencialmente el tamaño de grano mejorando el rendimiento de los cultivos tanto en riego como bajo condiciones de sequía, si bien es menor en esta condición (Lawlor y Paul, 2014).

## VI. CONCLUSIONES

- La emergencia de la primera y tercera hoja fue más rápida en la población CHIH338 que en las poblaciones COAH y ARZM.
- Las poblaciones CHIH y ARZM son más precoces que la población COAH.
- El ASI fue de 1 día para las tres poblaciones y no se vio afectado por la sequía.
- Después del riego de recuperación todas las poblaciones recuperaron el nivel del contenido relativo de agua que tenían antes de aplicar el estrés.
- Solo la población COAH logró restablecer la temperatura foliar registrada antes de aplicar el estrés.
- Solo la población COAH logró restablecer la fotosíntesis después del riego de recuperación.
- La prolina aumentó en las poblaciones CHIH y COAH durante el estrés por sequía.
- La biosíntesis de glicín betaína no aumentó en las plantas de maíz estresadas.
- Los niveles de trehalosa solo aumentaron en la población ARZM.
- La concentración de trehalosa 6-fosfato disminuyó en las tres poblaciones de maíz bajo condiciones de sequía.
- El rendimiento se redujo en las tres poblaciones bajo condiciones de sequía.
- CHIH tuvo menor pérdida del rendimiento bajo estrés en comparación con las poblaciones COAH y ARZM.

## VII. LITERATURA CITADA

- Abdeen A., Schnell J., & Miki B. (2010). Transcriptome analysis reveals absence of unintended effects in drought-tolerant transgenic plants overexpressing the transcription factor ABF3. *BMC Genomics* 11: 69.
- Avonce N., Leyman B., Mascorro-Gallardo J., Van Dijck P., Thevelein J., & Iturriaga G. (2004). The Arabidopsis Trehalose-6-P Synthase AtTPS1 Gene Is a Regulator of Glucose, Abscisic Acid, and Stress Signaling. *Plant Physiology* 136: 3649-3659.
- Avonce N., Mendoza-Vargas A., Morett E., & Iturriaga G. (2006). Insights on the evolution of trehalosa biosynthesis. *BMC Evolutionary Biology* 6: 109-124.
- Baldoni E., Genga A., & Cominelli E. (2015). Plant MYB Transcription Factors: Their Role in Drought Response Mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences* 16: 15811-15851.
- Banziger M., Pixley K., Vivek B., & Zambezi BT. (2000). Characterization of elite germplasm grown in eastern and southern Africa: Results of the 1999 regional trials conducted by CIMMYT and the maize and wheat improvement Research Newyork for SADC (MWIRNET). Harare, Zimbabwe. CIMMYT.
- Barnabás B., Jäger K., & Fehér A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment* 31: 11-38.
- Bartels D. & Souer E. (2004). Plant Responses to Abiotic Stress. En *Topics in Current Genetics* (9-38). Berlin: Springer-Verlag.
- Bartels D. & Sunkar R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 24: 23-58.
- Behnam B., Iuchi S., Fujita M., Fujita Y., Takasaki H., Osakabe Y., Yamaguchi-Shinozaki K., Kobayashi M., & Shinozaki K. (2013). Characterization of the promoter region of an Arabidopsis gene for 9-cis epoxycarotenoid dioxygenase involved in dehydration-inducible transcription. *DNA Research* 20: 315-324.

- Bewley J. & Black M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press: New York.
- Bhargava S. & Sawant K. (2013). Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding* 132: 21-32.
- Bibi A., Oosterhuis D., & Gonias E. (2008). Photosynthesis, quantum yield of photosystem II and membrane leakage as affected by high temperatures in cotton genotypes. *Journal of Cotton Science* 12: 150-159.
- Blum A. (2005). Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential: are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1159-1168.
- Bolaños J. & Edmeades G. (1996). The importance of anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research* 48: 65-80.
- Carillo P. & Gibon Y. (2011). Extraction and determination of proline. (<http://prometheuswiki.org/tiki-index.php?page=Extraction+and+determination+of+proline&highlight=carri%20llo%20y%20gibon>)
- Chae L., Sudatb S., Dudoitb S., Zhuc T., & Luana S. (2009). Diverse transcriptional programs associated with environmental stress and hormones in the Arabidopsis receptor-like kinase gene family. *Molecular Plant* 2: 84-107.
- Chaves M., Flexas J., & Pinheiro C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany* 103: 551-560.
- Cheeseman, J. (2007). Hydrogen peroxide and plant stress: a challenging relationship. *Plant Stress* 1: 4-15.
- Chen D., Wang S., Cao B., Cao D., Leng G., Li H., Yin L., Shan L., & Deng X. (2016). Genotypic Variation in Growth and Physiological Response to Drought Stress and Re-Watering Reveals the Critical Role of Recovery in Drought Adaptation in Maize Seedlings. *Frontiers in Plant Science* 6: 1241.

- CONAGUA. (2016). Monitor de Sequía en México (MSM). Mayo 1, 2016, de Comisión Nacional del Agua Sitio web: [http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20&Itemid=74](http://smn1.conagua.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=74)
- DaCosta M. & Huang B. (2006). Osmotic adjustment associated with variation in bentgrass tolerance to drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131: 338-344.
- Delauney A. & Verma D. (1993). Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *The Plant Journal* 4: 215-223.
- Demmig-Adams B. & Adams W. (2006). Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. *New Phytologist* 171: 11-21.
- Deng X., Phillips J., Meijer A., Salamini F., & Bartels D. (2002). Characterization of five novel dehydration-responsive homeodomain leucine zipper genes from the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. *Plant Molecular Biology* 9: 601-610.
- Drobak B. & Watkins P. (2000). Inositol (1,4,5) trisphosphate production in plant cells: an early response to salinity and hyperosmotic stress. *FEBS Letters* 481: 240-244.
- Endo A., Koshiba T., Kamiya Y., & Nambara E. (2008). Vascular system is a node of systemic stress responses. *Plant Signaling & Behavior* 3: 1138-1140.
- FAO, SAGARPA. (2012). México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. México DF. 439 pp.
- Gaxiola RA., Li J., Undurraga S., Dang LM., Allen GJ., Alper SL., & Fink GR. (2001). Drought and salt-tolerant plants result from overexpression of the AVP1 H1 pump. *PNAS* 98: 11444-11449.
- Ge T., Sui F., Bai L., Tong C., & Sun N. (2012). Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. *Acta Physiologiae Plantarum* 34: 1043-1053.

- Greive C. & Grattan S. (1983). Rapid assay for determination of water-soluble quaternary amino compounds. *Plant Soil* 70: 303-307.
- Guo Y & Tan J. (2015). Recent Advances in the Application of Chlorophyll a Fluorescence from Photosystem II. *Photochemistry and Photobiology* 91: 1-14.
- Hale M. & Orcutt D. (1987) *The Physiology of Plants under stress*. United States of America: Wiley.
- Hanson J. & Smeeckens S. (2009). Sugar perception and signaling- an update. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 562-567.
- Hayano-Kanashiro C., Calderón-Vázquez C., Ibarra-Laclette E., Herrera-Estrella L., & Simpson J. (2009). Analysis of Gene Expression and Physiological Responses in Three Mexican Maize Landraces under Drought Stress and Recovery Irrigation. *PLoS ONE* 4.
- Hill C. & Li C. (2016). Genetic Architecture of Flowering Phenology in Cereals and Opportunities for Crop Improvement. *Frontiers in Plant Science* 7: 1906.
- Hirayama T. & Shinozaki K. (2007). Perception and transduction of abscisic acid signals: keys to the function of the versatile plant hormone ABA. *TRENDS in Plant Science* 12: 343-350.
- Hsaio T., & Xu L. (2000). Sensitivity of growth roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany* 51: 1596-1616.
- Hu H. & Xiong L. (2014). Genetic engineering and breeding of drought- resistant crops. *Annual Review Plant Biology* 65: 715-741.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change* ([https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf))
- Iturriaga G., Leyns L., Villegas A., Gharaibeh R., Salamini F., & Bartels D. (1996). A family of novel myb-related genes from the resurrection plant *Craterostigma plantagineum* are specifically expressed in callus and roots in response to ABA or desiccation. *Plant Molecular Biology* 32: 707-716.

- Iturriaga G., Gaff D.F., & Zentella R. (2000). New desiccation-tolerant plants, including a grass, in the central highlands of Mexico, accumulate trehalose. *Australian Journal of Botany* 48: 153-158.
- Iturriaga G., Suárez R., & Nova-Franco B. (2009). Trehalose Metabolism: From Osmoprotection to Signaling. *International Journal of Molecular Sciences* 10: 3793-3810.
- Iuchi S., Kobayashi M., Taji, T., Naramoto M., Seki M., & Kato T. (2001). Regulation of drought tolerance by gene manipulation of 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase, a key enzyme in abscisic acid biosynthesis in *Arabidopsis*. *Plant Journal* 27: 325-333.
- Kakumanu A., Ambavaram M., Klumas C., Krishnan A., Batlang U., Myers E., Grene R., & Pereira A. (2012). Effects of Drought on Gene Expression in Maize Reproductive and Leaf Meristem Tissue Revealed by RNA-Seq. *Plant Physiology* 160: 846-876.
- Kemble A. & MacPherson H. (1954). Liberation of Amino Acids in Perennial Rye Grass During Wilting. *Biochemical Journal* 58: 46-49.
- Kobayashi A., Takahashi A., Kakimoto Y., Miyazawa Y., Fuji N., Higashitani A., & Takahashi H. (2007). A gene essential for hydrotropism in roots. *PNAS* 104: 4724-4729.
- Lawlor D. & Cornic G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environment* 25: 27-294.
- Lawlor D. & Paul M. (2014). Source/sink interactions underpin crop yield: the case for trehalose 6-phosphate/SnRK1 in improvement of wheat. *Frontiers in Plant Science* 5: 418.
- Lawlor D. & Tezara W. (2009). Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Annals of Botany* 103: 561-579.
- Legaria J., Rajsbaum R., Muñoz-Clares R., Villegas-Sepúlveda N., Simpson J., & Iturriaga G. (1998). Molecular characterization of two genes encoding

- betaine aldehyde dehydrogenase from amaranth. Expression in leaves under short-term exposure to osmotic stress or abscisic acid. *Gene* 218: 69-76.
- Liu Y., Zhou M., Gao Z., Ren W., Yang F., He H., & Zhao J. (2015). RNA-Seq Analysis Reveals MAPKKK Family Members Related to Drought Tolerance in Maize. *PLoS One* 10.
- Lugojan C. & Ciulca S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology* 15: 173-177.
- Maiti R. & Satya P. (2014). Research advances in major cereal crops for adaptation to abiotic stresses. *GM Crops & Food* 5: 259-279.
- McNutt M. (2013). Climate Change Impacts. *Science* 341: 435.
- Mishra A. & Singh V. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391: 202-216.
- Müller M & Munné-Bosch S. (2015). Ethylene Response Factors: A Key Regulatory Hub in Hormone and Stress Signaling. *Plant Physiology* 169: 32-41.
- Nakashima K., Yamaguchi-Shinozaki K., & Shinozaki K. (2014). The transcriptional regulatory network in the drought response and its crosstalk in abiotic stress responses including drought, cold, and heat. *Frontiers in Plant Science* 5: 170.
- Nelson D., Repetti P., Adams T., Creelman R., Wu J., Warner D., Anstrom D., Bensen R., Castiglioni P., Donnarummo M., Hinchey B., Kumimoto R., Maszle D., Canales R., Krolikowski K., Dotson S., Gutterson N., Ratcliffe O., & Heard J. (2007). Plant nuclear factor Y (NF-Y) B subunits confer drought tolerance and lead to improved corn yields on water-limited acres. *PNAS* 104: 16450-16455.
- Niyogi K. (1999). Photoprotection revisited: genetic and molecular approaches. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 333-359.
- Nunes C., O'Hara L., Primavesi L., Delatte T., Schluempmann H., Somsen G., Silva A., Fevereiro P., Wingler A., & Paul M. (2013). The trehalose 6-



- phosphate/SnRK1 signaling pathway primes growth recovery following relief of sink limitation. *Plant Physiology* 162: 1720-1732.
- ONU. (1994). United Nations Convention to Combat Drought and Desertification in Countries Experiencing Serious Droughts and/or Desertification, Particularly in Africa. Paris.
- Osakabe Y., Osakabe K., Shinozaki K., & Tran L. (2014). Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-8.
- Parent B., Hachez C., Redondo E., Simonneau F., Chaumont F., & Tardieu F. (2009). Drought and abscisic acid effects on aquaporin content translate into changes in hydraulic conductivity and leaf growth rate: a trans-scale approach. *Plant Physiology* 149: 2000-2012.
- Quan R., Shang M., Zhang H., Zhao Y., & Zhang J. (2004a). Improved chilling tolerance by transformation with *betA* gene for the enhancement of glycinebetaine synthesis in maize. *Plant Science* 166: 141-149.
- Quan R., Shang M., Zhang H., Zhao Y., & Zhang J. (2004b). Engineering of enhanced glycine betaine synthesis improves drought tolerance in maize. *Plant Biotechnology Journal* 2: 477-486.
- Reyes P. (1990). El maíz y su cultivo. México: AGT editor.
- Ritchie S., Hanway J., & Benson G. (1986). How a Corn Plant Develops. Iowa State University of Science and Technology, Ames Iowa.
- Rodríguez G. & Juárez C. (2011). Impacto de la Sequía sobre los Mercados Agropecuarios en México (2011). *Economía actual* 4: 26-29.
- Rodríguez-Salazar J., Suarez R., Caballero-Mellado J., & Iturriaga G. (2009). Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. *FEMS Microbiology Letters* 296: 52-59.
- Sakamoto A. & Murata N. (2002). The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. *Plant Cell Environment* 25: 163-171.
- Santamaría J., Hernández-Portilla D., Chi-Manzanero B., Espadas F, Castaño E., Iturriaga G., & Rodríguez-Zapata L. (2009). Incorporation of two

- trehalose biosynthetic genes in banana increases trehalose levels and protects the photosynthetic apparatus from salt-stress damage. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 84: 665-671.
- SAS [software]. (2012). [https://www.sas.com/es\\_mx/software/university-edition.html](https://www.sas.com/es_mx/software/university-edition.html)
- Schluepmann H., Pellny T., van Dijken A., Smeekens S., & Paul M. (2003). Trehalose 6-phosphate is indispensable for carbohydrate utilization and growth in *Arabidopsis thaliana*. *PNAS* 100: 6849-6854.
- Sekhon R., Lin H., Childs K., Hansey C., Buell C., de Leon N., & Kaepler S. (2011). Genome-wide atlas of transcription during maize development. *The Plant Journal* 66: 553-563.
- Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agro-biotec. Recuperado de <http://www.isaaa.org/>
- Shao B., Chu L., Lu Z., & Kang C. (2008). Primary antioxidant free radical scavenging and redox signaling pathways in higher plant cells. *International Journal of Biological Sciences* 4: 8-14.
- Sheard L., & Zheng N. (2009). Signal advance for abscisic acid. *Nature* 462: 575-576.
- Smart R. & Bingham G. (1974). Rapid Estimates of Relative Water Content. *Plant Physiology* 53: 258-260.
- Soltys-Kalina D., Plich J., Strzelczyk-Żyta D., Śliwka J., & Marczewski W. (2016). The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of 'Katahdin'-derived potato cultivars. *Breeding Science* 66: 328-331.
- Song W., Zhao H., Zhang X., Lei L., & Lai J. (2016). Genome-Wide Identification of VQ Motif-Containing Proteins and their Expression Profiles Under Abiotic Stresses in Maize. *Frontiers in Plant Science* 6: 1177.
- Suárez R., Calderón C., & Iturriaga G. (2009). Enhanced tolerance to multiple abiotic stresses in transgenic alfalfa accumulating trehalose. *Crop Science* 49: 1791-1799.

- Takeda S. & Matsuoka M. (2008). Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. *Nature Reviews* 9: 444-457.
- Tena G., Asai T., Chiu W., & Sheen J. (2001). Plant mitogen-activated protein kinase signaling cascades. *Current Opinion in Plant Biology* 4: 392-400.
- Thameur A., Ferchichi A., & López-Carbonell M. (2011). Quantification of free and conjugated abscisic acid in five genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water stress conditions. *South African Journal of Botany* 77: 222-228.
- Thatcher S., Danilevskaia O., Meng X., Beatty M., Zastrow-Hayes G., Harris C., Van B., Habben J., & Li B. (2016). Genome-Wide Analysis of Alternative Splicing during Development and Drought Stress in Maize. *Plant Physiology* 170: 586-599.
- Tung S., Smeeton R., White C., Black C., Taylor I., & Hilton H. (2008). Over-expression of LeNCED1 in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with the rbcS3C promoter allows recovery of lines that accumulate very high levels of abscisic acid and exhibit severe phenotypes. *Plant Cell Environment* 31: 968-981.
- Tuteja N. & Sopory S. (2008). Chemical signaling under abiotic stress environment in plants. *Plant Signaling & Behavior* 3: 525-536.
- Umezawa T., Fujita M., Fujita Y, Yamaguchi-Shinozaki K., & Shinozaki K. (2006). Engineering drought tolerance in plants: discovering and tailoring genes to unlock the future. *Current Opinion in Biotechnology* 17: 113-122.
- Velázquez-Márquez S., Conde-Martínez V., Trejo C., Delgado-Alvarado A., Carballo A., Suárez R., Mascorro J.O., & Trujillo A.R. (2015). Effects of water deficit on radicle apex elongation and solute accumulation in *Zea mays* L. *Plant Physiology and Biochemistry* 96: 29-37.
- Villalobos M., Bartels D., & Iturriaga G. (2004). Stress Tolerance and Glucose Insensitive Phenotypes in Arabidopsis Overexpressing the *CpMYB10* Transcription Factor Gene. *Plant Physiology* 135: 309-324.

- Wang Z., Chen L., Ai J., Qin H., Liu Y., Xu P., Jiao Z., Zhao Y., & Zhang Q. (2012). Photosynthesis and activity of photosystem II in response to drought stress in Amur Grape (*Vitis amurensis* Rupr.) *Photosynthetica* 50: 189-196.
- Wei K. & Pan S. (2014). Maize protein phosphatase gene family: identification and molecular characterization. *BMC Genomics* 15: 773.
- Welcker C., Boussuge B., Bencivenni C., Ribaut J-M., & Tardieu F. (2007). Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit? A QTL study of the responses of leaf growth and of Anthesis-Silking Interval to water deficit. *Journal of Experimental Botany* 58: 339-349.
- Wilkinson S. & Davies W. (2010). Drought, ozone, ABA and ethylene: new insights from cell to plant to community. *Plant, Cell and Environment* 33: 510-525.
- Xiong L., Schumaker K., & Zhu J. (2002). Cell signaling during cold, drought, and salt stress. *Plant Cell* 14: S165-S183.
- Xiong L., Wang R., Mao G., & Koczan J. (2006). Identification of drought tolerance determinants by genetic analysis of root response to drought stress and abscisic acid. *Plant Physiology* 142: 1065-1074.
- Xu J., Yuan Y., Xu Y., Zhang G., Guo X., Wu F., Wang Q., Rong T., Pan G., Cao M., Tang Q., Gao S., Liu Y., Wang J., Lan H., & Lu Y. (2014). Identification of candidate genes for drought tolerance by whole-genome resequencing in maize. *BMC Plant Biology* 14: 83.
- Yamaguchi-Shinozaki K. & Shinozaki K. (2006). Transcriptional regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses. *Annual Review of Plant Biology* 57: 781-803.
- Yang S., Vanderbeld B., Wan J., & Huang Y. (2010). Narrowing down the targets: towards successful genetic engineering of drought-tolerant crops. *Molecular Plant* 3: 469-490.
- Yoshida T., Fujita Y., Sayama H., Kidokoro S., Maruyama K., Mizoi J., Shinozaki K., & Yamaguchi-Shinozaki K. (2010). AREB1, AREB2, and ABF3 are

master transcription factors that cooperatively regulate ABRE-dependent ABA signalling involved in drought stress tolerance and require ABA for full activation. *Plant Journal* 61: 672-685.

Zentella R., Mascorro-Gallardo JO., Van Dijck P., Folch-Mallol J., Bonini B., Van Vaeck C., Gaxiola R., Covarrubias AA., Nieto-Sotelo J., & Thevelein JM. (1999). A *Selaginella lepidophylla* trehalose-6-phosphate synthase complements growth and stress-tolerance defects in a yeast *tps1* mutant. *Plant Physiology* 119: 1473-1482.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE SEMILLA EN FUNCIÓN DEL  
MÉTODO Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN CEBADA**

**QUE PRESENTA**

**DIANA MATA ARROYO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN  
Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ  
CO-DIRECTOR: DR. MIGUEL ANGEL ÁVILA PERCHES**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.**

**ENERO, 2017**

La tesis “COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO Y CALIDAD DE SEMILLA EN FUNCIÓN DEL MÉTODO Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN CEBADA”, fue realizada por la alumna **Diana Mata Arroyo**, bajo la dirección del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y Dr. Miguel Ángel Ávila Perches; asesoría del Dr. Enrique Andrio Enríquez y Dr. Gilberto Rodríguez Pérez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**  
**Cédula: 6758831**

**Asesor:**

---

**Dr. Enrique Andrio Enríquez**  
**Cédula: 8125558**

**Asesor:**

---

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez**  
**Cédula: 8612050**

## DEDICATORIA

*Con todo mi amor y mi cariño para las personas que hicieron todo para que yo pudiera lograr esta meta, un sueño anhelado, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.*

*Mamá: Rafaela;*

*Hermanas: Liliana y Marisol;*

*Sobrinos: Rafael y Naomi*

*y a mis angelitos el*

*Sr. Frumencio y Sra. Josefina*

**¡GRACIAS!**



## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente quiero darle las gracias a Dios por darme su mano cuando más me sentía sola, me doto de inteligencia y me ilumino para terminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mi madre, gracias por todo lo que me has dado, por esos esfuerzos para que terminara esta etapa, por tu apoyo y ánimo fue la fortaleza para seguir adelante.

A mis hermanas y sobrinos ya que ellos pusieron su granito de arena para que estuviera yo aquí, aparte de darme sonrisas, ánimos y grandes alegrías para que me sintiera con ánimos para seguir.

Instituto Tecnológico de Roque por brindarme la oportunidad de superarme, donde tome mi formación profesional e impartir conocimientos durante los años que estuve en esta institución. Y sobre todo a los profesores que han influido en mi formación académica.

A mi Director de tesis, Dr. Francisco Cervantes, por haberme dado la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, los consejos y enseñanzas que me ha venido guiando académicamente y como persona, la paciencia para cumplir con este trabajo de investigación, gracias por su conocimiento y ayuda.

Al Co-director de tesis, Dr. Miguel Angel Avila Perches, persona característica por sus amplios conocimientos, el cual se arriesgó a enseñarme un poco de lo mucho que sabe, le agradezco por todo, por su apoyo incondicional y paciencia, gracias por todo usted aparte de ser mi codirector de esta tesis se volvió mi amigo el cual me supo aconsejar en cada momento cuando lo necesite, gracias por todo Doctor.

A mis revisores de tesis, Dr. Enrique Andrio Enríquez, Dr. Gilberto, Rodriguez, por sus sugerencias y paciencia para la escritura de este trabajo así como los consejos enseñanzas, experiencias, conocimientos en los momento que los requerí, gracias por el tiempo invertido y sus sabias sugerencias.

Al equipo de trabajo de cebada de INIFAP, al Dr. Mauro Zamora, Mtro, Salomon, Mtro. Armando, Mtra. Martha, Sra. Tere.

También quiero agradecer aunque no estuviera dentro de mi equipo de trabajo al Dr. Cesar Aguirre el cual me dio su apoyo incondicional y aunque por mis mil defectos no dejo de creer en mí, gracias Doctor usted me apporto mucha sabiduría tanto académica como profesional y personal muchas gracias.

A mis angelitos, la Sra. Josefina y al Sr. Frumencio por que sin sus enseñanzas no me hubiera sentido capaz para lograr esta meta, gracias mis viejitos por adoptarme como su hija jamás los olvidare, ustedes son mis grandes y fuertes angelitos, mas por mí no me atrevo a pedirles, GRACIAS.

A mis primos hermanos Cristian, Cesar y mis tíos que son como mis hermanos Catalina, Gabino, Miguel, Paz, Gabriela, Josefina, Frumencio, Ricardo, Andrea gracias por creer en mí.

A mis amigos de toda mi vida Ma. Ana, Anilu, América, Diana T, Sra. Ana, Marisol, Yeimi, Cristina, Jonatán, Coral, Pedro y mis angelitos Nancy, Hugo, que estuvieron apoyándome, dándome ánimos para que llegara hasta aquí, que sin sus distracciones no hubiera llegado hasta aquí y me hubiera vuelto loca, ¡gracias amigos! los amo.

A los queridísimos amigos de Roque, Rosario, Cristina, Marisol, Dulce, Marlen, Clara, Noe, Gustavo, Rolando, Víctor, Alberto, Paula, Caín, Picón, Ana, Gilberto, Sra. Isa, un sinfín de personas que conocí, gracias por sus momentos, sus palabras de aliento, por

compartir cosas buenas y malas conmigo, en verdad gracias por su paciencia, amistad y locuras que compartimos, gracias por el placer que me otorgaron jamás los olvidare.

A las personas que conocí en Roque e INIFAP, entre otros quienes me otorgaron la oportunidad de convivir con ellos entre sonrisas y pláticas, que me dieron ánimos y enseñanzas. Gracias.

## ÍNDICE

ÍNDICEi	
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	viii
SUMMARY .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
2.3. Hipótesis .....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
3.1. Importancia del cultivo de cebada.....	4
3.1.1. Producción mundial .....	5
3.1.2. Producción nacional.....	7
3.1.3. Producción de semilla de cebada en Guanajuato.....	9
3.2. Clasificación y taxonomía de cebada.....	11
3.3. Características botánicas de la cebada .....	12
3.4. Fenología de la planta de cebada maltera .....	14
3.5. Requerimientos del cultivo .....	17
3.5.1. Temperatura .....	17
3.5.2. Requerimiento hídrico y ciclo del cultivo .....	18

3.5.3.	Fotoperiodo.....	19
3.5.4.	Suelo.....	19
3.6.	Características agronómicas afectadas .....	20
3.6.1.	Densidad.....	20
3.6.2.	Métodos de siembra .....	21
3.6.3.	Variedades.....	22
3.6.4.	Fertilización.....	24
3.6.6.	Control de maleza .....	25
3.6.7.	Cosecha.....	25
3.7.	Calidad en semillas.....	25
3.7.1.	Calidad sanitaria .....	26
3.7.2.	Calidad física.....	26
3.7.3.	Calidad fisiológica .....	27
3.7.4.	Calidad genética .....	28
3.7.5.	Calidad bioquímica .....	28
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
4.1.	Localización .....	31
4.2.	Variedades.....	31
4.3.	Preparación de semillas.....	32
4.4.	Tratamientos y diseño experimental .....	32
4.5.	Siembra y fertilización.....	34
4.5.1.	Riegos.....	34
4.5.2.	Escarda.....	35
4.5.3.	Control de malezas .....	35

4.5.4.	Cosecha.....	35
4.6.	Variables evaluadas.....	35
4.7.	Variables agronómicas.....	36
4.8.	Calidad física de semilla de cebada.....	36
4.8.1.	Peso volumétrico .....	36
4.8.2.	Peso de mil semillas .....	37
4.8.3.	Clasificación por tamaño de la semilla.....	37
4.9.	Calidad fisiológica de las semillas.....	38
4.9.1.	Germinación.....	38
4.9.2.	Vigor.....	38
4.10.	Calidad bioquímica .....	40
4.10.1	Determinación de proteína y almidón.....	40
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
5.1.	Variables agronómicas.....	41
5.1.1.	Variedad.....	42
5.1.2.	Método .....	44
5.1.3.	Densidad.....	44
5.1.4.	Interacción entre factores.....	45
5.2.	Calidad física de la semilla.....	45
5.2.1.	Método .....	47
5.2.2.	Densidad.....	48
5.3.	Calidad fisiológica de la semilla .....	48
5.3.1.	Variedades.....	49
5.3.2.	Método de siembra .....	50

5.3.3. Densidad.....	50
5.4. Calidad química de la semilla .....	50
5.4.1. Variedad.....	51
VI. CONCLUSIONES .....	53
VII. LITERATURA CITADA .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

No.	Descripción	Pág.
Tabla 3.1	Clasificación taxonómica de cebada (USDA, 2012; Castillo, 2012).	11
Tabla 3.2	Parámetros normativos de certificación.	29
Tabla 4.1	Factores y niveles de estudio para la evaluación de tres variedades de cebada maltera, dos métodos de siembra y tres densidades.	34
Tabla 5.1	Cuadrados medios del análisis de varianza del comportamiento agronómico de tres variedades cebada en relación al método y densidad de siembra	42
Tabla 5.2	Comparación de medias de variables agronómicas de tres variedades de cebada maltera.	43
Tabla 5.3	Cuadrados medios del análisis de varianza de los análisis físicos de tres variedades cebada en relación al método de siembra.	45
Tabla 5.4	Comparación de medias de variables agronómicas de tres variedades de cebada maltera.	47
Tabla 5.5	Comparación de medias de dos métodos de siembra de cebada maltera para semilla comercial.	47
Tabla 5.6	Comparación para peso mil semillas de tres densidades de siembra en cebada maltera.	48
Tabla 5.7	Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad fisiológica de semilla en tres variedades cebada en relación al método y densidad de siembra.	49
Tabla 5.8	Comparación de medias de variables de calidad fisiológica de tres variedades de cebada maltera.	50



Tabla 5.9	Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad química de tres variedades cebada en relación al método de siembra	51
Tabla 5.10	Comparación de medias de variables de calidad química de tres variedades de cebada maltera.	52

**ÍNDICE DE FIGURAS**

No.	Descripción	Pág.
Figura 3.1	Producción de cebada de acuerdo a las regiones del mundo por la importancia de producción	5
Figura 3.2	Producción de los cinco países principales de cebada en el mundo	6
Figura 3.3	Principales países con los mejores promedios de rendimiento por hectárea con su producción total	6
Figura 3.4	Los cinco principales países productores de semilla de cebada.	7
Figura 3.5	Producción nacional de cebada forrajera en verde de los tres principales estados.	8
Figura 3.6	Principales tres estados productores de grano de cebada nacional.	8
Figura 3.7	Morfología de la planta de cebada y la estructura de tallos y hojas de la planta de cebada.	14
Figura 3.8	Estructura del grano/ semilla de cebada, (Gigliarelli, 2005), (UNAM, 2011) a) Barba, b) Pericarpio y testa, c) Capa aleurona, d) Glumilla dorsal, e) Plúmula, f) Micrópilo, g) Raicillas, h) Glumilla ventral, i) Escutelo, j) Endospermo amiláceo, k) Cascarilla	15
Figura 3.9	Fenología de la planta de cebada.	18

## RESUMEN

La semilla con buena calidad representa un insumo estratégico por excelencia que permite sustentar las actividades agrícolas contribuyendo significativamente a mejorar su producción en términos de calidad y rentabilidad. Para obtener lo anterior, resulta importante generar tecnología específica que permita aumentar el rendimiento y la calidad de semilla. Es por ello que dentro del presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad de semilla de cebada en función a dos métodos de siembra (camas y doble hilera), tres densidades de siembra (80, 120, 160 Kg·ha<sup>-1</sup>) y tres variedades de cebada (Alina, Esperanza, Esmeralda). El ensayo se estableció en el ciclo Otoño–Invierno 2014-2015, donde se utilizó un diseño bloques completos al azar con arreglo factorial, con cuatro repeticiones. Las variables agronómicas y de calidad registradas fueron: rendimiento (RS), altura de planta (AP), Longitud de espiga (LE), Espigas por m<sup>2</sup> (Em<sup>2</sup>), semillas por espiga (SE) peso de mil semillas, peso volumétrico (PV) y clasificación de semilla basada en tamaño de cribas (2.57 mm x 19.05 mm, 2.38 mm x 19.05 mm y 2.18 mm x 19.05 mm), germinación, vigor, contenido de proteína y almidón. Los resultados mostraron que para las variables agronómicas se encontraron diferencias entre variedades en rendimiento, espigas por metro cuadrado y semillas por espiga, donde la variedad Esmeralda expresó la mejor respuesta. Por otro lado, el método y densidad de siembra no modificaron estas características agronómicas. En las variables evaluadas de calidad física. En la calidad fisiológica de la semilla se presentó efecto estadístico solo para plántulas anormales y finalmente, la calidad química de la semilla expresó cambios por efecto de la variedad.

## SUMMARY

The seed with good quality represents a strategic input par excellence that allows to sustain the agricultural activities contributing significantly to improve its production in terms of quality and profitability. In order to achieve this, it is important to generate specific technology to increase seed yield and quality. The objective of this study was to evaluate the quality of barley seed according to two methods of sowing (beds and double row), three planting densities (80, 120, 160 kg · ha<sup>-1</sup>) and three varieties of barley (Alina, Esperanza, Esmeralda). The trial was established in the Fall-Winter cycle 2014-2015, where a randomized complete block design with factorial arrangement was used, with four replicates. The agronomic and quality variables were: grain yield (RG), plant height (AP), ear length (LE), spikes per m<sup>2</sup> (Em<sup>2</sup>), seeds per spike (SE) weight of thousand seeds, volumetric weight (PV) and seed classification based on sieve size (2.57 mm x 19.05 mm, 2.38 mm x 19.05 mm y 2.18 mm x 19.05 mm), germination, vigor, protein content and starch. The results showed that for the agronomic variables differences between yield, spikes per square meter and seeds per spike were found, where the emerald variety expressed the best response. On the other hand, the method and density of sowing did not modify these agronomic characteristics. In the evaluated variables of physical quality. In the physiological quality of the seed, statistical effect was presented only for abnormal seedlings and finally, the chemical quality of the seed expressed changes due to the variety.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cebada (*Hordeum vulgare L.*) es considerado como el cultivo más antiguo utilizado por el hombre; originario de Asia, del cual se han encontrado vestigios de su cultivo que señalan su utilización en los inicios de la civilizaciones desde hace 5 a 10 mil años en culturas como Babilónica, Egipcia y China (Fenalce, 2011).

En México, la cebada es de gran importancia debido a la demanda por la industria cervecera (750,000 t); además es la principal materia prima para la elaboración de malta, donde se ocupa una superficie próxima de siembra de 300 mil hectáreas al año con un rendimiento de 2.49 t ha<sup>-1</sup>. La producción de dicho cereal se concentra en la temporada de Primavera-Verano en valles altos; Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Estado de México. En Otoño-Invierno la producción se concentra en la zona del Bajío; dentro de estos, son los estados de Michoacán, Jalisco, Querétaro y Guanajuato (Gómez *et al.*, 2006; SAGARPA, 2014).

La disponibilidad de semilla de calidad es gran importante para el sector agrícola en México. La zona del Bajío; abarca los estados de Guanajuato y Querétaro, donde se produce la mayor proporción de semilla del país, ocupando el 85% del área sembrada con un rendimiento promedio de 5.2 t ha<sup>-1</sup>, Guanajuato es el principal productor de semilla de cebada donde una cuarta parte de toda la producción se siembra en condiciones de riego (1, 620 ha) y el resto en el ciclo Otoño-Invierno (O/I) (Ramírez, 2013; SIAP 2014).

En la zona de El Bajío se siembran las principales variedades Esperanza, Armida y Alina; estas dos últimas liberadas en el 2005 y en valles altos, la variedad Esmeralda, Josefa y Adabella, esta última es la variedad más reciente, liberada en el 2004; estas son únicas opciones de producción de grano comercial en México, lo que a los productores los lleva a utilizar estas variedades que se consideran viejas. Al igual

encontramos la existencia de algunos problemas como la escasez de lluvias, precios reducidos e incidencia de plagas y enfermedades que demandan realizar investigaciones para mejorar las condiciones en la producción de semilla y ocupar menor volumen de agua e insumos (Gámez, 2006; Arreola *et al.*, 2010).

Por otro lado, se han buscado alternativas para el cultivo de cebada como es la siembra en hileras, que en comparación con el sistema tradicional (convencional) de melgas, existen algunas ventajas comparativas; con un ahorro del 50% en la utilización de semillas, 35% disponibilidad de agua y 40% en la aplicación de plaguicidas, además de permitir el desarrollo de tallos vigorosos con lo que se puede disminuir el acame y compatibilidad con los sistemas de labranza de conservación (con menos uso de maquinaria), además de obtener altos rendimientos y calidad (Gámez, 2006; Solano y Zamora, 2009).

Además del mejoramiento genético, que se han visto notables cambios en el mejoramiento de las cosechas, es importante evaluar la siembra y el producto obtenido sobre los parámetros de calidad para obtener granos o semilla de calidad que puedan abastecer a la industria maltera.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Evaluar caracteres agronómicos, calidad física, fisiológica y química de la semilla de tres variedades de cebada mediante la evaluación de diferentes métodos y densidad de siembra.

### 2.2. Objetivos específicos

- Analizar los caracteres agronómicos del cultivo de tres variedades de cebada bajo dos métodos y tres densidades de siembra.
- Determinar tamaño, peso volumétrico, peso de mil semillas en cebada, establecidos bajo diferente método y densidad de siembra.
- Evaluar la calidad fisiológica de la semilla de cebada obtenida bajo diferentes métodos y densidad de siembra.
- Estimar el contenido de proteína y de almidón en semillas de cebada establecida en diferentes métodos y densidad de siembra.

### 2.3. Hipótesis

- El método de siembra modifica el comportamiento agronómico, rendimiento de grano y calidad de semilla en cebada
- Existen diferencias en los caracteres físicos de semilla en métodos de siembra y densidades en cebada.
- El contenido de proteína y de almidón es afectado por el método y densidad de siembra en cebada.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Importancia del cultivo de cebada

La cebada (*Hordeum vulgare*), es uno de los cultivos más utilizado por los antiguos agricultores como alimento para ganado, personas, aves de corral (Pourkherirandish y Komatsuda, 2007), también ha desempeñado un papel importante en el desarrollo humano, en la agricultura, civilizaciones, culturas y en ciencias como agronomía, fisiología y mejoramiento genético para el proceso de malteado y elaboración de cerveza (Ullrich, 2011).

Este cultivo es conocido desde tiempos remotos, procede de dos centros de origen situados en el sudeste de Asia y África. Se cree que fue una de las primeras plantas domesticadas al comienzo de la agricultura. En excavaciones arqueológicas realizadas en el Valle del Nilo se descubrieron restos de cebada, en torno a los 15,000 años de antigüedad, además de que los descubrimientos también indican el uso muy temprano del grano de cebada molido (INFOAGRO, 2011).

Los primeros panes que consumió el hombre, fueron a base de cebada, estos eran oscuros y algo pesados, razón por la cual el trigo tomó, luego su lugar. Sin embargo, en algunas regiones no se dejó de utilizar, como en el caso del pan ácimo consumido en Medio Oriente, citado en la Biblia, en Norteamérica, la cebada fue cultivada por vez primera por colonos alemanes y españoles hacia el año 1602 (SIAP, 2014).

La cebada es un cereal de maduración precoz con buen potencial de rendimiento de grano. Se puede encontrar en ambientes muy diversos, incluyendo los extremos de latitud y longitud donde otros cultivos no se adaptan (Sun y Gong, 2010). Por lo regular la cebada se produce en zonas templadas con siembras de invierno o primavera y en climas semiaridos subtropicales con siembras de invierno (Ullrich, 2011).



### 3.1.1. Producción mundial

A nivel mundial el cultivo de cebada ocupa un tercer lugar entre los cereales con 14%, lo cual es relevante dentro del mercado; exceptuando el arroz (Maluenda, 2008 y FAO, 2016) posteriormente del trigo (215 millones de ha), Maíz (139 millones de ha) (FAOSTAT, 2012). El departamento de agricultura de Estados Unidos estima que la producción mundial de cebada es de 144.81 millones de toneladas (USDA, 2015). Entre las principales regiones productoras de cebada se encuentran: Europa (85,938,885.00 t), Asia (21,848,232.00 t), América (21,140,862.00 t), Oceanía (7,888,070.00 t) y África (7,143,729.00 t) (Figura 3.1) (FAOSTAT, 2013). Además que la cebada es la principal materia prima para la elaboración de cerveza y otros alimentos (Bustamante *et al.*, 2007; FAOSTAT, 2015).

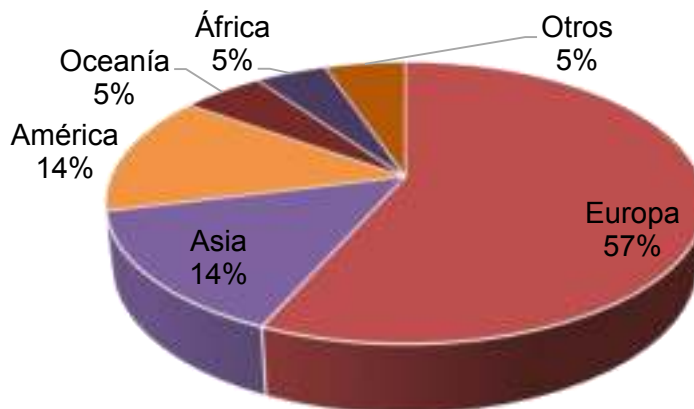


Figura 3.1 Producción mundial de cebada de acuerdo a las regiones del mundo por la importancia de producción. De estas principales regiones se encuentran los siguientes países: Rusia (15,388,704.00 millones t), Alemania (10,343,600.00 millones de t), Francia (10,315,900.00 millones de t), Canadá (10,237,100.00 millones de t.) (Figura 3.2) (FAOSTAT, 2015).

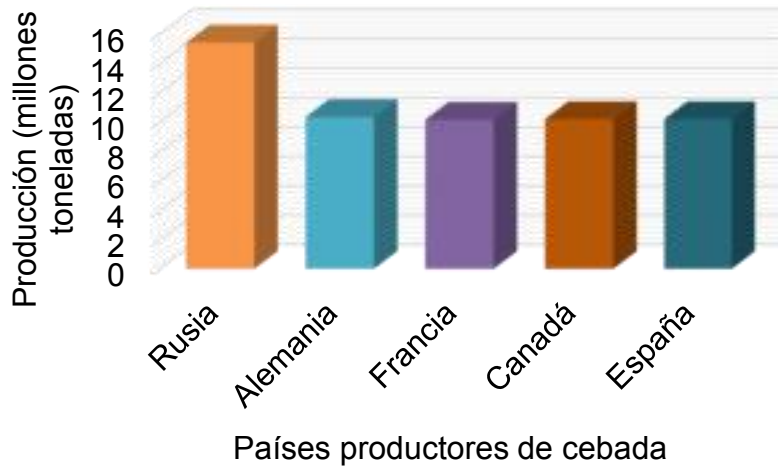


Figura 3.2 Producción de los cinco países principales de cebada en el mundo.

Los países con mayor rendimiento con un producción de: Bélgica (83,252.00 mil t), Emiratos Árabes Unidos (EAU) (78,125.00 mil t), Irlanda (75,798.00 mil t), Zimbabwe (75,00.00 mil t), Arabia Saudita (71,739.00 mil t) (Fig 3.3) (FAOSTAT 2015).

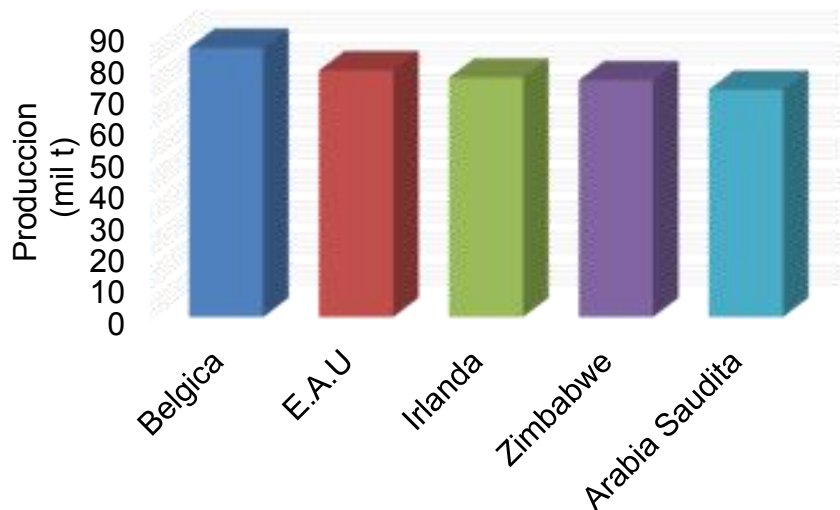


Figura 3.3 Principales países con los mejores promedios de rendimiento por hectárea con su producción total.

Por otro lado, los principales productores de semilla en el 2013 son la Federación de Rusia (2, 700,00.00 millones de t), España (690,000.00 millones de t), Turquía (599,960.00 millones de t), Ucrania (470,000.00 millones de t) y Canadá (320,000.00 millones de t) (Figura 3.4) (FAOSTAT, 2013).

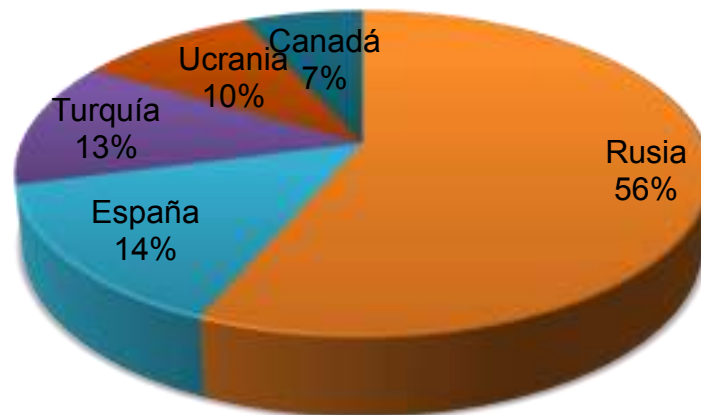


Figura 3.4 Los cinco principales países productores de semilla de cebada.

### 3.1.2. Producción nacional

En México se producen aproximadamente 594,437 mil t de cebada (FAOSTAT, 2013) lo que equivale a nivel mundial al 0.30%, se produce grano de cebada (375,271.69 t), destacando Sonora (99,381.38 t), Hidalgo (77,238.04 t) y Jalisco (73,670.08 t) (figura 3.5); como los principales productores de cebada en grano. Pero Guanajuato (340,826.07 t), Hidalgo (215,083.66 t) y Tlaxcala (96,073.40 t) (figura 3.6) son los principales productores de grano de cebada pero también se caracterizan por su producción de semilla (SIAP, 2014).

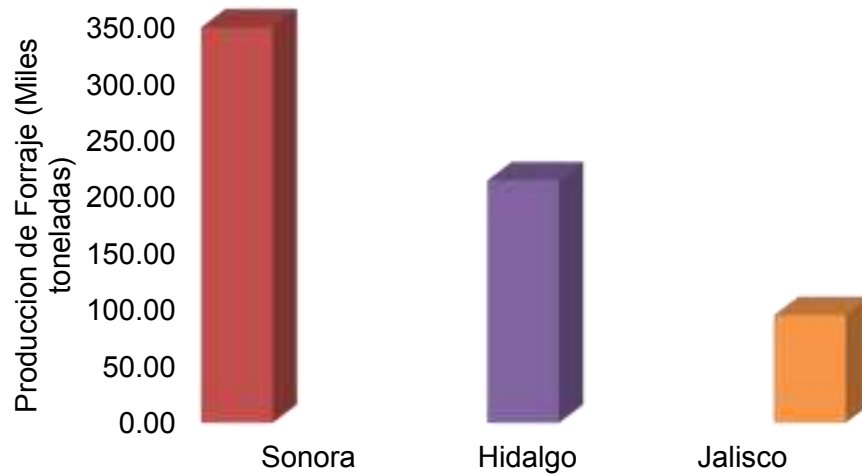


Figura 3.5 Producción nacional de cebada forrajera en verde de los tres principales estados.

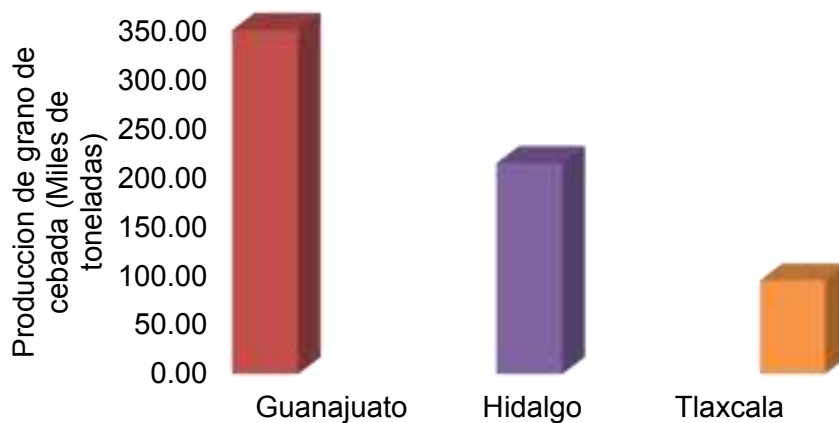


Figura 3.6. Principales tres estados productores de grano de cebada nacional.

La mayoría de la cebada producida en México es de ciclo primavera-verano; lo cual tiene dos usos fundamentales; con un aproximado de 70% de la cebada que se produce es específica para ser utilizada por la industria maltera la cual se encuentra dominada por dos grandes corporativos, Cervecería Modelo y Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma y el 30% restante corresponde a variedades que se utilizan fundamentalmente para la alimentación del ganado (FIRA, 2014).

La consolidación en el mercado nacional y de exportación de las compañías cerveceras en México y el buen posicionamiento de sus productos en los mercados mundiales, han propiciado el desarrollo de una industria de producción de malta en México integrada verticalmente con los fabricantes de cerveza. Esta industria a su vez ha desarrollado sus propias comercializadoras de grano de cebada, las que celebran contratos con los productores agrícolas para la producción de las variedades maltera demandadas para satisfacer la industria (Guanajuato Produce, 2009).

Por lo tanto, los productores y empresas buscan alternativas de producción para incrementar la producción nacional de cebada, que aplican principalmente en las regiones de Bajío (Guanajuato, Querétaro) bajo condiciones de riego, en Valles Altos (Estado de México, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala) mejor llamado el altiplano central; se consideran los más importantes debido a que contribuye con el 56% del grano producido en México bajo condiciones de temporal, además que en estas áreas se encuentran tres de las cuatro agroindustrias maltera del país, caracterizándose así como una zona muy importante en la producción de este grano básico para la elaboración de cerveza (Vázquez 2013) y por último Zacatecas en donde se produce gran parte de la cebada maltera que requiere la industria (SAGARPA, 2012).

### **3.1.3. Producción de semilla de cebada en Guanajuato**

Debido al incremento mundial y nacional del consumo per-cápita de cerveza, la cebada tiene una demanda en constante aumento (González, 2013). Sin embargo, no cualquier variedad de cebada es apta para elaborar cerveza, solamente algunas variedades cumplen los requisitos de calidad señalados por la norma, indispensable para el proceso industrial (Cervecera, 2011). El desarrollo de la cebada maltera, ha dependido de factores tales como la dificultad que tiene la cebada de alcanzar buena calidad con atributos físicos, fisiológicos, genéticos, químicos y sanitarios (Bishaw *et al.*, 2007). Además, la falta de rentabilidad en los sistemas de producción de cereales

ya que cambia la forma de actuar del agricultor; es decir, no solo el hecho de incrementar el rendimiento, sino buscar productos de calidad, siempre y cuando se establezcan mecanismos que reditúen el valor agregado.

Hay que destacar que la industria semillera mexicana esta constituida por agricultores, grandes compañías multinacionales, compañías privadas nacionales, extensiones de investigación pública nacionales y organizaciones de producción de semillas, las mas importantes que se producen en México incluyen cebada, maíz, avena, papa, arroz, soya y trigo, la mayor parte de la semilla utilizada para la producción de granos en el país tiende a ser semilla de uso propio cultivo destinado a producción de grano (Morales *et al.*, 2012)

El Bajío Guanajuatense se considera como la zona óptima para la producción de semilla que abastece la producción de grano de cebada en México tanto en temporal como en riego y no obstante, se siembra el 23% de la superficie con este cereal y contribuye con 40% de la producción nacional que por lo regular se cultiva en valles altos.

Guanajuato, Querétaro, Michoacán y Jalisco se ha experimentado con el cultivo, desde 1960 hasta la fecha se ha generado un fuerte aumento que ha ocasionado la explotación intensiva del suelo y del agua; por ejemplo, aproximadamente el 85% de volumen de agua se destina para el uso agrícola, con una eficiencia global de solo 35% (García *et al.*, 2008). En este sector se ha detectado la mas baja eficiencia de aplicación hidráulica a nivel parcelario, que se le atribuye principalmente al sistema de riego superficial (melgas o surcos) (Ramírez, 2013). Esta región incluye municipios asentados en una planicie con pocas elevaciones inmersa dentro de la Mesa Central Guanajuatense y que ocupa aproximadamente el 27% del Estado. Tradicionalmente se le ha considerado como una zona de alta importancia para las actividades agropecuarias (CONABIO, 2012).

Para el 2010, la superficie sembrada de las diferentes categorías de semilla como registrada y certificada fue aproximadamente de 45 mil ha, con un rendimiento de 5.0 t ha<sup>-1</sup> en promedio; además de las bondades de las condiciones de clima, suelo, agua, alto grado de mecanización, infraestructura y comunicación, entre otros factores, han influido para ser considerada una zona atractiva para producir semillas (INIFAP, 2013). Esto explicaría en parte, el desabasto que sufre la industria cervecera en México y justifica la importación de grano de cebada maltera y la participación de producción del grano de cebada para contribuir con nuevas variedades o tecnologías capaces de satisfacer la demanda industrial (Ramírez, 2013).

### 3.2. Clasificación y taxonomía de cebada

Tabla 3.1. Clasificación taxonómica de cebada (USDA, 2012; Castillo, 2012).

Clasificación	Nombre científico y nombre común
Dominio	Eucaria
Reino	<i>Plantae</i> -Plantas.
Sub reino	<i>Tracheobionta</i> - Planta vascular.
Supervisión	<i>Spermatophyta</i> - Planta con semillas.
División	<i>Magnliophyta</i> - Planta con flores.
Clase	<i>Liliopsida</i> - Monocotiledóneas
Sub-clase	<i>Commelinidae</i> -commelinidas
Orden	<i>Cyperales</i> -Poales
Familia	<i>Poaceae</i> (gramíneas)
Genero	<i>Hordeum</i> -Cebada.
Especie	<i>H. vulgare</i> L. o <i>H. hexastichum</i> <i>H. distichum</i> L o <i>H deficiens</i>

### 3.3. Características botánicas de la cebada

Botánicamente el origen de *Hordeum vulgare* L. se encuentra en *Hordeum spontaneum* (silvestre) la cual crece en Oriente Medio, que se caracteriza por tener una espiga de dos hileras, raquis quebradizo y germinación tardía, que se utiliza para la obtención de cerveza.

Dentro de las diferentes variedades utilizadas en México para su producción entre ellas se encuentran variedades que son de seis hileras, recomendadas para ambientes de baja a alta productividad de temporal, primavera-verano y de riego Otoño-Invierno.

El grano es grande, ovoide, con cascarilla bien adherida; la raquilla es corta con vellosidad, las venas laterales son poco rugosas que aparentan espículas, de la mitad del grano hacia abajo tiene rugosidad, el pliegue ventral es poco profundo y a lo largo del grano, las glumas están adheridas al grano (Impulsora Agrícola, 2011).

Las cebadas cultivadas se distinguen por el número de espiguillas que quedan en cada diente del raquis. El cual se identifica si queda solamente la espiguilla intermedia, mientras abortan las laterales, si aborta la espiguilla quedando las dos espiguillas laterales, se tiene la cebada de cuatro carreras llamada *Hordeum tetrastichum*; si se desarrollan las tres espiguillas es la cebada de seis carreras *Hordeum hexastichum* o *vulgare* (Gigliarelli, 2008).

La cebada es una planta de hojas estrechas y color verde claro (Figura 3.6 a y b). La planta suele tener un color verde más claro que el trigo y en los primeros estadios se su desarrollo a comparación con la planta de trigo suele ser más erguida. Se estima que un 60% del peso de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm del suelo y que las raíces apenas alcanzan 1,20 m de profundidad (Agro inversiones 2009).



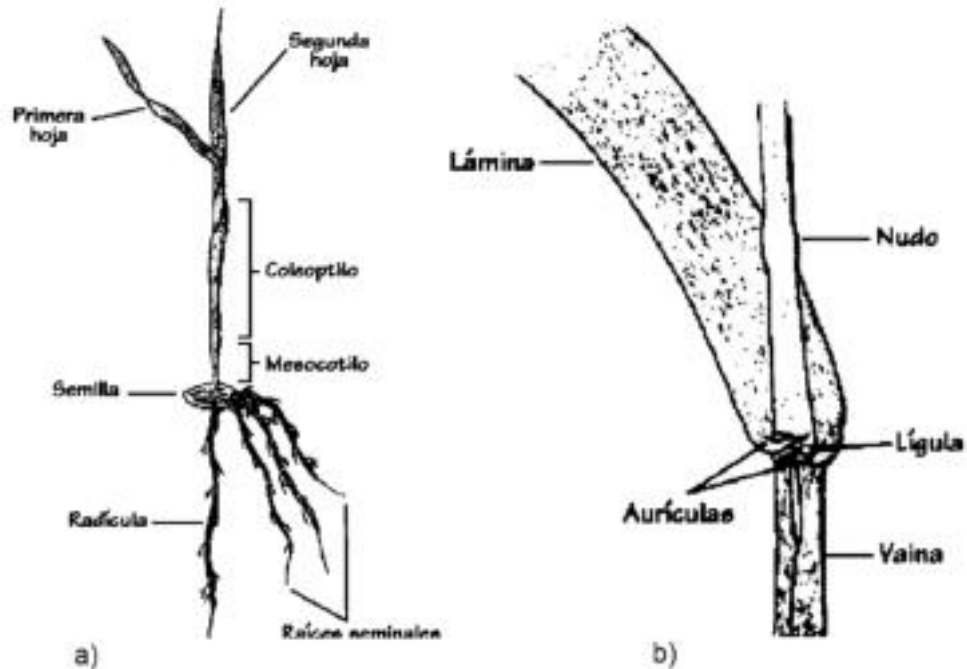


Figura 3.7. Morfología de la planta de cebada y la estructura de tallos y hojas de la planta de cebada.

El tallo es de porte bajo. Las flores tienen tres estambres y un pistilo de dos estigmas. Es una planta autógama. Las flores abren después de haberse realizado la fecundación, lo que tiene importancia para la conservación de los caracteres de una variedad determinada. El fruto es en cariósipide, con las glumillas adheridas, salvo en el caso de la cebada desnuda (Figura 3.8) (Agro inversiones 2009).

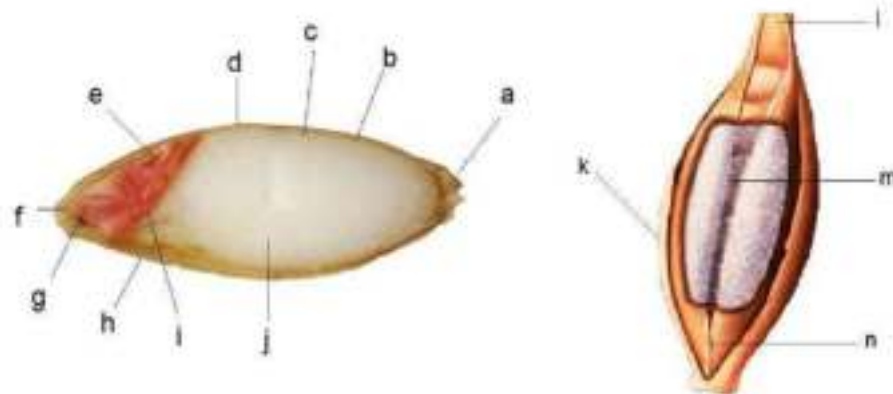


Figura 3.8 Estructura del grano/ semilla de cebada, (Gigliarelli, 2005), (UNAM, 2011) a) Barba, b) Pericarpio y testa, c) Capa aleurona, d) Glumilla dorsal, e) Plúmula, f) Micrópilo, g) Raicillas, h) Glumilla ventral, i) Escutelo, j) Endospermo amiláceo, k) Cascarilla

### 3.4. Fenología de la planta de cebada maltera

La semilla, para tener capacidad de germinación debe pasar de un 10 a un 40% de humedad. En donde se produce la inhibición o la hidratación de las semillas Inicia la transformación de las reservas nutritivas del embrión (germen), para lo que se requiere la acción del calor y oxígeno en donde empieza el desarrollo del coleóptilo y la coleorriza. En donde la temperatura optima de germinación es de 20°C a una máxima de 28°C. Entre 5 a 10 días ocurre la emergencia según la temperatura y la humedad con la que cuenta la semilla.

Al emerger la radícula alcanza los cuatro centímetros de longitud y comienza a emerger el primer órgano que es el coleóptilo que tiene una estructura puntiaguda y dura que rompe el suelo y permite dar paso a la primera hoja. El siguiente órgano es la radícula y raíces seminales, el cual se considera como el sistema radical primario, el cual da paso a las raíces definitivas a formarse en el estadio de tercera hoja desplegada, inmediatamente debajo del suelo, en la corona, ubicada en el subnudo en el punto de unión del mesocotilo con el coleóptilo (Agro inversiones, 2009).

Después comienza el desarrollo de las raíces principales o coronarias el primer sistema radicular pierde prácticamente toda la importancia, porque las raíces comienzan a formarse al estado de tercera hoja, desde la corona de la planta ubicada en el sub-nudo correspondiente al punto de unión de mesocotilo con coleóptilo, las raíces coronarias que sirven de anclaje y proveen de agua y más nutrientes a la planta (Agro inversiones, 2009).

El tallo principal o cero se origina en forma subterránea a partir del punto de crecimiento, el cual inicialmente se ubica en el lugar de unión del mesocotilo con el coleóptilo. El tallo principal permanece bajo el suelo, creciendo lentamente hasta alcanzar la superficie poco antes de que esto ocurra y aún bajo el nivel del suelo se

produce un ligero engrosamiento del primer nudo, hecho que marca el comienzo de la fase de encañado. El tallo formado por 5 a 7 entrenudo y puede alcanzar una altura entre 0.6 a 1.3 m. donde nacen las hojas que producen follaje muy denso, los tallos son huecos y no se distinguen en una inflorescencia denominada espiga.

Las hojas son largas de un color claro, siendo en general glabras y rara vez pubescentes, su ancho varia ente 5 y 15 mm, provistas de dieciocho a veinticuatro nervaduras paralelas que se despliega desde la primera que atraviesa el coleóptilo hasta nueve o más hojas desplegadas. Los cultivares primaverales se caracterizan por presentar hojas lisas. Están compuestas por una vaina, una lámina, dos aurículas y una lígula. La vaina de cada hoja envuelve la sección del tallo ubicada por sobre el nudo a partir del cual se originan, en la unión de la vaina con la lámina se observa un par de aurículas largas y abrasadoras, los cuales son glabras y pueden presentarse pigmentadas por antocianinas, la lígula es glabra, corta y dentada.

Las hojas pueden dividirse en tres grupos:

Primera hoja: la lámina es de punta redondeada tiene aurículas reducidas y presenta una pequeña vaina; Hojas ubicadas entre la primera y la superior tiene una lámina de mayor crecimiento y terminan en punta aguda; Hoja superior o bandera: en general presenta una lámina pequeña y una vaina mucho más larga que las hojas que la preceden.

La espiga corresponde a la prolongación del último entrenudo del tallo, presenta un raquis central que está compuesto por 10 a 30 nudos y a su vez está formada por espiguillas, las cuales van dispuestas de a tres en forma alterna a ambos lados del raquis que es articulado y lleva dientes o nudos alternos en los que se inserta las espiguillas. El raquis puede presentar de 10 a 30 nudos dependiendo del número de hileras de la espiga. Las espiguillas estan situadas en forma alterna en los nudos, cada una mas unas sola flor, compuesta por tres estambre y un ovario sentado en

doble estigma protegida por la lema y la parea, la mayor de las glumas termina en un apéndice denominado barba (Benítez *et al.*, 2013).

La flor tiene tres estambres y un pistilo, compuesto por un ovario y la lemma, entran dos lodículas, las cuales se hinchan durante la polinización, ayudando a la apertura de la flor (Benítez *et al.*, 2013).

El grano de cebada (Figura 3.8) están vestidos por parea y lema, las primera cubre el lado dorsal del grano y la segunda lo envuelve. El tamaño depende de las condiciones ambientales (Figura 3.9). Longitud máxima de 9.5 mm y mínima de 6.0 mm de ancho 2.5 y 3.0 mm y la densidad aproximada en peso volumétrico es de 67 kg hl<sup>-1</sup>. El peso de mil granos varia de 45 a 55 gr. el endospermo que es la parte con alto contenido de almidón y el embrión a partir del cual se desarrolla la nueva planta en la germinación (UNAM, 2009).

Por el tipo de espiga, la cebada se clasifica en: hexística o de 6 hileras, dística o de 2 hileras.

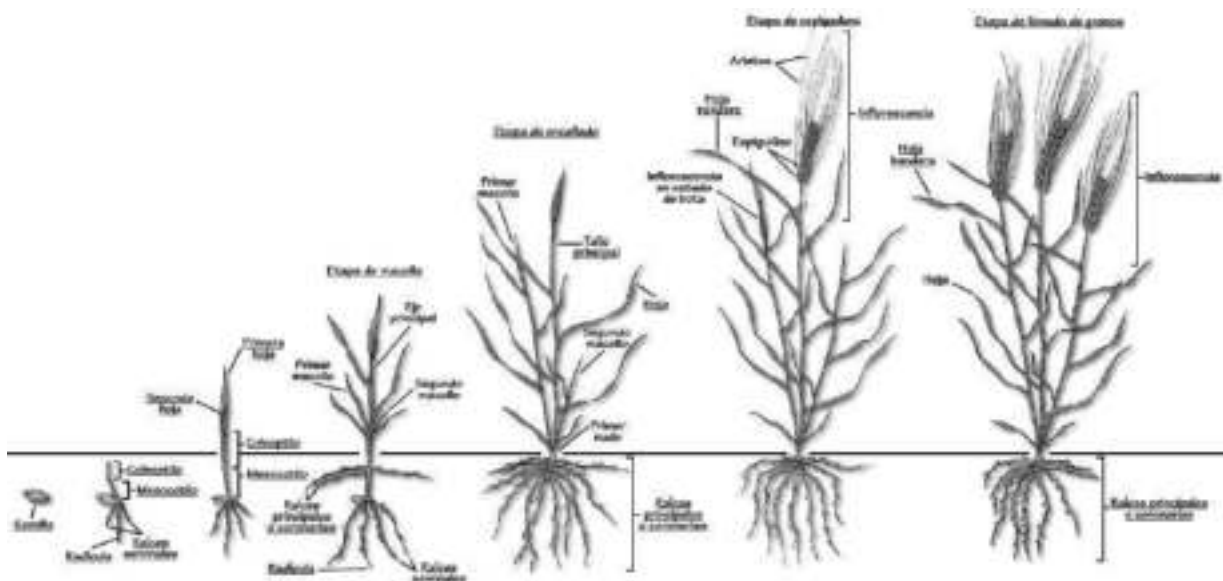


Figura 3.9. Fenología de la planta de cebada.

### **3.5. Requerimientos del cultivo**

La cebada maltera es un cultivo de climas cálidos, semi-cálidos, templados y semifríos, regiones subtropicales con invierno definido, o áridas y semiáridas. Se puede cultivar en diferentes altitudes que van de los 0 hasta 3 500 msnm (Ruiz *et al.*, 1999).

#### **3.5.1. Temperatura**

La temperatura óptima depende de la etapa de desarrollo y de la variedad; para sembrar, la temperatura óptima es de 20 a 28°C, un período de frío de 2°C, acelera la emergencia de las plántulas. Durante el desarrollo del cultivo, la temperatura media es de 15 a 25°C en el período de junio a octubre. Durante la maduración del grano, las heladas o temperaturas inferiores a 0°C dañan tanto la calidad física como la calidad industrial. Durante la etapa de llenado de grano, la temperatura es de 22°C. La mínima y máxima umbrales para crecimiento son 5°C y 30°C, respectivamente, con un óptimo de 18°C. Se adapta a amplios rangos de fotoperiodo, se puede cultivar tanto en períodos de días cortos como de días largos. Requiere una atmósfera relativamente seca, ya que ambientes húmedos propician la presencia de enfermedades fungosas. Otro requerimiento climático es la precipitación, crece bien en zonas con promedio anual entre 800 y 1,250 mm, el ciclo vegetativo de este cultivo es de 3 a 4.3 meses (Ruiz, 1999).

En nuestro país este cultivo está sujeto a múltiples factores, entre ellos resaltan la disponibilidad que el agricultor tenga de los recursos productivos, como la disponibilidad de agua. Ya sea bajo el sistema de riego o de temporal, la mayor producción de cebada grano, se produce bajo el régimen de temporal. La agricultura de riego consiste en el suministro de importantes cantidades de agua a los cultivos a través de diversos métodos artificiales de riego. Este tipo de agricultura asegura óptimos rendimientos y características de calidad en las cosechas, no obstante,

requiere de una adecuada infraestructura hídrica (canales, acequias, aspersores, albercas), en otras palabras requiere un desarrollo técnico avanzado, trayendo consigo grandes inversiones económicas, en el estado de Guanajuato, primer productor de semilla de cebada del país se produce mayormente bajo condiciones de riego (Gámez, 2006).

### **3.5.2. Requerimiento hídrico y ciclo del cultivo**

Dentro el ciclo de cultivo requiere de 380 a 660mm de agua de lluvia bien distribuidos a través del tiempo. Tanto las lluvias abundantes como las sequias persistentes que llegan afectar el cultivo. En ambientes semiáridos el rendimiento de este cultivo es mayor que el de otros cereales (Beltrán *et al.*, 2011).

Por otro lado, la agricultura de temporal, que es propia de sistemas de producción poco tecnificados, y de Valles Altos, donde el rendimiento del cultivo depende de una buena planeación y sobre todo de la precipitación pluvial (temporada de lluvias). No obstante, las lluvias entre otros factores bióticos son incontrolables, por lo que resultan determinantes en el rendimiento y calidad de grano maltero (Gómez, 2001).

En zonas de siembra de temporal suele llegar a afectar la irregularidad en factores bióticos y abióticos que en ocasiones reduce la calidad del grano, quedando fuera de los estándares que pide la industria maltera. Debido a su amplia diversidad genética del cultivo de cebada (Molina y Córdova, 2006), existe una amplia adaptabilidad a condiciones ambientales en diferentes hábitos de crecimiento en invierno, primavera o intermedio (también conocido como facultativo), el cultivo no solo se adapta a diferentes temperaturas, si no también a distintos fotoperíodos (Gaseo *et al.*, 2010) que ocupa para la floración y alcanzar las condiciones óptimas para la producción de semilla.

Se utiliza como un “interruptor” que se considera importante en el desarrollo de transición del estado vegetativo al reproductivo, el comienzo de la floración. Se determina por los cambios estacionales que son detectados por la planta que es el fotoperiodo ya antes mencionado y la temperatura esta última en las plantas es el requisito de exposición a un periodo de bajas temperaturas, para que la planta adquiera la capacidad de transición, lo cual a este mecanismo recibe el nombre de “vernalización”, que previene el desarrollo de las flores durante el invierno, proporcionando protección contra el frío a los órganos florales (Igartua *et al.*, 2013).

La producción de semilla de cebada debe considerarse algunos aspectos como clima, patrones de cultivo, estado de nutrientes en el suelo, plagas y enfermedades, debido que todos interactúan e influyen entre sí.

### **3.5.3. Fotoperiodo**

La sensibilidad al fotoperiodo y el requerimiento de vernalización no tendrían por que tener un efecto directo sobre el rendimiento pero si se juega con combinaciones de alelos de los genes implicados se puede general altos rendimientos (Igartua *et al.*, 2013) y se ha demostrado sobre varios caracteres agronómicos.

### **3.5.4. Suelo**

La cebada se adapta a diversos tipos de suelo, en general se desarrolla bien en suelos ligeros, bien drenados y en migajones con buena fertilidad. La textura óptima es de tipo franco (medio) y migajón-arenosa. Le favorecen suelos de textura media (FAO, 1994). Para un buen desarrollo radical, son suficientes 30 cm de profundidad de suelo. Es un cultivo altamente tolerante a la salinidad y muy tolerante a suelos alcalinos pero no a suelos ácidos. Se desarrolla a un rango de pH de 6.5 a 8.0 (Moreno, 1992).

### **3.6. Características agronómicas afectadas**

En los últimos años, la industria cervecera nacional ha incrementado las importaciones de cebada debido al bajo precio internacional, lo que indica que existe la necesidad de buscar tecnologías que permitan incrementar la producción y/o reducir los costos de producción el cual servirá para fomentar el mercado nacional.

#### **3.6.1. Densidad**

La densidad de población consiste en el arreglo uniforme del número de semillas en un área determinada con el fin de proporcionar a cada planta una distribución equitativa de los elementos necesarios para su desarrollo (luz, agua, nutrientes, etc.). Una adecuada densidad de siembra, en función de los factores agroclimáticos y de conocimiento del genotipo a utilizar localmente (variedad y capacidad de macollamiento) que inciden en el crecimiento de las plantas, es importante para obtener una producción óptima, conservar la calidad industrial y obtener un mayor beneficio económico (García *et al.*, 2003).

Al realizar un aumento de densidad en la siembra de algunos cereales, también ha sido empleado como forma de aumentar la competencia del cultivo frente a las malas hierbas y disminuir de esa forma el daño que estas causan en los rendimientos de los cultivos. Actualmente sigue empleándose la expresión de sembrar con mucha semilla para justificar esta práctica tradicional pero al determinar la densidad óptima de siembra ha sido objeto de varios trabajos con desigual resultado (Moreno *et al.*, 2002; Lacasta *et al.*, 2004).

El problema de la densidad del cultivo abarca las cuestiones biológicas comunes tales como la competencia, ya que la respuesta, puede cambiar dependiendo la densidad de plantas debido a las diferencias de crecimiento del área foliar (capacidad fotosintética) (Moreno *et al.*, 2010) la capacidad de cambio, la variedad, el medio ambiente ecológico



y la cosecha de plantas. La disminución de malas hierbas cultivadas expresadas en masa total de área del cultivo como resultado se obtiene mejor rendimiento (Pilipavicius *et al.*, 2011).

Esta estará limitada por el ambiente de producción, método de siembra, variedad, porcentaje de germinación, calidad de la semilla y el tipo de suelo (Arias, 1995).

### **3.6.2. Métodos de siembra**

Para el cultivo de cebada y algunos otros cereales pequeños se utilizan métodos diferentes para distribuir la semilla, por ejemplo:

Siembra de voleo (tradicional). Consiste en arrojar la semilla, este método es recomendable, ya que la siembra es en chorrillo con sembradora o tapadora de esta forma se puede ahorrar semilla (Martinez, 2012)., de manera uniforme de esparcir la semilla en el terreno, (Gómez *et al.*, 1997), para que posteriormente, se distribuye el fertilizante de la misma manera (Cabañas *et al.*, 2004) para después taparla con un paso ligero de rastra (Gómez *et al.*, 1997) en donde da como resultado que las plantas se enferman menos, para este método de siembra se necesitan alrededor de 150 kilos de semilla y se sugiere que la profundidad de la tapa no sea mayor de 5 cm (Martinez, 2012).

Siembra en líneas, surcos a doble hilera con piloteo o camas. Este método es usado para la producción de cebada maltera para la elaboración de cerveza en condiciones de temporal o riego, se suele sembrar en líneas pues maduran es de forma más homogénea y se ocupan para la siembra 120 kg ha<sup>-1</sup> (Martinez, 2012). Con una profundidad que varía de 3 a 6 cm., asegurando una buena cantidad de plantas en el terreno (Gómez *et al.*, 1997). Se requiere de una maquina sembradora que deposite la semilla, los surcos son de 76 cm de separacion y en dos hileras sobre el lomo del surco a 20 cm de distancia (Cabañas *et al.*, 2004).

Siembra en corrugación con pileteo. Es un método en el cual como el segundo método se sugiere para la siembra de cebada maltera en temporal, el cual consiste en distribuir la semilla sobre el terreno, ya sea por voleo manual o con máquina voleadora y después se distribuye el fertilizante, donde posteriormente se hace un paso con una cultivadora con pleteadoras integradoras, quedando surcos de 76 cm y piletas de 2.4 metros es posible captar el agua de las lluvias del temporal, solo se permite la entrada de la máquina para la etapa de amacollamiento (Cabañas *et al.*, 2004).

### **3.6.3. Variedades**

Alina (liberada en 2006), es el resultado de selección de líneas segregantes de cebada originadas de un cruzamiento doble con pedigree. Es una variedad de cebada maltera para producción bajo condiciones de riego en el Bajío, hábito de crecimiento en el ciclo primavera-verano, se considera precoz, su floración ocurre entre 59 a 68 días y la madurez fisiológica se alcanza entre 106 a 123 días, dependiendo del ambiente y fecha de siembra. Se considera como una variedad de porte intermedio que varía de 0.80 a 1.20 m según el manejo agronómico del cultivo, se requiere una densidad de siembra de 100-130 kg ha<sup>-1</sup> (Solano y Zamora, 2009).

Se considera tolerante a la roya lineal amarilla y a la cenicilla, es moderadamente tolerante a la roya de la hoja, que son las enfermedades más comunes del cultivo en la región, su rendimiento potencial del grano es superior en 15% de la variedad comercial comparado con la variedad Esperanza (Solano y Zamora, 2009).

Como principales áreas potenciales de producción de esta variedad se consideran los estados de Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco, donde gracias a sus climas semicálido y semiseco, con lluvias en verano, temperatura de 18 a 22°C, con una altitud de 1500 y 1800 metros (Solano y Zamora, 2009).

Esmeralda. (Liberada en 1993), es el resultado de la selección de líneas segregantes de cebada originadas del cruzamiento simple, es la primera variedad sobresaliente por sus características genéticas, en la cual se encuentra tolerancia a enfermedades más comunes de la cebada en los Valles Altos de la Mesa Central de México (Rojas *et al.*, 2013; SAGARPA, 2014), así que cuenta con un mayor potencial de rendimiento y calidad que demanda por la agroindustria, estas características le permiten presidir de las aplicaciones preventivas de fungicidas contra hongos y con ello un ahorro considerable en los costos de producción del cultivo y la consecuente contaminación del ambiente (SAGARPA, 2014).

Esta variedad tiene el hábito de crecimiento de primavera-verano, su ciclo vegetativo es intermedio con 49 a 64 días a floración y su madures fisiológica ocurre entre los 91 y 120 días, aproximadamente. Con un porte de 0.86 a 1.05 m. Lo anterior depende de la localidad donde se establezca el cultivo, su manejo agronómico está en función del ambiente y fecha de siembra (Rojas *et al.*, 2013; SAGARPA, 2014).

Los principales estados de producción de la variedad son Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México, así como en las regiones templadas semisecas y subhúmedas con lluvias en el verano (SAGARPA, 2014) en siembras de ciclo Otoño-Invierno de otras regiones del país, como el Bajío, y algunas regiones de Jalisco, Chihuahua, Zacatecas y San Luis Potosí (Zamora *et al.*, 1997).

Esperanza (liberada en 1989), resultado de la selección de líneas avanzadas de cebada, originadas por cruzamiento, adaptada en el ciclo de Otoño-Invierno bajo condiciones de riego, esta presenta tolerancia a enfermedades comunes en la región, también tiene hábito de crecimiento de primavera que posee un alto potencial de rendimiento y tiene buena calidad industrial (Ramírez *et al.*, 1997).

### 3.6.4. Fertilización

Un factor de mayor influencia en la productividad de la cebada es la fertilización, cuya dosis debe basarse en los requerimientos del cultivo, el análisis de suelo y la eficiencia de la planta para aprovechar el fertilizante (Mora y Anaya, 2004). Al comienzo de la fase vegetativa de la planta de cebada es el momento exacto para la absorción de nutrientes, en cuanto va creciendo se disminuye hasta el momento de agotarse.

Como requerimiento para un desarrollo normal de cualquier cultivo, entre los que esta la cebada, se requiere carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro y cloro. Los nutrimentos requeridos en mayor cantidad son nitrógeno, fósforo y potasio. Los demás se requieren en menores cantidades y por lo regular son abastecidos por el suelo. El carbono, hidrógeno, oxígeno se obtienen del agua y de la atmósfera (Mora y Anaya 2004).

Nitrógeno. La respuesta de la cebada a nitrógeno puede variar dependiendo el periodo de crecimiento del cultivo, variedad, nitrógeno disponible en el suelo que llega a relacionarse con el nitrógeno residual del cultivo anterior y con las condiciones climáticas. Tomando en cuenta que no se debe de aplicar excesivamente ya que se puede arriesgar al cultivo al acame (López, 2013).

Este elemento aporta mayor impacto en los rendimientos y puede afectar los parámetros sensibles de calidad, como concentración de proteína, gluten, tamaño de semillas y peso hectolitro. Además de rendimiento puede haber un efecto residual sobre el cultivo que le sigue en la práctica de rotación de cultivos (Ferraris, 2014).

Fósforo. En cuanto a los requerimientos nutricionales de fósforo, existen publicaciones generales que mencionan que son necesarios de 10 a 12 kg por toneladas producida,

de los cuales un 70% son absorbidos antes de la aparición de la espiga (Torres y Lazcano, 2002).

Potasio. El potasio es una clave de rendimiento del cultivo de cebada, que a nivel morfológico es encontrado altas concentraciones en el sistema vascular de la planta, no presentando efectos directos significativos en el peso del grano; sin embargo, tiene otras importantes funciones como el de aumentar el gradiente osmótico, el cual está directamente relacionado con el transporte de solutos (azúcares) hacia la semilla y otras partes de la planta (Torres y Lazcano, 2002).

### **3.6.6. Control de maleza**

Para el control de maleza se pueden ocupar químicos dependiendo del tipo de la maleza, se aplica herbicida entre los 25 y 30 días después de la emergencia del cultivo (García *et al.*, 2008).

Dependiendo del sistema de siembra se puede tener control de malezas mediante escardas, con las cuales se aporca el cultivo y con ello se puede reducir el problema de acame y enfermedades (García *et al.*, 2008).

### **3.6.7. Cosecha**

La cosecha se lleva a cabo cuando la semilla está madura, seca y tiene el nivel adecuado de humedad del 12% (Martinez, 2012).

## **3.7. Calidad en semillas**

Las semillas son el punto de partida para la producción y es indispensable que tenga una buena respuesta en las condiciones de siembra y que produzcan plántulas vigorosas, para alcanzar el máximo rendimiento. Desde un punto de vista sustentable,

es imposible obtener una buena cosecha, si no se parte de una semilla de calidad, ya que un cultivo puede resultar de una calidad inferior a la semilla sembrada, pero nunca mejor que ella. Indiscutiblemente la semilla de buena calidad representa el insumo estratégico por excelencia que permite sustentar las actividades agrícolas contribuyendo significativamente a mejorar su producción en términos de calidad y rentabilidad (Doria, 2010).

Al referirse a calidad de semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos, los cuales están relacionados con un buen establecimiento en campo, entre los que destacan: la calidad genética, fisiológica, física, sanitaria y bioquímica.

### **3.7.1. Calidad sanitaria**

Se refiere principalmente a la presencia o ausencia de patógenos causantes de enfermedades o puede referirse al estado de la enfermedad en una muestra de semillas. El desarrollo de organismos relacionados con la semilla depende del estado de desarrollo del cultivo, las condiciones climáticas el manejo y la presencia del inoculo, así como el curso de la infección. Entre los patógenos que se asocian con las semillas están los hongos, bacterias, nematodos y virus (Rao *et al.*, 2007).

### **3.7.2. Calidad física**

Los parámetros físicos de calidad se consideran como la uniformidad de semillas, el grado de contenido de material inerte, de semillas dañadas, semillas de malezas y semillas con tamaño, contenido de humedad, pero por volumen, peso uniforme y semilla descolorida puede ser detectado por examen visual de las muestras de semillas. Estrechamente examinar puñados de semillas es el primer paso para comprender mejor la calidad de las semillas que se está proporcionando a los agricultores y da la primera pero no la única oportunidad de decidir limpieza de semillas necesariamente (FAO, 2009 y Moreno, 1996).

De manera adicional, resultan valioso para las empresas productoras de semilla y para el usuario, el tamaño y forma de la semilla, peso de mil semillas, color y daño por insectos y hongos.

### 3.7.3. Calidad fisiológica

Se refiere a mecanismos intrínsecos de la semilla que determinan su capacidad de germinación, la emergencia y el desarrollo de aquellas estructuras esenciales para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Basra, 1995; ISTA 2005; Perez *et al.*, 2006). Una semilla con calidad contribuye a mayor eficiencia varietal productiva, ya que es capaz de emerger de manera rápida y uniforme, bajo diferentes condiciones ambientales. La calidad de la semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos (Perez *et al.*, 2006; Doria, 2010).

Tabla 3.1 Parámetros normativos de certificación.

	Categoría de semilla		
	Básica	Registrada	Certificada
Semilla pura (mínimo)	98%	98%	98%
Materia inerte (máximo)	2%	2%	2%
Semilla de otras variedades (máximo)	ninguna	10 por Kg	25 por kg
Semillas de cultivos inseparables (máximo)	ninguna	ninguna	3 por kg
Semillas de hierbas nocivas (máximo)	ninguna	ninguna	Ninguna
Germinación (mínimo)	85%	85%	85%
Humedad (máximo)	13%	13%	13%

Fuente: SNICS, 2007.

Dentro de los factores que indican la calidad de semilla de cebada existen normas de certificación para laboratorios de parte de SNICS (Tabla 3.2).

#### **3.7.4. Calidad genética**

Cuando un agricultor recibe su semilla él tiene la confianza que la semilla de la variedad que va a sembrar es pura y que va a tener la calidad suficiente. La ley federal de producción, certificación y comercio de semillas (LFPCCS, 2007) dice que la calidad genética es como la medida de identidad de la semilla; se expresa como el porcentaje de semillas viables que se identifican con respecto a los caracteres permitentes de la variedad vegetal.

Dentro de la especie de cebada hay miles de tipos distintos, los cuales son referidos como “variedades” o “cultivares”. Las plantas de una variedad producidas por semillas presentan las mismas características, las cuales son reproducibles de una generación a la otra. La definición de un cultivar se refiere a una colección de plantas cultivadas que puede ser claramente distinguida por cualquier característica (morfológica, fisiológica, citológica, químicas u otras) y la cual, cuando se reproduce (sexualmente), mantiene sus características distintivas (FAO, 2011).

#### **3.7.5. Calidad bioquímica**

La cebada se caracteriza por su composición química, es rica en proteínas, carbohidratos, fibra dietética, vitaminas, minerales (Callejo, 2002) y también es utilizada para formular alimentos para ganado (Aguilar 2004). Lo cual existe una diferencia entre la cebada forrajera, recientes trabajos sobre salud y nutrición han demostrado que la cebada posee grandes cualidades para la salud humana por lo que últimamente se ha incrementado mucho los estudios, como consecuencia, en Estados Unidos y Canadá se están utilizando bastante con esta finalidad (Cistué, 2012). Y la cebada para la producción de cerveza, ya que es utilizada como bebida alimenticia



muy útil y adecuada para la dieta diaria de una persona, que se recomienda tomar una cerveza diariamente una hora antes de la comida de mediodía, o acompañando los alimentos (SAGARPA, 2010) .

Por lo anterior, la cebada a adquirido importancia, debido que en la elaboración de cerveza, siendo el malteo un paso básico para la elaboración de esta, consiste en un proceso de germinación controlado seguido de un secado. La germinación durante este proceso, permite la formación o activación de las enzimas y modificación de la estructura del endospermo, procedido por la absorción de agua durante el remojo; el agua inicialmente entra por el embrión y mas tarde se difunde en el endospermo (INIA, 1991).

Porcentaje de proteína, las sustancias nitrogenadas tiene una gran importancia en la calidad de la malta que se fabrica ya que tienen influencia positiva en el gusto de la cerveza y mantenimiento de la estabilidad de la espuma, la nutrición de las levaduras, y por estos motivos se establece que una cebada ni puede tener menos de 8.5 % de proteína, pero también en exceso tiene una influencia muy negativa en la calidad industrial de la cebada cervecera (INIA, 1991). La acumulación de proteína en el grano depende de muchos factores, entre otros, la fertilización, la calidad de la tierra, las horas luz, la variedad, entre otros factores, de tal suerte que en ocasiones puede ocurrir que la cebada sembrada sea para fines de la industria cervecera, al término del ciclo de producción no reúna los criterios de calidad requeridos, por lo que el grano tiene que destinarse a la ganadería. Esta situación dificulta el levantamiento de la información estadística por lo que no se dispone de datos realmente confiables sobre la producción de la cebada maltera a nivel mundial (Aguilar 2004).

Dentro de lo que es el malteo a niveles altos de proteína causan una germinación errática ya que aumenta las pérdidas o merma del malteo una misma variedad de cebada dará maltas con extracto más bajos cuanto más elevado sea el porcentaje de proteína. Se puede decir que el extracto está en relación directa con el almidón del

grano y en relación inversa con el contenido proteico. También debemos distinguir las diferentes fracciones de las proteínas; de las cuales, la fracción soluble en alcohol, o sea la hordeína, es la proteína de reserva. Los excedentes se depositan en el endospermo, en las células adyacentes de la capa de aleurona. También cabe recalcar que en cuanto más elevados son los porcentajes de proteína mayor es la proporción de las prolaminas (INIA, 1991).

También en el proceso de filtración del mosto, un porcentaje muy elevado de proteína aumenta la proporción de las proteínas de alto peso molecular solubles en el mosto, que trae como dificultades de filtrado, aumenta la intensidad del color y perjudica el gusto. Y en el resultado final que es la cerveza niveles altos de nitrógeno soluble en el mosto, se combinan con los polifenoles ocasionando enturbiamiento en frío de la cerveza, en algunos países productores de cebada cervecera, las normas de comercialización fijan un límite máximo de proteína, por encima del cual el producto no puede ser comercializado como cebada cervecera (INIA, 1991).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización

El presente trabajo se realizó en dos fases:

La primera fase, se realizó en el Campo experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en la comunidad de Roque municipio de Celaya, Guanajuato (Km 6.5 de la carretera Celaya, San Miguel de Allende, 20° 31' N y 100° 45' O. a 1754 m de altura).

La segunda fase, se realizó en el laboratorio de análisis de semillas del Instituto Tecnológico de Roque, ubicado en el municipio de Roque, Celaya, Guanajuato, complementando las pruebas químicas en el Laboratorio del Programa Nacional de Mejoramiento Genético de cebada maltera, ubicado en el Campo Experimental Valle de México, en el Municipio de Texcoco, Estado de México.

### 4.2. Variedades

Las variedades utilizadas para el proyecto fueron obtenidas del programa de producción de cebada de INIFAP presentan estabilidad en rendimiento con buena respuesta agronómica, con aceptable calidad de semilla y grano para elaborar malta y cerveza.

**Alina**, Se siembra con frecuencia en varias regiones de El Bajío, con días de madurez fisiológica es entre 95 a 105, con un rendimiento de 6.27 t ha<sup>-1</sup>.

**Esperanza**: Esta variedad se siembra en El Bajío en invierno tiene entre 100 a 110 días de madures fisiológica y un rendimiento promedio de 6.16 t ha<sup>-1</sup>.

**Esmeralda:** Esta se siembra con frecuencia en la región de valles altos (altiplano) y tiene de 96 días para su de madurez fisiológica con un rendimiento promedio de 2.92 t ha<sup>-1</sup>.

### 4.3. Preparación de semillas

La preparación de semilla de las tres variedades, se logro después de obtener el contenido de humedad al 13%. Las semillas se hicieron pasar por una serie de cribas ajustadas al tamaño y forma recomendados por la ISTA (6/64 x 3/4 in, 5.5/64 x 3/4 in) de manera que estas resultaran homogéneas. Dichas muestras se etiquetaron y fueron almacenadas en bolsas de papel a temperatura ambiente.

### 4.4. Tratamientos y diseño experimental

Se estudiaron tres factores; método de siembra (hilera y cama), densidad de siembra (80, 120, 160 kg de semilla ha<sup>-1</sup>), y tres variedades (Esmeralda, Alina, Esperanza). En la Tabla 4.1 aparecen los factores y niveles involucrados

Tabla 4.1. Factores y niveles de estudio para la evaluación de tres variedades de cebada maltera, dos métodos de siembra y tres densidades.

Factores de estudio	Niveles
Variedades	Esmeralda, Alina y Esperanza
Método de siembra	Camas, hilera
Densidad	80, 120 y 160 kg ha <sup>-1</sup>

Kg ha<sup>-1</sup>., Kilogramos por hectárea

Se estableció un diseño experimental de bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. El método de siembra se aplicó a la parcela grande; en la parcela mediana se establecieron tres variedades de cebada: Alina, Esmeralda y Esperanza; y en la parcela chica se ubicaron tres densidades de

siembra: 80, 120 y 160 kg ha<sup>-1</sup>. Se utilizó una parcela experimental de cuatro surcos de 3 m de largo a doble hilera o dos camas de siembra.

El experimento se realizó en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), municipio de Celaya, Guanajuato, bajo condiciones de riego en el ciclo Otoño-Invierno de 2014-2015.

La siembra en melgas consistió de camas de 1.60 m de ancho y cuatro surcos por cama, mientras que en surcos a doble hilera, se estableció el cultivo con una distancia entre surcos de 0.80 m y de 0.20 m entre hileras.

El modelo estadístico ocupado fue:

$$Y_{ijklmno} = \mu + \beta_i + V_j + M_k + D_l + VM_{lm} + VD_{ln} + MDo + VMD_{jklmno} + e_{ijklmno}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ = es la observación del tratamiento i, en la hilera j y en la columna k

$\mu$ = es la media verdadera general

$\tau_i$ = es el efecto del i-ésimo bloque

$V_j$ = es el efecto de la j-ésima variedad

$M_k$ = es el efecto de la k-ésimo muestreo

$D_l$ = es el efecto de la l-ésima densidad

$VMD_{jklmno}$ = es el efecto de jkl esima interaccion

$\epsilon_{ijklmno}$ = es el error experimental de la ijklmno-ésima unidad experimental

Para la comparación de medias se utilizó Tukey

Primero se calculó el error estándar:

$$EE = \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

Donde

$\alpha$  = nivel de significancia (0.5).

p = número de tratamientos

GL = grados de libertad del error.

La fórmula de coeficiente de variación fue:

$$C.V = \sqrt{\frac{CME}{\bar{X}}} \times 100$$

Donde:

CME: Cuadrado medio del error

$\bar{x}$ : Media

#### **4.5. Siembra y fertilización**

La siembra se realizó manualmente por lo que se procuró que no quedaran expuestas las semillas al medio ambiente o animales. Esta se realizó en suelo seco. Posteriormente se aplicó una fertilización de forma manual de 180-60-00; de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente. La fertilización se realizó al momento de la siembra terminando la siembra y la fertilización se procedió a hacer el primer riego.

##### **4.5.1. Riegos**

Este se realizó, en la tercera semana de diciembre, a finales de enero, finales de febrero y en la tercera semana de marzo, es decir el calendario de riegos es a los 0, 40, 65 y 85 días después de la siembra.

#### **4.5.2. Escarda**

Se realizó a la tercera y cuarta semana de enero, este método es otra alternativa que ofrece el sistema de siembra en surcos aparte de evitar acame.

#### **4.5.3. Control de malezas**

Para la prevención de malezas se aplica herbicida Axial más Amber, el primer producto sirve para el control de maleza de hoja angosta (zacates) y el segundo se utiliza para el control de maleza de hoja ancha.

#### **4.5.4. Cosecha**

Esta se realizó en la cuarta semana de abril. La cual se realizó de manera manual con una humedad de 12%.

#### **4.6. Variables evaluadas**

Las variables a considerar fueron las siguientes: Para las variables de tipo agronómico se determinaron los datos (sitio experimental) en la cosecha y en laboratorio, todas las mediciones se hicieron de cada una de las 72 parcelas experimentales.

Al igual se realizaron las pruebas de las variables físicas y fisiológicas, de las cuales se tomó una muestra representativa (500 gr) de semillas de cada parcela experimental.

Para las variables químicas (se determinó analizar solo 31 muestras considerando dos muestras de cada cuatro repeticiones dentro de la parcela considerando que en cada parcela el método, variedad y densidad.

#### **4.7. Variables agronómicas**

Altura de planta (AP); para evaluar esta variable se consideró medir desde la base del tallo hasta la punta de la espiga, de las cuales se tomaron 10 plantas por parcela.

Longitud de espiga (LE); en la evaluación de esta variable después de cosecha de las plantas evaluadas, se seleccionaron 10 de ellas y se miden en cm desde la parte basal de la espiga hasta la parte apical de esta.

Espigas por m<sup>2</sup> (Em<sup>2</sup>); se realizó un recuento de espigas, las que se obtuvieron de plantas cortadas obtenidas de una área confinada de ¼ m<sup>2</sup> y se llevó a 1 m<sup>2</sup>.

Semillas por espiga (SE); después de la cosecha se seleccionaron 10 plantas, se tomaron 10 espigas y se realizó un recuento de semillas por espiga presentes y se obtuvo un promedio.

Rendimiento de semilla (RG); después de obtener el contenido de humedad del grano, se procedió a pesar la semilla cosechada y realizar una corrección del contenido de humedad del grano para ajustar el rendimiento a 13% de humedad, y posteriormente se hizo la transformación a t ha<sup>-1</sup> para el análisis de datos.

#### **4.8. Calidad física de semilla de cebada**

Para cada parcela, se realizó una limpieza individual para eliminar espiguillas y basura que se obtuvieron haberse obtenido la cosecha, haciéndolas pasar por cribas con medidas.

##### **4.8.1. Peso volumétrico**

Se consideró una muestra de 500 g de semilla de cada genotipo para pesarlo y obtener el peso volumétrico:



El peso volumétrico (PV), se obtiene de semilla de cebada limpia, libre de impurezas, raquis y barba, mediante el uso de una balanza de peso volumétrico. El recipiente de la balanza se llenó con el grano de cebada hasta derramarse, el excedente de grano se retiró del recipiente rasándolo sobre sus bordes con una regla siguiendo un movimiento de zigzag, inmediatamente después se realizó la medición del peso en una balanza y se expresa en  $\text{kg hL}^{-1}$  (Moreno, 1996; ISTA 2005).

#### **4.8.2. Peso de mil semillas**

Se tomaron al azar, contaron y pesaron ocho repeticiones de 100 semillas, de cada parcela obtenida, en cada repetición se pesó en una báscula electrónica con los datos obtenidos se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación (ISTA, 2005). Si el coeficiente no excede 4.0 del valor de esta variable se acepta y es estadísticamente estable (Moreno, 1996).

El peso de 1000 semillas (PMS) se obtiene multiplicando por diez la media aritmética de las ocho repeticiones y es expresada en gramos como en la siguiente fórmula.

$$P1000s (g) = \bar{x} \cdot 10$$

Donde:  $\bar{x}$  = Media del peso de 100 semillas

#### **4.8.3. Clasificación por tamaño de la semilla**

Se tomó una muestra de 500 gramos por parcela experimental que después se pasó por cribas oblongas de 2.57 mm x 19.05 mm, 2.38 mm x 19.05 mm y 2.18 mm x 19.05 mm de diámetro de perforación, el dato tomado es en gramos retenido por cada criba.

## **4.9. Calidad fisiológica de las semillas**

### **4.9.1. Germinación**

Se realizó de acuerdo con las recomendaciones de la ISTA (2005), se utilizaron cuatro repeticiones de cien semillas por tratamiento, se empleó el método “entre papel” (usando papel para germinación) enrollados en forma de taco, los rollos se colocaron en bolsas de plástico transparente y fueron puestos en la cámara de germinación a temperatura constante de 20°C por 7 días. De las cuales se considera las siguientes variables.

- Porcentaje germinación (PG). Se determinó en base al número de plántulas bien desarrolladas, sanas y sin malformación.
- Plántulas anormales (PPA). Se estableció en base a plántulas con malformaciones y se expresara en porcentaje.
- Semillas muertas (PSM). Se determinara en base al total de semillas sin germinar y se expresaran en porcentaje.

### **4.9.2. Vigor**

Se realizó la prueba de vigor en micro túnel, utilizando arena de río como sustrato, las semillas fueron sembradas a 2 cm de profundidad, 2 cm entre plantas y una distancia de 8 cm entre surcos, se aplicó un riego al momento de la siembra y después diariamente para mantener el sustrato húmedo. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones de 25 semillas. Las plántulas fueron extraídas catorce días después de la siembra.

Variables evaluadas

Porcentaje de emergencia (PE). Se evaluó en base al número de plántulas con coleóptilo y hoja bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones al finalizar la prueba y fue expresado en porcentaje de acuerdo al número de plántulas normales germinadas al finalizar la prueba.

Plántulas anormales (PA) se contabilizó el número de plántulas que presentaron malformaciones en coleóptilo y hojas, que impidieron un desarrollo normal y fue expresado en porcentajes.

Viabilidad (VI). Se obtuvo sumando de cada parcela el número de plántulas normales más anormales y se expresó en porcentaje.

Longitud de plántula (LP) Del total de plántulas normales se tomaron 10 plántulas al azar por repetición y se midió la longitud de la parte aérea desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga, el resultado fue expresado en centímetros.

Peso fresco y seco de la parte aérea (PSA). De cada repetición se tomaron todas las plántulas normales y se separó la raíz de la parte aérea a la altura del cuello del tallo; posteriormente, la parte aérea se colocó en una bolsa de papel perforada, se sometió a secado en estufa a 60 °C durante 72 horas y transcurrido ese tiempo se tomó la lectura del peso seco y se expresó en mg.

Velocidad de emergencia (VE) Se realizaron conteos diarios a partir de la emergencia de la primera plántula, hasta que se obtuvo un número constante de estas. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$VE = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{X_i}{N_i} \right]$$

En donde:

VE: Velocidad de emergencia.

Xi: Número de plántulas emergidas por día.

Ni: Número de días después de la siembra.

#### **4.10. Calidad bioquímica**

##### **4.10.1 Determinación de proteína y almidón**

Dentro de la importancia que representa para la industria maltera se analizan las variables químicas como porcentaje de proteína Kjeldahl (AOAC, 2001) en el cual se obtuvo el % de proteína y almidón por hidrólisis ácida directa.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Variables agronómicas

En la Tabla 5.1 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables agronómicas, las cuales presentaron diferencias significativas entre variedades (V), para las variables de espigas por m<sup>2</sup>, semillas por espiga y rendimiento, lo cual señala que por variedad difieren en su constitución genética y en su comportamiento bajo las condiciones en las que se llevó a cabo este experimento. Por otro lado, el método (M) y densidad de siembra (D) no modificaron estas características. Finalmente sólo la triple interacción variedad (V) \* método de siembra (M)\* densidad (D) fue significativa para espigas por m<sup>2</sup> y rendimiento, el cual también es señalado por la composición genética y las condiciones agronómicas que se le aplicó al experimento en campo y a las especificaciones se hará en la comparación de medias para estas variables. El resto de las interacciones simples no modificaron estadísticamente estos caracteres agronómicos.

Tabla 5.1. Cuadrados medios del análisis de varianza del comportamiento agronómico de tres variedades cebada en relación al método y densidad de siembra

F.V	G.L	AP (cm)	LE (cm)	Em <sup>2</sup> (u)	SE (u)	RS (t ha <sup>-1</sup> )
Variedad (V)	2	66.02 <sup>ns</sup>	0.69 <sup>ns</sup>	10329.26 <sup>**</sup>	78.57 <sup>*</sup>	16.58 <sup>**</sup>
Método (M)	1	10.12 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>	4262.72 <sup>ns</sup>	25.44 <sup>ns</sup>	1.48 <sup>ns</sup>
Densidad(D)	2	2.24 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>ns</sup>	2.18 <sup>ns</sup>	21.67 <sup>ns</sup>	1.24 <sup>ns</sup>
V*M	2	3.18 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>	439.00 <sup>ns</sup>	7.51 <sup>ns</sup>	0.57 <sup>ns</sup>
V*D	4	52.85 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	2470.97 <sup>ns</sup>	2.73 <sup>ns</sup>	1.06 <sup>ns</sup>
M*D	2	77.29 <sup>ns</sup>	0.54 <sup>ns</sup>	169.68 <sup>ns</sup>	1.86 <sup>ns</sup>	1.19 <sup>ns</sup>
V*M*D	4	63.38 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>	4377.47 <sup>*</sup>	0.43 <sup>ns</sup>	2.62 <sup>*</sup>
Error	51	40.73	22.57	740.12	855.10	40.04
Total	71	65.34	0.44	1884.10	15.68	1.41
C.V %		7.85	11.58	9.16	8.70	12.44

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. F.V., Fuente de variación; G.L., grados de libertad; C.V., Coeficiente de variación; Em<sup>2</sup>, Espigas por m<sup>2</sup>; SE., Semillas por espiga; AP., Altura de planta; LE., Longitud de espiga; RS., Rendimiento de semilla, respectivamente.

El coeficiente de variación varió de 7.8 a 12.4 %; y de acuerdo con Gómez y Gómez (1992) se considera bajo y aceptable.

### 5.1.1. Variedad

La prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05), mostró que la variedad Alina obtuvo el mayor valor para espigas por m<sup>2</sup>, con un promedio de 432.46, seguida de Esmeralda con 421.54, ambas demostraron que son superior a la variedad Esperanza que sólo obtuvo 343.33 espigas por m<sup>2</sup>; esta condición se debe a la diversidad genética que posee la cebada, además la variedad Esperanza se considera una variedad vieja en comparación de las variedades Alina y Esmeralda; también estos resultados aseveran que la variedad Alina es la mejor ya que esta se siembra en la zona de El Bajío como semilla y grano bajo las condiciones de riego; sin embargo, la semilla de la variedad de Esmeralda se produce en El Bajío para después ocuparla en la producción de grano en Valles Altos bajo condiciones de temporal. Para el cultivo de cebada, el desarrollo de la espiga puede resultar del equilibrio entre los suministros asimilados y la demanda en otras partes de crecimiento de la planta, causado por la acción de factores internos y ambientales en los nutrientes inorgánicos, fotoasimilados, agua y fitohormonas.

Para el número de semillas por espiga, sobresalió la variedad Alina con 49.02 y Esmeralda y Esperanza con 45.46 y 46.67, respectivamente (Tabla 5.2). Según Molina, (1989), comenta que la correlación de obtener granos por espiga tiene que ver con el número bajo de producción de hojas en la misma planta. Esto puede tener relación con el promedio alto de semillas por espiga, dentro de un buen desarrollo de la espiga, existe una fuerte intersección entre fotoperiodo, humedad, temperatura. Así, que si existe un retraso en la floración causado por bajas temperaturas puede ser compensado con fotoperiodos largos y al mismo tiempo la

disminución de semillas por espiga. También un requisito es la humedad ya que si no hay baja humedad esto puede retrasar la floración durante el periodo vegetativo de la planta, pero si es muy alta este puede anular la floración y por lo tanto no existe formación de espigas (Molina, 1986).

Para el rendimiento obtenido de las variedades evaluadas se encontró diferencia significativa en donde el mejor fue de la variedad Alina (7.8 t ha<sup>-1</sup>) seguido de la variedad Esperanza (7.36 t ha<sup>-1</sup>) y por último la variedad Esmeralda con el menor rendimiento de (6.19 t ha<sup>-1</sup>), la respuesta de producción de semilla de las variedades es debido a la adaptación que tiene en la región, la producción que se obtuvo de la variedad Alina y Esperanza coinciden con los resultados de García y Gámez (2007) mayores rendimiento según Hernández *et al.* (2011) y la SIAP (2010) registrados para Guanajuato, pero cabe recalcar que la variedad Esmeralda aunque haya tenido bajos rendimientos en comparación de las otras variedades tubo buen desempeño en rendimiento ya que según Gámez, (2007) esta variedad llega a un rendimiento promedio de 5.0 t ha<sup>-1</sup> en condiciones de riego.

Tabla 5.2. Comparación de medias de variables agronómicas de tres variedades de cebada maltera.

Variedad	Em <sup>2</sup>	SE	RS
Alina	432.46a	49.02a	7.80a
Esmeralda	421.54a	45.46b	6.19b
Esperanza	392.33b	46.67ab	7.36a
DMS	26.12	2.80	0.60

Em<sup>2</sup>, Espigas por m<sup>2</sup>; SE., Semillas por espiga; Rendimiento; Valores con la misma letra son estadísticamente son iguales.

### 5.1.2. Método

Un método de siembra diferente puede ser favorable y eficiente relacionado con las características agronómicas expresadas para el cultivo, se obtuvo que no hubo diferencias entre métodos para las características agronómicas. En estudios realizados en trigo se puede observar mayor rendimiento en melgas que en surco de doble hilera (Suaste *et al.*, 2013), el cual coincide con Moreno *et al.* (1993) y Kilic (2010), quienes observaron que la siembra en plano superó a la siembra en surco con un 4 y 7%. Esta disminución de rendimiento de grano se compensa por el ahorro de agua, herbicida, semilla y fertilizante (Kilic, 2010).

Por otro lado, Arael (2006) afirma que no hay reducciones de rendimiento para el espacio entre hileras de hasta 36 cm. Pero en filas de más 36 cm han causado reducción en el rendimiento de menor importancia sobre todo en temporadas buenas, la plantación en filas más anchas son más predispuestas a alojamiento y reducción de nivel de asfixia. Para los componentes agronómicos evaluados no se obtuvieron diferencias significativas y comparando algunos de los componentes agronómicos no hubo cambios promedio significativos para decir si hay algún efecto de rendimiento, espigas por metro cuadrado, granos por espiga.

Ramírez *et al.*, 2014, dice que el método de siembra por melga es la forma tradicional de siembra de cebada en México, pero el arreglo en surcos puede llegar a demostrar mejor aprovechamiento de agua y mejoría de labores culturales como el control de algunas malezas e insectos plaga, enfermedades también promueve tallos vigorosos y disminuye riesgo de acame, García *et al.*, 2003 comenta que es compatible con sistemas de labranza de aumento y conservación de producción.

### 5.1.3. Densidad

El aumento o disminución de la densidad de siembra no tiene efectos en caracteres agronómicos de cebada. Estudios en trigo muestran diferencia de rendimiento



cuando se incrementa la densidad de siembra (Suaste *et al.*, 2013), al contrario que Ozturl *et al.* (2006) observó que el rendimiento aumenta como aumenta la densidad de siembra. García *et al.* (2008) recomienda el uso de densidades de 100 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de semilla, pero las variedades se les espera respuesta con un mínimo de 80 kg ha<sup>-1</sup> (Rojas, *et al.*, 2013); sin embargo, esta densidad puede producir rendimientos menores dependiendo de las condiciones climatológicas en las que están expuestas el cultivo (Gómez *et al.*, 2009).

#### **5.1.4. Interacción entre factores**

La triple interacción (variedad\*método\*densidad) mostró diferencias significativas en espigas por metro cuadrado y rendimiento. La asociación positiva entre altura de planta, semillas por espiga y el rendimiento de la semilla fue mejor con el método de hileras con la variedad Alina con la densidad de 80 kg ha<sup>-1</sup>. Cabe recalcar que el incremento del número de espigas, número de granos por espiga o peso de granos, constituyen variables importantes del rendimiento de grano de cereales (Atael, 2006). Para estos autores es el componente de mayor influencia en el rendimiento.

#### **5.2. Calidad física de la semilla**

Para saber si hay un buen desarrollo de la semilla de cebada se necesitan los análisis físicos ya que podemos encontrar alguna diferencia o efecto entre lo que es la variedad, método o densidad entre otros factores utilizados para la siembra de este cultivo.

El análisis estadístico para peso volumétrico y peso de mil semillas no se encontraron diferencias significativas para los factores estudiados; densidad (D), variedad (V) y método (M) y para sus interacciones, sin embargo si se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de semilla comercial.

Tabla 5.3. Cuadrados medios del análisis de varianza de los análisis físicos de tres variedades cebada en relación al método y densidad de siembra.

F.V	g.l	Peso de mil semillas (g)	Peso volumétrico	Semilla comercial (%)
Variedad (V)	2	7.34 *	4.56 <sup>ns</sup>	17.39 <sup>ns</sup>
Método (M)	1	0.03 <sup>ns</sup>	3.51 <sup>ns</sup>	154.20*
Densidad (D)	2	6.53 <sup>ns</sup>	2.52 <sup>ns</sup>	20.14 <sup>ns</sup>
V X M	2	4.42 <sup>ns</sup>	4.57 <sup>ns</sup>	17.20 <sup>ns</sup>
V X D	4	0.15 <sup>ns</sup>	9.34 <sup>ns</sup>	6.11 <sup>ns</sup>
M X D	2	4.18 <sup>ns</sup>	6.68 <sup>ns</sup>	4.96 <sup>ns</sup>
M X V X D	4	11.18 <sup>ns</sup>	4.03 <sup>ns</sup>	14.28 <sup>ns</sup>
Error	51	158.39	525.53	1069.68
Total	71	2.99	9.25	20.38
C.V (%)		4.39	5.27	5.13

F.V., Fuente de variación; C.V., Coeficiente de variación; g.l., grados de libertad; \*\*, \*, ns, Significancia estadística a  $P \leq 0.01$ ,  $P \leq 0.05$  y no significativo.

Los cereales pueden diferir en sus propiedades físicas dentro de cada especie. El peso de mil semillas (PMS), Alina resalto teniendo el mejor promedio de 40.6 g seguida de Esperanza con 40.16 y la variedad Esmeralda con sólo 39.50 g. Por otro lado, aunque no hubo efecto estadístico entre variedades para peso volumétrico, las variedades son muy diferentes en tamaño y peso de la semilla.

Para el PMS en este estudio a pesar las condiciones desfavorables que se presentaron durante el llenado de grano no hubo algún efecto en peso de mil semillas y el peso volumétrico el cual fue el mínimo requerido para considerarse como semilla de calidad. Dependiendo de las variedades utilizadas, en la fase de llenado de semilla, se observó un comportamiento diferente, ya que se presentaron algunas condiciones desfavorables debido a cambios climáticos. Otros factores

podrían influir en el tamaño y peso de mil semillas como la fertilidad y humedad del suelo, luz y posición de la semilla en la espiga (Copeland y McDonald 1995).

Duguid y Brule (1994), mencionan que el peso de mil semillas final es la variable más importante para determinar diferencias en llenado de semilla entre variedades o genotipos, mientras que la tasa y duración del llenado de semilla también son importantes en algunos ambientes.

Alina es una variedad que se caracteriza como de ciclo de cultivo relativamente corto, lo que la posiciona con muy buena tasa de llenado de semilla, el cual se refleja en el peso final de la semilla, con mayor peso de semilla individual (Motzo *et al.*, 1996).

### 5.2.1. Método

Con un buen arreglo de siembra del cultivo de cebada maltera para semilla puede ser importante ya que la planta puede llegar a tener una mayor expresión en cuanto al espacio, puede haber mayor macollamiento en función del manejo agronómico y el genotipo utilizado

Dentro de los resultados encontrados (Tabla 5.5) de las variables físicas evaluada se encontraron solo diferencias para el peso de mil semillas en donde se valoró que el método de camas obtuvo mejor porcentaje con un 90.62 % de semilla comercial que el de hileras, pero los porcentajes que se obtuvieron en semilla comercial tienen efecto aceptable ya que entra dentro de los valores porcentuales permisibles.

Tabla 5.5. Comparación de medias Tukey de dos métodos de siembra de cebada maltera para semilla comercial.

Método de siembra	Semilla comercial (%)
Camas	90.62a
Hileras	87.70b
DMS	2.56

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según ( $P \leq 0.05$ ).

### **5.2.2. Densidad**

Cabe recalcar que la cantidad de semilla depende de algunas condiciones que son fertilidad del suelo, época, variedad y el método de siembra; para la zona de producción del Bajío es mecánico, pudiendo ser este el de camas o melgas. Con este se utiliza menor cantidad de semilla, hay mejor control. En el presente trabajo no se obtuvo diferencias según el método pero dentro de las características físicas analizadas. En porcentaje de semilla comercial (Tabla 5.6), la densidad de 120  $\text{k ha}^{-1}$  obtuvo la mejor media de peso de mil semillas con un 40.66 g seguida de la densidad de siembra de 160 con una media de 39.97 g y por último la densidad de 80  $\text{k ha}^{-1}$ . Además de que para las variables de peso de mil semillas y peso volumétrico no se encontraron diferencias significativas.

### **5.3. Calidad fisiológica de la semilla**

Los resultados del análisis de varianza para calidad de semilla se presentan en la Tabla 5.7, donde se puede observar que existen diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para variedades y método de siembra en el porcentaje de plántulas normales. El factor densidad de siembra no modificó ninguna característica de calidad. Por otro lado, no hubo efecto en la calidad de la semilla por ninguna de las interacciones de los factores.

La calidad de semilla es afectada por falta de agua al final del ciclo del cultivo, daños por clima y deficiente manejo agronómico; por lo que más de la mitad de los productores producen entre 5 y 30% de semilla no apta, que se destina para forraje o malta y quienes producen este tipo de grano manifestaron no conocen las normas de calidad (Álvarez *et al.* 2006).

Tabla 5.7. Cuadrados medios Tukey del análisis de varianza para calidad fisiológica de semilla en tres variedades cebada en relación al método y densidad de siembra.

F.V	G.L	PG	PPA	PSM	VE	PSV
Variedad (V)	2	1.50 <sup>ns</sup>	2.38 *	1.16 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>	0.45 <sup>ns</sup>
Método (M)	1	20.05*	0.88 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	6.73 *	1.11 <sup>ns</sup>
Densidad (D)	2	1.50 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>ns</sup>	2.66*	0.62 <sup>ns</sup>	1.30 <sup>ns</sup>
V X M	2	4.05 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>ns</sup>	2.38 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	0.27 <sup>ns</sup>
V X D	4	4.00 <sup>ns</sup>	0.55 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>
M X D	2	1.72 <sup>ns</sup>	3.72 *	0.22 <sup>ns</sup>	0.89 <sup>ns</sup>	0.75 <sup>ns</sup>
M X V X D	4	5.22 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	1.38 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>
Error	51	157.27	48.00	45.11	41.59	23.49
Total	71	3.65	1.03	0.98	1.18 <sup>ns</sup>	0.57
C.V (%)		1.75	174.62	188.09	55.76	61.69

\*, Significativo al 0.05 de probabilidad. FV= Fuente de variación; C.V = Coeficiente de variación; VE= velocidad de emergencia y PSV=peso de vástago; PG, Porcentaje de germinación; PPA, Porcentaje de plántulas anormales; PSM, Porcentaje de semillas muertas.

### 5.3.1. Variedades

Se puede observar que la mejor variedad en respuesta a germinación en laboratorio fue la variedad Alina con un porcentaje de germinación de 98.83 seguida de la variedad Esperanza con un 98.58 ambas son variedades que por su alta producción y respuesta a las condiciones de El Bajío (INIFAP, 2002) y por último se encontró la variedad Esmeralda lo cual aunque sea más baja su respuesta rebasa el 90% de germinación requerida.

Al igual a la respuesta de laboratorio en la prueba de vigor no se encontró diferencias estadísticas pero se puede mencionar que hubo mejor desarrollo de la

variedad Esmeralda ya que esta se caracteriza por ser resístate a condiciones extremas, seguida de Esperanza y por ultimo Alina.

### 5.3.2. Método de siembra

El método de doble hileras expresó la mejor respuesta con un 99.11 % y el método de siembra en camas con un porcentaje de 98.05 (Tabla 5.8). Cabe recalcar que el

Tabla 5.8. Comparación de medias de variables de calidad fisiológica de tres variedades de cebada maltera.

Método de siembra	Germinación	Velocidad de emergencia
Camas	98.05b	1.31b
hileras	99.11a	1.92a
DMS	0.41	0.42

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 5.3.3. Densidad

Para el análisis estadístico mediante la densidad utilizada, si se encontraron diferencias significativas lo cual nos señala que la densidad de 80 kg ha<sup>-1</sup> resulto tener mejor peso seco del área foliar seguida de 120 kg ha<sup>-1</sup> y por ultimo 160 kg ha<sup>-1</sup>. El comportamiento de germinación peso seco y longitud de plántula se incrementa al aumentar el tamaño de la semilla (Ferahani *et al.*, 2011).

## 5.4. Calidad química de la semilla

Como requerimiento de calidad el mínimo nivel de proteína aceptable para la cebada de malta es de 9 %. El contenido de proteína de malta a 0% de humedad (seco), será de 1 a 1.5 % superior al límite "tal cual", comúnmente usando para los cereales forrajeros. Este es uno de los parámetros importantes dentro de la industria maltera, lo cual es necesario tomarlo en cuenta.

Los resultados del análisis de varianza para calidad química se presentan en la Tabla 5.9, en donde se observa que hubo efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) únicamente para variedades en el porcentaje de proteína y almidón. El resto de los factores de estudio y las interacciones entre ellos no modificaron la calidad bioquímica del grano.

Tabla 5.9. Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad química de tres variedades cebada en relación al método de siembra.

F.V	G.L	Proteína (%)	Almidón (%)
Variedad (V)	2	9.95*	2.21*
Método (M)	1	1.91 <sup>ns</sup>	2.83 <sup>ns</sup>
Densidad (D)	2	0.46 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>
V * M	2	0.06 <sup>ns</sup>	1.24 <sup>ns</sup>
V * D	4	0.23 <sup>ns</sup>	0.38 <sup>ns</sup>
M * D	2	0.06 <sup>ns</sup>	0.41 <sup>ns</sup>
V * M * D	4	0.36 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>
ERROR	51	12.33 <sup>ns</sup>	13.22 <sup>ns</sup>
TOTAL	71	0.68 <sup>ns</sup>	0.82 <sup>ns</sup>
CV %		7.49	1.60

\*, Significativo al 0.05 de probabilidad. F.V= Fuente de variación; C.V= Coeficiente de variación.

#### 5.4.1. Variedad

En la Tabla 5.10 se observa la prueba de comparación de medias, donde la variedad Esmeralda tiene el mejor porcentaje de proteína con 11.85 seguida de la variedad Alina con 11.36 % y Esperanza de 10.86. Para la industria maltera conviene que la semilla de cebada muestre porcentajes altos de germinación; desde esta perspectiva el porcentaje de almidón ayuda a la germinación y al proceso de malteo; la variedad Alina presentó la mejor expresión en porcentaje de almidón (Tabla 5.10)

55.31 seguida de la variedad Esperanza con 55.16 y por último la variedad Esmeralda con 54.50; estos porcentajes cumplen con los criterios establecidos por la industria o pueden utilizarse en la dieta alimenticia de animales o para otros sub productos alimenticios humanos.

Tabla 5.10. Comparación de medias de variables de calidad química de tres variedades de cebada maltera.

Variedad	Proteína	Almidón
Alina	11.36 ab	55.31 a
Esmeralda	11.85 a	54.50 b
Esperanza	10.86 b	55.14 ab
DMS	0.73	0.75

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según.



## VI. CONCLUSIONES

- Se encontraron diferencias estadísticas entre variedades para las características agronómicas como en rendimiento, espigas por metro cuadrado y semillas por espiga.
- El método y densidad de siembra, así como las interacciones no modificaron las características agronómicas.
- El peso de mil semillas fue diferenciado por el método y densidad de siembra. El peso volumétrico y el porcentaje de semilla comercial no se notaron modificados por la densidad o método de siembra.
- En la calidad fisiológica, solo las variedades y el método de siembra afectaron el porcentaje de plántulas normales.
- Hubo efecto significativo entre variedades para el porcentaje de proteína y de almidón.

**VII. LITERATURA CITADA**

- Agricola, Impulsora. Guia técnica 2011. Cortazar, Guanajuato: Impulsora Agricola S.A de C.V, 2011.
- Agro inversiones, S.A. Manual de la cebada cervecera. Argentina, 2009.
- Agro, Inversiones S.A. Manual de la cebada cervecera. Chile: Agro inversiones S.A, 2009.
- Aguilar, J. «La produccion de cebada maltero en México - ventaja comparativa no capitalizada.» Centro de investigaciones economicas, sociales y tecnologicas de agroindustria y la agricultura mundial (Chapingo, Mexico), 2004.
- Álvarez, P., M. Luna, J. Hernández, A. Lara , M. A. Salas, y B. Cabañas. «Sistemas de producción de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.) en el estado de Zacatecas, México.» Agricultura Tecnica México, 2006: Vol. 32, 181- 190.
- Arias, G. Mejoramiento genético y producción de cebada cervecera en América del sur . FAO, Direccion de produccion y proteccion vegetal. Ren de cooperacion técnica en producción de cultivos alimenticios , 1995.
- Arreola, T.J.M, R.J.J García, V.F.P Gámez, D.M Zamora, P.A Báez , y M.M.E Hernandez. Efecto del riego y métodos de siembra en la calidad de semilla de cebada maltera. Nuevas tecnlogis en la producción de granos y semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2010.
- Beltrán , S. López, C. O. Loredo, y Mauro Díaz Zamora. Manejo integrado del cultivo de cebada en condiciones de temporal en San Luis Postosí. San Luis Potosi, : INIFAP, 2011.
- Benítez, A., G. Gracida, S. Velazco, y S. Guzmán. Identificacion de cereales de cebada (*Hordeum vulgare*). Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo , 2013.
- Bishaw, Z., A. A. Niane, y Y. Gan. «Quality Seed Production.» Springer, 2007: 349-383.

- Bustamante, G.J.O., C.I Caamal, y G.A.A Gomez. Producción y rentabilidad del cultivo de la cebada en el estado de Tlaxcala. Abril de 2007. <http://www.chapingo.mx/investigacion/pronisea/pro8.htm>.
- Cabañas, B., G. Galindo, J. Mena, y G. Medina. La siembra en surcos y conrrungados con peleteo en cebad amaltera de temporal en Zacatecas. Zacatecas: INIFAP, 2004.
- Callejo, G. Industria de cereales y derivados. Coleccion tecnologica de alimentos. Zaragoza España: AMV Ediciones, 2002.
- Cervecear. Cerveceros de España. 2011. <http://www.cervecear.com/cultura-cervecera/materias-primas/>.
- Cistué, L. Cebada para alimentación humana, Barley world. Oregon: OSU Oregon State University, 2012.
- CONABIO. Comicion NAcional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Guanajuato, Mexico : Instituto de Ecologia del Estado de Guanajuato (IEE), 212.
- Copeland, L.O, y M.B McDonald. Principles of seidd science and tecnology . New York, United States: Chapman and Hall, 1995.
- Doria , J. «Revision bibliografica, Generalidades sobre las semillas: su produccion, conservacion y almacenamiento .» Cultivos tropicales , 2010: 74-85 vol. 31.
- FAO. FAO. 07 de Julio de 2016. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/> (último acceso: 30 de Julio de 2016).
- Seed and seed quality: Tecnical information for FAO emergency staff. Roma, Italia: Seed and plant genetic resources service, 2009.
- Semillas en emergencias; Estudio FAO produccion y produccion vegetal . Roma: Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura, 2011.
- The adaptability level of the FAO crop enviromental requirements detábases. Roma, Italia: AGLS Organizacion de las naciones unidades para la agricultura y alimentacion FAO, 1994.
- FAOSTAT. Organixacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>.

- FAOSTAT, F. A. Obtenido de datos por áreas técnicas. 2012.  
<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S>.
- FENALCE, Federación Nacional de Cultivadores de Cereales. «El cultivo de Cebada, Historia e importancia.» Colombia. Noviembre 2011 de 2011.  
[fenalce.org/arch\\_public/cebada94.pdf](http://fenalce.org/arch_public/cebada94.pdf).
- Ferraris, G. N. «Rendimiento y respuesta comparada a fosforo y nitrogeno en trigo y cebada cervecera.» Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 26 de junio de 2014.
- FIRA. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. 2014.  
<https://www.fira.gob.mx/OportunidadNeg/DetalleOportunida.jsp?Detalle=33>.
- Fundación Guanajuato Produce. Plan estratégico de investigación y transferencia de tecnología. Guanajuato, México: Fundación Guanajuato produce, 2009.
- Gómez, F. P.. Comportamiento de la calidad y rendimiento en la producción de semilla de dos variedades de cebada maltera de riego con diferentes densidades y sistemas de producción. Guanajuato: Campo experimental del Bajío, INIFAP, 2007.
- Gómez, García, Gómez, Zamora & Solano. «Calidad de semilla en cebada maltera en dos sistemas y con diferentes.» Guanajuato: INIFAP, 2006.
- García, Gómez, y Arreola. Rendimiento productividad hídrica y calidad de cebada maltera en diferentes sistemas de siembra en Celaya Gto. Celaya Guanajuato : INIFAP, 2003.
- García, J. J., Francisco P. G., M. Zamora, S. Solano, y A. J. Gómez. Guía para producir semilla de cebada maltera en surco en el Bajío . Celaya, Gto., México : Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2008.
- Gaseo, Deborah, y otros. Adaptación de Trigo y Cebada en el área agrícola del noreste. Uruguay: INIA, 2010.
- Gigliarelli, P. «Malteado.» 23 de 03 de 2005.  
<http://www.revistamash.com/detalle.php?id=335> (último acceso: 03 de 03 de 2016).

- Gómez, R., R. García, y J. P. Pérez. Guía para cultivar cebada maltera de temporan en el estado de Hidalgo. Pachuca Hidalgo: INIFAP, 1997.
- González, S. G. México, sexto lugar mundial en consumo de cerveza; 62 litros en promedio por persona. México: La jornada, Economía, 2013.
- Igartua, E., y otros. Fenología y adaptación de la cebada. Argelia: INRA, Argelia, 2013.
- INFOAGRO. El cultivo de cebada. 2011.  
<http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/cebada.htm>.
- INIA, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Calidad industrial de la cebada cervicera. Uruguay: Unidad de Difusión e Información Tecnológica de INIA, 1991.
- INIFAP, Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Reporte anual 2012. México, D.F.: SAGARPA, 2013.
- ISTA. International seed testing association. Zurich, Switzerland: ISTA, 2005.
- Lacasta, C, E Esyalrich, R Meco, y M Benitez. Interacción de densidades de siembra de cebada y rotaciones de cultivo sobre la flora arvense y rendimiento de cultivos. VI Congreso SEAE, España: Agraria: referencia para la transición de los sistemas agrarios, 2004.
- LFPCCS. Ley federal de producción, certificación y comercio de semillas. México : Cámara de diputados de H. Congreso de la Unión, 2007.
- López, L. Bellido. <http://www.tecnicoagricola.es/abonado-de-los-cereales-trigo-y-cebada/>. 2 de Mayo de 2013. <http://www.tecnicoagricola.es/abonado-de-los-cereales-trigo-y-cebada/> (último acceso: 15 de Enero de 2016).
- Maluenda, J.. «Mercado de la cebada en el mundo.» 6 de Abril de 2008.  
<http://www.agrodigital.com/images/cebada.pdf>.
- Martínez, J. C.. «Propagación y técnicas de cultivo de la cebada en grano (Hordeum vulgare).» Vinculado, 11 2012:  
<http://vinculando.org/mercado/agroindustria/propagacion-y-tecnicas-de-cultivo-de-la-cebada-en-grano-hordeum-vulgare.html>.
- Molina, J. C., y L. Córdova. Recursos fitogenéticos en México para la alimentación y la agricultura. Chapingo, Edo. de México.: Informe nacional 2006, Secretaría de

- Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA, 2006.
- Mora, M., Guetiérrez, y A. Olvera Anaya. «Fertilización de cebada de riego en el estado de Querétaro, importancia del análisis de suelo y del rendimiento esperado.» INIFAP, Instituto Nacional de Investigación, Forestal, Agrícola y Pecuaria, 2004.
- Morales, I, S.R Pérez, I Reyes, I Hernández, J.G García, y D. Guillen. «Efermedades transmitidas por semilla y su importancia en la producción de Hortalizas.» (Temas selectos de Horticultura) 2012: 153-172.
- Moreno, A, M Moreno , F Ribas, y MJ Cabello. Integración de densidades de siembra de cebada y rotaciones de cultivo sobre la flora arvense y rendimientos del cultivo. España: Gijón Tomo1, 2002.
- Moreno, D. R. Criterio para la interpretación de resultados de análisis de suelos. Toluca, Edo. de México: EMIFAP-CIRCE, 1992.
- Moreno, M. E. Análisis físico y biológico de semilla agrícola. UNAM, México, D.F., 1996.
- Moreno, O. H., J. Casas, E. Vilchis, E. Martín, H. Andrade, y S. Rajaram. Respuesta de cuatro especies de cereales a la densidad de plantas en siembra en surco. Sonora: Biotecnía, 2010.
- Pérez, C., y otros. «Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje.» Agricultura técnica en México , 2006: 341-352.
- Pilipavicius, V., R. Rimaneckiene, y K. Romeneckas. «Crop stand density enhances competitive ability of spring barley (*Hordeum vulgare* L.)» Acta Agriculture Scandinavica Section B, 2011: 648-660.
- Pourkherirandish, Mo., y T. Komatsuda. «The importance of Barley genetics and domestication in a global perspective.» Annals of botany, Agosto 2007: 999-1008.
- Ramírez, J. F, M Zamora, L. Márquez, y A. Ibañez. Esperanza variedad de cebada maltera para El Bajío. Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación. Regional del Centro Experimental. El Bajío. México, D.F: Boletín Técnico Núm. 1.20pp, 1997.

- Ramírez, N, U. I.. Efecto del arreglo de siembra en la producción y calidad de semilla de cebada maltera (*Hordeum vulgare* L.). Celaya, Guanajuato: Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Roque, 2013.
- Rao, K., J. Hanson, E. Dulloo, K. Ghosh, D. Nowell, y M. Larinde. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Roma, Italia: Bioversity International, 2007.
- Rojas, I., R. Fernández, y M. Zamora. «La cebada en siembra a dos hileras en el estado de Tlaxcala.» Centro de investigación regional centro INIFAP Tlaxcala, 2013 de Marzo de 2013.
- SAGARPA. «Mejora INIFAP variedad de cebada malteada tolerante a la roya y con mayor rendimiento .» Sala de Prensa, Boletín, México, D.F., 2014.
- Variedad de cebada maltera tolerante a la roya y con mayor rendimiento.» Mejora INIFAP variedad de cebada maltera tolerante ala roya y con mayor rendimiento, 03 de Enero de 2014.
- Secretaria de agricultura, ganaderia, desarrollo rural, pesca y alimentacion. 03 de 01 de 2014. <http://sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B006.aspx> (último acceso: 10 de 01 de 2014).
- SIAP. Secretaria de agricultura ganaderia, desarrollo rural., pesca y alimentacion 2010.<http://www.siap.gob.mx/cebada>  
[http://wwwcampomexicano.gob.mx/portal\\_sispro/index.php?portal=cebada](http://wwwcampomexicano.gob.mx/portal_sispro/index.php?portal=cebada).
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganaderia. Desarrollo Rural, Pesca y Alimentacion. 3 de Enero de 2014.  
<http://sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B006.aspx>.
- Santoyo, C.E, y M.J Quiroz. Guía para el cultivo de cereales en el estado de México. . México: Instituto de investigación y capacitación agropecuaria, acuicola y forestal del estado de México, 2004.
- SIAP. Secretaría de agricultura ganadería, desarrollo rural., pesca y alimentación. 2014. <http://www.siap.gob.mx/cebada-grano/>.
- Servicio de informacion agroalimentaria y pesquera. 2014.  
<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.

- SIAP, Servicios de informacion agroalimentaria y pesquera. Cierre de produccion agricola por cultivo. Mexico D.F: Servicios de información agroalimentaria y pesquera México, 2014.
- SNICS. «Normas para las cerificacion de semillas.» De Servicio Nacional de Inspeccion y certificacion de semillas), 91. México. D.F: Secretaria de Agricultura y Ganaderia. Direccion General de Agricultura, 1975.
- Solano , S., y M. Zamora. «Alina, nueva variedad de cebada maltera para riedo en El Bajio.» Scielo, 2009: 471-473.
- Suaste, P., E. Solis , L. Ledesma, L. De la cruz , A. Grageda, y A. Báez. Efecto de la densidad y método de siembra en el rendimiento de grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el Bajio, México. Celaya, Guanajuato.: Agrocicencia 47, 2013.
- Sun, D.F, y X. Gong. «Barley Germplasm and utilization. In and improvement of Barley Malt Quality Advanced Topics in Science and Tecnology.» 2010: 18-62.
- Torres, H., y I. Lazcano. INPI. 17 de Marzo de 2002. [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/E731CFD02A8C2F0C06256B840066BCC9/\\$file/Disminuci%C3%B3n+de+Acame+y+aumento+de+rendimiento+de+cebada+con+una+nutrici%C3%B3n+balanceada.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/E731CFD02A8C2F0C06256B840066BCC9/$file/Disminuci%C3%B3n+de+Acame+y+aumento+de+rendimiento+de+cebada+con+una+nutrici%C3%B3n+balanceada.pdf) (último acceso: 11 de marzo de 2016).
- Ullrich, S. E. Barley: Production, improvenment and uses. USA: Wiley-Blanck Well, 2011.
- UNAM. Practicas de laboratorio de productos de cereles y leguminosas en cebada, produccion de malta. México: Facultad de Quimica, Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.
- USDA. United States Department of Agriculture. Noviembre de 2015. <http://www.globalbarleyproduction.com/default.asp>.
- Vázquez, M. Identificacion de la logistica del mercado de cebada (*Hordeum vulgare*) en los estados de Hidalgo y Tlaxcala México . Montecillo, Texcoco, Estado de México, México : Colegio de Postgraduados, 2013.
- Zamora , M., L. Marquez, F. Ramirez, y A. M. Ibañez. Esmeralda, Variedad de cebada maltera para los valles altos. México: INIFAP, 1997.



Zamora, M. , S. Solano, V Gamez, y R. Garcia. Armida nueva variedad de cebada maltera para riego. México : Memoria de la segunda reunion nacional de innovacion agricola y forestal. INIFAP, 2007.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**HÍBRIDOS NO CONVENCIONALES DE MAÍZ POZOLERO ROJO CON ALTO  
NIVEL DE ANTOCIANINAS ADAPTADOS A ÉL BAJÍO**

**QUE PRESENTA**

**NANCY JANET OCHOA CENTENO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: JORGE COVARRUBIAS PRIETO**

**CO-DIRECTOR: RICARDO ERNESTO PRECIADO ORTIZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO 2017**

La tesis “Híbridos no convencionales de maíz pozolero rojo con alto nivel de antocianinas adaptados a Él Bajío”, fue realizada por la alumno(a) **Nancy Janet Ochoa Centeno**, bajo la dirección del Mc. Jorge Covarrubias Prieto y Co-dirección de Mc. Ricardo Ernesto Preciado Ortiz., revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**M.C. Jorge Covarrubias Prieto**

**Cédula: 5007776**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_

**M.C. Ricardo Ernesto Preciado Ortiz**

**Cédula: 4944773**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**

**Cédula: 4875646**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**M.C. Nicolás Morán Vásquez**

**Cédula: 3262824**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dra. María Gricelda Vázquez Carrillo**

**Cédula: 09071727**

## **Dedicatoria**

A Dios, por cada una de sus bendiciones y ser el motivo de mi inspiración para concluir una etapa más de mi vida profesional.

A mis padres, por su amor y por todo el apoyo brindado que sirvieron para continuar mi formación académica.

A mis hermanos, porque a pesar de que somos tan diferentes, han sido partícipes de innumerables experiencias.

A mis tías por infundirme el deseo de estudiar y por el apoyo que siempre me han brindado.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico asignado para mis estudios de Maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío, especialmente al Programa de Mejoramiento Genético de Maíz por financiar la ejecución del proyecto de investigación y por el material genético utilizado para realizar la presente tesis.

Al M. C. Ricardo Ernesto Preciado Ortiz, por permitirme ser parte de su equipo de trabajo, por la dirección y asesoramiento del trabajo experimental y todo el apoyo brindado para la realización de la presente tesis.

Al M. C. Jorge Covarrubias Prieto, Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel, M. C. Nicolás Moran Vásquez por sus aportaciones, sugerencias y revisión en la elaboración final de la tesis.

A mi alma mater el Instituto Tecnológico de Roque, en especial al departamento de Posgrado, a mis profesores por compartir sus conocimientos que reforzaron mi formación académica.

Al M.C. Arturo Daniel Terrón Ibarra, por compartir sus conocimientos y experiencias, que me fueron útiles para la conducción del trabajo experimental de esta investigación.

A la Dra. Ma. Gricelda Vázquez Carrillo por el apoyo brindado durante la estancia en el laboratorio de Maíz del INIFAP, Campo Experimental Valle de México Texcoco Edo. de México. Así como a la Ing. Luz María Marrufo por su confianza y apoyo técnico brindado.

## ÍNDICE

	Pág.
Índice	i
Índice de cuadros	v
Índice de figuras	ix
Resumen	x
Summary	xii
<b>I Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II Objetivos</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
2.3 Hipótesis	4
<b>III Revisión de literatura</b>	<b>5</b>
3.1 Importancia mundial	5
3.2 Importancia nacional	6
3.3 Generalidades del maíz	8
3.3.1 Origen del Maíz	8
3.3.2 Clasificación taxonómica del genero Zea	9
3.3.3 Descripción botánica del maíz	9
3.3.4 Composición del grano de maíz	10
3.3.5 Clasificación del Maíz por el tipo de grano	12
Maíz Duro	13

Maíz Reventador	13
Maíz Dentado	13
Maíz Harinoso	13
Maíz Ceroso	14
3.4 Condiciones edafológicas	14
Suelo	14
Temperatura	14
Precipitación y riego	14
3.5 Diversidad genética de maíz en México	15
Raza Elotes Occidentales	16
3.6 Generalidades del pozole	16
3.6.1 Proceso de nixtamalización	17
3.7 Maíces pigmentados	18
3.7.1 Generalidades de las antocianinas	19
3.7.2 Propiedades funcionales	21
3.8 Mejoramiento genético de maíz	21
<b>IV Materiales y Métodos</b>	<b>23</b>
4.1 Ubicación de los Experimentos	23
4.2 Material genético	23
4.3 Manejo agronómico del experimento en el Bajío, P- V 2015	25
4.3.1 Diseño y parcela experimental	25
4.3.2 Siembra y manejo agronómico	26

4.4	Manejo agronómico del experimento en Tarímbaro, Mich. P-V 2015	26
4.4.1	Diseño y parcela experimental	26
4.4.2	Siembra y manejo agronómico	27
4.5	Variables evaluadas	28
4.5.1	Variables Agronómicas	28
4.5.1.1	Días a floración femenina (FF)	28
4.5.1.2	Días a floración masculina (FM)	28
4.5.1.3	Altura de planta (AP)	28
4.5.1.4	Altura de la mazorca (AM)	28
4.5.1.5	Número total de plantas (NP)	28
4.5.1.6	Número de mazorcas (NM)	29
4.5.1.7	Acame total (ACT)	29
4.5.1.8	Cobertura de la mazorca (COB)	29
4.5.1.9	Numero de Mazorcas podridas (POD)	29
4.5.1.10	Peso de mazorca en campo (PC)	29
4.5.1.11	Porcentaje de grano (% GR)	30
4.5.1.12	Porcentaje de humedad (% H)	30
4.5.1.13	Rendimiento (REND)	30
4.5.2	Variables evaluadas en mazorca y grano	31
4.5.2.1	Longitud de mazorca (cm)	31
4.5.2.2	Diámetro de mazorca (cm)	31
4.5.2.3	Número de hileras por mazorca	31



4.5.2.4	Número de granos por mazorca	31
4.5.2.5	Diámetro de olote (cm)	31
4.5.2.6	Longitud de grano (cm)	31
4.5.2.7	Diámetro de grano (cm)	31
4.5.3	Variables evaluadas en laboratorio	32
4.5.3.1	Características físicas de la semilla	32
4.5.3.1.1	Peso de mil granos (PMG)	32
4.5.3.1.2	Peso hectolítrico (PH)	32
4.5.3.1.3	Índice de flotación (IF)	32
4.5.3.1.4	Composición estructural	33
4.5.3.1.5	Color	35
4.5.3.2	Propiedades reológicas de la semilla	35
4.5.3.3	Extracción y cuantificación de antocianinas	36
4.6	Modelo estadístico lineal aditivo	37
4.7	Análisis estadístico	39
<b>V</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>40</b>
<b>VI</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>88</b>
<b>VII</b>	<b>Literatura citada</b>	<b>89</b>

		Pág.
<b>Cuadro 3.1</b>	Producción (toneladas) de maíz en México (2010-2014)	7
<b>Cuadro 3.2</b>	Composición química de las partes principales de la semilla de maíz	12
<b>Cuadro 4.1</b>	Genealogía de las líneas utilizadas en la formación de los HNC.	25
<b>Cuadro 4.2</b>	Formación de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. P-V 2014.	25
<b>Cuadro 4.3</b>	Formación de los híbridos no convencionales pozoleros rojos P-V 2015	26
<b>Cuadro 5.1</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de las variables evaluadas en el ensayo de híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V; 2014.	40
<b>Cuadro 5.2</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo de híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2014.	43
<b>Cuadro 5.3</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de los caracteres agronómicos de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2015.	45
<b>Cuadro 5.4</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo de híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2015.	46
<b>Cuadro 5.5</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2015	48

<b>Cuadro 5.6</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de las variables de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2015.	48
<b>Cuadro 5.7</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las características físicas de la semilla de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2015	52
<b>Cuadro 5.8</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2015.	56
<b>Cuadro 5.9</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de los caracteres agronómicos de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	58
<b>Cuadro 5.10</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo de híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	60
<b>Cuadro 5.11</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	61
<b>Cuadro 5.12</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de las variables de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	62
<b>Cuadro 5.13</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	64

<b>Cuadro 5.14</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables de color y propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	67
<b>Cuadro 5.15</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza combinado de los caracteres agronómicos de los híbridos no convencionales pozoleros rojos; Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	70
<b>Cuadro 5.16</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo combinado de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	72
<b>Cuadro 5.17</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza combinado de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos; Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	75
<b>Cuadro 5.18</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza combinado de las variables de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos; Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	75
<b>Cuadro 5.19</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo combinado de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	78
<b>Cuadro 5.20</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo combinado de las características de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	81
<b>Cuadro 5.21</b>	Cuadrados medios, grados de libertad y significancia	83

estadística del análisis de varianza del contenido de antocianinas, color de grano y harina de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2015.

<b>Cuadro 5.22</b>	Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del contenido de antocianinas, color de grano y harina de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2015.	85
<b>Cuadro 5.23</b>	Híbridos no convencionales con buenas características agronómicas, características físicas y calidad pozolera. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.	87

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	Pág.
<b>Figura 3.1</b> Estructura de la semilla de maíz	11
<b>Figura 3.2</b> Estructura de las antocianinas	20

## RESUMEN

El estado de Guanajuato ocupa el quinto lugar en producción de maíz blanco y amarillo en México, sin embargo la producción de maíz pozolero rojo en el estado es escasa, no obstante que reviste gran importancia por el consumo de este tipo de grano en alimentos especiales (elotes, pozole, tostadas, gorditas) y alcanza un precio en el mercado de más de cinco veces el precio del maíz normal, lo cual constituye una alternativa para mejorar el ingreso de los productores. Con el propósito de incrementar la producción de maíz pozolero en el estado, el objetivo de la investigación fue generar híbridos no convencionales (HNC) (maíz nativo x línea endogámica), con mayor potencial de rendimiento, calidad pozolera y contenido de antocianinas, que permitan contar con otra alternativa de producción y generen mayor rentabilidad a los agricultores, con la ventaja de que la semilla sea de fácil producción y a precio accesible. En el 2014 se evaluaron las características agronómicas y potencial de rendimiento de 67 híbridos no convencionales formados en el 2013 en Celaya, Gto. De estos híbridos no convencionales se hizo una caracterización morfológica y se seleccionaron 25 híbridos no convencionales con mejores características de grano pozolero y mayor potencial de rendimiento. En el 2015 los híbridos superiores seleccionados se evaluaron en dos localidades: Celaya, Gto., y Tarímbaro, Mich. Para la evaluación del material genético se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones en ambas localidades. Se evaluaron los caracteres agronómicos; en el laboratorio se evaluaron las características físicas, color y las propiedades reológicas de las muestras de los dos ensayos., así como el contenido de antocianinas (CAT) en el ensayo de Celaya, Gto. En el análisis combinado los híbridos no convencionales fueron estadísticamente similares en rendimiento a los testigos comerciales, excepto los híbridos 3x15, 3x16 y 5x17. Los híbridos no convencionales obtuvieron un mejor rendimiento en la localidad de Celaya, Gto. Con un promedio de 6,836 kg ha<sup>-1</sup>. Los híbridos no convencionales fueron más suaves en la localidad de Tarímbaro, Mich., al presentar menor peso hectolítrico y mayor índice de flotación; respecto a la localidad de Celaya

mostraron un grano más grande, al presentar mayor peso de mil granos. Los híbridos 3x18, 5x19, 3x16, 5x17, 7x16, 6x18, 11x16, 3x15, 4x17, 2x13, 5x18 presentaron buenas características físicas y de calidad pozolera en ambas localidades, presentaron un PH de 70.7, 71.9, 69.2, 67.1, 69.9, 68.3, 71, 71.8, 70.5, 70.4, 72.9 Kg hL<sup>-1</sup>, un PMG de 503.5, 462.2, 517.4, 598.9, 544.4, 476.7, 489.7, 461, 517.3, 480.5, 551.7 g y un índice de flotación de 94, 93, 98, 100, 96, 96, 91, 92, 96, 94, 93; en la viscosidad máxima obtuvieron 4016.5, 3907.8, 3783, 3756.3, 3584, 3519.5, 3510.3, 3412.8, 3395.3, 3360.3, 3349 cP, respectivamente. Los híbridos en ambas localidades fueron de color rojo brillante que se asoció con valores promedio de luminosidad de 46.6, ángulo de tono (HUE) de 55.9° y pureza de color (CROMA) 17.5. Los testigos Antílope, H-316 y H-377 presentaron valores por debajo de los reportados para calidad de grano pozolero. En el contenido de antocianinas (CAT) los progenitores femeninos criollo J.R., GTO. 54 presentaron el mayor contenido con 343 y 221.1 mg/Kg MS, respectivamente. Los híbridos no convencionales 6x18, 5x19, 11x16 5x18 y 4x17 presentaron 213.7, 148, 135.1, 132.5, 122.5 mg/Kg MS, respectivamente. En ambas localidades destacaron estos híbridos en cuanto a las variables evaluadas.



## SUMMARY

The Guanajuato hasd State the fifth place maize production white and yellow kernel in Mexico, however production the pozolero red maize in the state is scarce, although it has of great importance for the consumption of this type of grain in specialty foods (elotes, pozole, toasts, gorditas) and its price reaches more than five times in the market compared with normal maize; so this is an alternative to improve farmers income. With the aim to increase the pozolero maize production of in the State, the objective of this research was to generate not conventional hybrids (HNC) (land race x inbred line), with higher yield potential, pozolero quality and anthocyanins content, this genotypes might allow to have a production alternative to generate higher farmers returns, with the advantage to facilitate seed production with a fordable price. For agronomic traits and yield potential during 2014 were evaluated 67 not conventional hybrids formed in 2013 in Celaya, Gto. A group of not conventional hybrids was and selected 25 based on its agronomic performance and pozolero type characteristics. During 2015 the selected superior hybrids were evaluated for agronomic traits in two locations: Celaya, Gto. and Tarímbaro, Mich. A randomized complete block design was conducted with two replicates, in both locations. In laboratory the physical characteristics, color and the rheological properties of the samples of the two trials were evaluated. As well as anthocyanins (CAT) content from Celaya, Gto trial. In the combined analysis not conventional hybrids were staisically similar in performance to commercial controls, except for hybrids 3x15, 3x16 y 5x17. Better performance of not conventional hybrids was observed at Celaya, Gto., with an average of 6, 836 Kg ha<sup>-1</sup>. The not conventional hybrids were softer at Tarímbaro, Mich., with lower test weight and higher flotation index; however at Celaya a bigger grain, size presenting greater thousand grains weight. The hybrid 3x18, 5x19, 3x16, 5x17, 7x16, 6x18, 11x16, 3x15, 4x17, 2x13, 5x18 presented good physical characteristics and of pozolera quality at both locations, presented a PH of 70.7, 71.9, 69.2, 67.1, 69.9, 68.3, 71, 71.8, 70.5, 70.4, 72.9 Kg hL<sup>-1</sup>, a PMG of 503.5, 462.2, 517.4, 598.9, 544.4, 476.7, 489.7, 461, 517.3, 480.5, 551.7 g and flotation index of

94, 93, 98, 100, 96, 96, 91, 92, 96, 94, 93; in the maximum viscosity obtained 4016.5, 3907.8, 3783, 3756.3, 3584, 3519.5, 3510.3, 3412.8, 3395.3, 3360.3, 3349 cP, respectively. The hybrids in both locations were bright red that was associated with average luminosity values of 46.6, tone angle (HUE) of 55.9° and color purity (CROMA) 17.5. The controls Antelope, H-316 and H-377 presented lower values than pozolero grain quality. The anthocyanins (CAT) content parented landraces Criollo J. R., and Gto. 054 presented higher content with 343, 221.1 mg/Kg MS, respectively. The not conventional hybrid 6x18, 5x19, 11x16 5x18 y 4x17 presented 213.7, 148, 135.1, 132.5, 122.5 mg/Kg MS, respectively. In both locations these hybrids highlighted the variables evaluated.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los tres cereales básicos que alimentan a la humanidad, y es el cultivo más importante en México. Los principales granos que se producen en el mundo son maíz, trigo, arroz, cebada, sorgo y avena (FAO, 2016).

México ocupa el séptimo lugar como productor de maíz, con 23.5 millones de toneladas (FAO, 2015). A nivel nacional la producción de maíz de grano blanco fue de 21'209,179 t. La producción de maíz de grano pozolero fue de 29,810 t; la mayor producción se centra en el Estado de México y Morelos. El estado de Guanajuato tiene una producción escasa (SIAP, 2015).

En la actualidad se presenta un incremento de la demanda de maíces pozoleros con fines de consumo local y de exportación, por lo que es apremiante desarrollar variedades o híbridos con mayor potencial de rendimiento para ofrecer otra alternativa de producción con valor agregado. Por su calidad de grano, el maíz pozolero llega alcanzar hasta cinco veces más el precio normal del grano blanco (CONABIO, 2010).

El maíz forma parte de la cultura del pueblo mexicano; la presencia de este grano en todo el territorio está representada a través de 59 razas plenamente identificadas (Ortega *et al.*, 2011). Entre ellas se encuentra la raza Elotes Occidentales, que se caracteriza por sus mazorcas alargadas con bajo número de hileras por el desarrollo de granos grandes y textura harinosa, con coloraciones que van del rosa al morado, pasando por violáceo y rojo, ideales para la elaboración de pozole o para degustarlo como elote tierno. Se distribuye principalmente en el occidente del país, en Nayarit, Jalisco, Michoacán y Guanajuato (CONABIO, 2010).

Gran parte de la diversidad genética del maíz se concentra en América, principalmente en México, donde se le consume en forma de tortillas, arepas, pinoles, atoles, tostadas, botanas, tamales, pozole y elotes, entre otros alimentos. La

elaboración de cada uno de estos productos requiere de granos con características de color, tamaño y dureza específicas (Narváez-González *et al.*, 2007a).

El pozole es un platillo prehispánico originario de México, ampliamente consumido en nuestro país. El maíz en forma de grano floreado es el principal ingrediente y la base para la elaboración de este platillo; puede contener carne de cerdo, pollo o de otro tipo, y se complementa con verduras crudas como rábano, lechuga y cebolla. Cada región emplea una raza de maíz diferente para la elaboración de pozole, por lo que hasta ahora se han identificado al menos 16 razas que son utilizadas con este propósito: Cacahuacintle, Ancho, Elotes Occidentales, Tabloncillo, Jala, Bofo, Harinoso de Ocho, Gordo, Blando de Sonora, Tabloncillo Perla, Chalqueño, Mushito, Mushito de Michoacán, Elotes Cónicos, Tuxpeño y Bolita; estas razas son consideradas como maíces para usos especiales, debido a que se utilizan para la preparación de alimentos específicos. La principal desventaja de la mayoría de estas razas de maíz es que se desarrollan en nichos ecológicos muy específicos para autoconsumo (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2016).

El color de los maíces pigmentados (azules, rojos, violetas) lo imparten las antocianinas, pigmentos naturales antioxidantes que neutralizan los radicales libres, moléculas cuya acumulación en el organismo está relacionada con diversas patologías y enfermedades. Además, se emplean como colorantes naturales en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética para remplazar los colorantes sintéticos, debido a su naturaleza, inocuidad y funcionalidad. Entre estos colorantes naturales se encuentran las antocianinas, que se distribuyen ampliamente en el reino vegetal y están presentes en raíces, tallos, hojas, flores y frutos de las plantas superiores (Gorriti *et al.*, 2009).

El término antocianinas significa flor azul, son pigmentos naturales pertenecen a la familia de los flavonoides; son interesantes por su impacto sobre las características sensoriales de los alimentos, las cuales pueden influenciar su comportamiento

tecnológico durante el procesamiento de alimentos y la segunda, por su implicación en la salud humana. Numerosos estudios indican el potencial de esta familia de flavonoides, en la reducción de la incidencia de enfermedades como el cáncer e hiperglucemias, entre otras; a través de la ingesta de alimentos ricos en antocianinas (De Pascual-Teresa y Sánchez-Ballesta, 2008).

El uso de los maíces pigmentados es básicamente en alimentos tradicionales como elotes cocidos, tortillas y antojitos hechos con la masa obtenida después de nixtamalizarlo; también se utilizan para la elaboración de bebidas fermentadas de maíz como el pozol y el tesgüino (a base de maíz, agua y piloncillo) (Fernández *et al.*, 2013). El grano de maíz pigmentado es más nutritivo, debido a su endospermo harinoso que contiene 2.3 mg/g de lisina, en comparación con otras variedades como el maíz híbrido amarillo que contiene 1.4 mg/g de lisina; además de tener un alto contenido de proteínas y minerales. (Antonio *et al.*, 2004).

Aun no se cuenta con un paquete tecnológico definido ni optimizado para el manejo agronómico del maíz pigmentado, que considere el desarrollo de híbridos altamente productivos y con mejores características texturales del grano. La mayoría de los maíces sembrados en el país son variedades locales (nativas, más del 80 %). Estos maíces tienen muy bajos rendimientos y presentan problemas de acame que pueden alcanzar más del 30 % de las variedades sembradas (Serna *et al.*, 2011). Con base a los planteamientos expuestos, en la presente investigación se expusieron los siguientes objetivos:

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Generar híbridos no convencionales de la raza Elotes Occidentales, con características agronómicas, calidad para pozole y contenido de antocianinas superiores a los de testigos comerciales.

### 2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar 67 híbridos no convencionales con características físicas de grano superiores a los normales.
- Identificar genotipos estables en su rendimiento y características agronómicas, en comparación con testigos comerciales de grano blanco.
- Seleccionar genotipos con características físicas y calidad de acuerdo a lo demandado para la elaboración de pozole.
- Determinar el contenido de antocianinas en el grano de los HNC de maíces pigmentados de la raza Elotes Occidentales.

### 2.3. Hipótesis

- Los híbridos no convencionales de maíz pozolero tienen potencial de rendimiento de grano y características agronómicas similares a los testigos comerciales.
- Los híbridos no convencionales de maíz pozolero tienen propiedades físicas y calidad para pozole semejante al de las razas regularmente usadas para elaborar este alimento.
- Existe alto contenido de antocianinas en el grano de maíz pozolero pigmentado.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos de mayor importancia en todo el mundo, quizás debido a su versatilidad. No solamente se le utiliza para consumo humano, sino también como alimento para el ganado en forma de forraje, ensilaje, grano y para la producción de biocombustibles como etanol y para usos industriales (fabricación de bebidas, productos farmacéuticos y cosméticos, papel, textiles, pegamentos, etc.) Sin embargo, la nutrición humana sigue siendo uno de los usos principales (Lago *et al.*, 2014).

Es una de las especies cultivadas más productivas. Es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética; confiere alta eficiencia en el uso del agua. Tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo (Paliwal *et al.*, 2001). Por sus características de alta eficiencia de conversión de recursos y alto rendimiento por hectárea, es uno de los cultivos más aptos para la producción de almidón y biocombustibles como el bioetanol (Arvizu-Fernández, 2011). El consumo de este cereal se realiza de diferentes formas como “tortillas”, “arepas”, “pinoles”, “atoles”, “tostadas”, “botanas”, “tamales” y “elotes”, entre otros alimentos. La elaboración de cada uno de esos productos requiere de granos con características de color, tamaño y dureza específica (Narváez-González *et al.*, 2007a).

#### 3.1. Importancia mundial

El maíz es el primer cultivo del mundo por su producción. Es de gran importancia económica a nivel mundial como alimento humano en numerosos países en desarrollo, a los que suministra cantidades significativas de nutrientes, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. A nivel mundial México ocupa el séptimo lugar de producción con 23.5 millones de toneladas (FAO, 2015).

Tiene usos múltiples y variados. Es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. Los jilotes jóvenes del maíz (maíz *baby*) cosechado antes de la floración de la planta es usado como hortaliza. Las mazorcas tiernas de maíz dulce son un manjar refinado que se consume de muchas formas. Los elotes de maíz común también son usados en gran escala, asados o hervidos, o consumidos en el estado de pasta blanda en numerosos países. La planta de maíz, que está aún verde cuando se cosechan las mazorcas *baby* o los elotes tiernos, proporciona un buen forraje (FAO, 2016).

Existen más de 3,500 usos para los productos que se extraen del maíz. Los granos, hojas, flores y tallos son aprovechados para la fabricación de productos tales como, jabones, cosméticos y lociones para afeitar. La hoja de maíz, o "totomoxtle", es ampliamente utilizada para fabricar objetos rituales o artesanales como recipientes y para amarrar manojos de hierbas y especias. Pero, sin duda, es una pieza importante en la elaboración de tamales (Kato *et al.*, 2009; Andrés-Meza *et al.*, 2014).

Es empleado como carburante, e incluso la proteína, mejor conocida como zeína, puede mezclarse con algún plastificante y formar con ello polímeros comestibles y gomas de mascar. Debido a su versatilidad y propiedades alimenticias, esta planta es, sin lugar a dudas, una de las mejores aportaciones de Mesoamérica para el mundo. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo (Paliwal *et al.*, 2001).

### **3.2. Importancia nacional**

Desde el punto de vista alimentario, político, económico y social, el maíz es el cultivo más importante del país. Basta con decir que el consumo per cápita de maíz en México es aproximadamente 10 veces mayor que el de Estados Unidos de América (Fernández *et al.*, 2013). Este cultivo ocupa el 33 % de la superficie sembrada en el territorio nacional (FND, 2015). De la superficie total sembrada con maíz, la mayor



parte (80 %) es de temporal o seco. Más de la mitad de la producción nacional de maíz proviene de este sistema, el cual es conocido como de subsistencia; los maíces mejorados (híbridos) ocupan tan solo 20 % de la superficie total sembrada (Turrent-Fernández et al., 2012).

México es uno de los principales países productores de maíz a nivel mundial; se reporta una superficie cultivada de aproximadamente 7.5 millones de hectáreas. En los últimos cinco años, la producción nacional tuvo un promedio de 21.7 millones de toneladas por año (Cuadro 3.1; SIAP, 2016)

**Cuadro 3.1.** Producción (toneladas) de maíz en México (2010-2014)

Maíz/Año	2010	2011	2012	2013	2014
Total	23 303 769	17 635 890	22 072 527	22 666 184	23 261 372
Blanco	21 165 672	15 873 783	20 179 483	20 296 176	20 710 884
Amarillo	2 018 370	1 692 410	1 765 571	2 230 190	2 422 715
Otros colores	76 843	42 254	93 531	95 358	86 822
Pozolero	40 994	26 970	30 669	42 229	38 593
Palomero	1 890	473	3 273	2 231	2 358

Fuente: SIAP, 2014

Del 2010 a 2014, el maíz blanco representó entre el 89.04 y 91.42 % del total de la producción; el maíz amarillo, entre el 8.00 y 10.42 %; los maíces de otros colores representaron del 0.24 a 0.42 %; el maíz palomero y el pozolero representaron del 0.01 y 0.14-0.19 %, respectivamente. El maíz se produce en todas las regiones del país, en una gran diversidad de condiciones agroclimáticas. Los principales estados productores son: Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Estado de México, Chihuahua, Guerrero, Veracruz, Chiapas y Puebla (SIAP, 2014).

### 3.3. Generalidades del maíz

#### 3.3.1. Origen del Maíz

La evidencia genética y molecular indica que el maíz es descendiente de una especie anual de teocintle (*Zea mexicana mays* subsp. *Parviglumis*) localizada en el centro de la cuenca del Balsas en la vertiente del Pacífico en los Estados de Michoacán y Guerrero. Los datos genéticos y moleculares proporcionan cronologías estimadas para la domesticación del maíz. El análisis de un gran número de microsatélites de genomas de maíz y teocintle sugieren que la domesticación ocurrió hace aproximadamente 9.100 años (Pohl *et al.*, 2007).

Una de las evidencias más antiguas sobre el origen del maíz se encuentra en restos arqueológicos situados en una cueva localizada en la región de Mitla, en el montañoso valle central de Oaxaca a 1926 msnm en un bosque de matorral semiárido. En la mayoría de los años, la precipitación anual es inferior a 600 mm (Piperno y Flannery, 2000).

La domesticación del maíz, en la cual otras civilizaciones además de las Mesoamericanas participaron en su logro, se considera como la primera etapa en la que se produjo la diversidad y evolución del maíz. Posteriormente, la etapa de mejoramiento tuvo como objetivo aumentar el rendimiento, calidad de grano y adaptación al ecosistema. El cultivo de maíz se localiza en todo el Continente Americano y prácticamente en todo el mundo, gracias a las migraciones humanas, selección natural o artificial, aislamiento, endogamia y mutaciones, además del entrecruzamiento de variedades (Jaenicke-Despres *et al.*, 2003).

### 3.3.2. Clasificación taxonómica del genero Zea

El género *Zea* pertenece a la familia *Poaceae* que comprende más de 600 géneros; sólo dos son del Nuevo Mundo: *Tripsacum* y *Zea* (Galinat, 1971). El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia *Gramineae*, subfamilia *Panicoideae* y tribu *Andropogoneae*, en la cual incluyen siete géneros distintos: *Zea* (como teocintle), *Tripsacum* (conocidas como arrocillo o maicillo), *Coix*, *Chionachne*, *Sclerchne*, *Polytoca* y *Trilobachne* (Paliwal *et al.*, 2001).

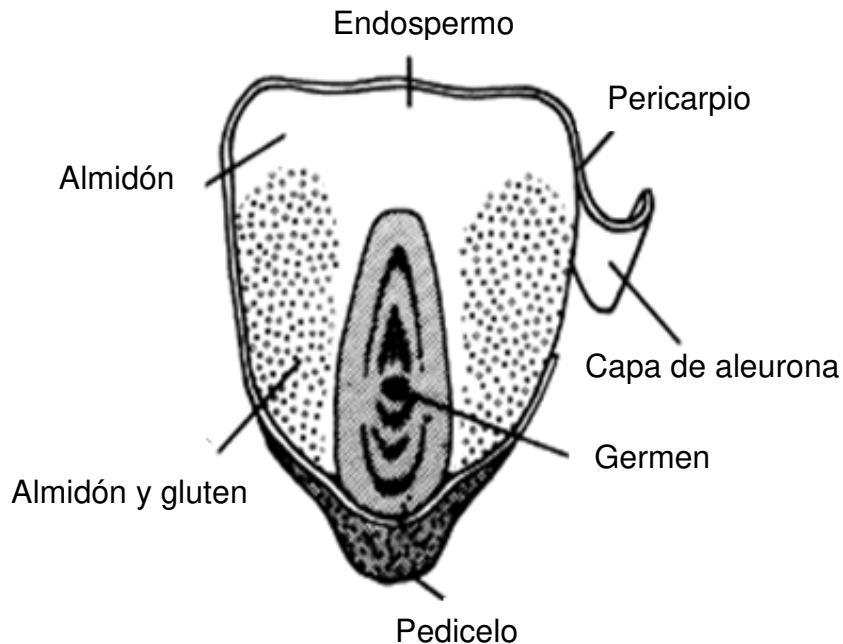
### 3.3.3. Descripción botánica del maíz

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual; el tallo es simple, erecto, con longitud de 1 a 5 m, con pocos macollos o ramificaciones. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas; presenta raíces adventicias que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta. Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, se conoce como panícula (o espiga) consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay 3 estambres donde se desarrollan los granos de polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada. Las inflorescencias femeninas (mazorca) se localizan en las yemas axilares de las hojas; son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva; estas flores se arreglan en hileras paralelas; las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde

germina el polen. La inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de 8 a 24 hileras por mazorca; todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas (totomoxtle); los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso; se conocen como pelos de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas, el maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento; la gran mayoría de los granos de polen pueden viajar de 100 m a 1000 m (Kato *et al.*, 2009).

#### **3.3.4. Composición del grano de maíz**

El grano de maíz maduro es un fruto (cariópside) compuesto por cuatro partes principales: pedicelo, pericarpio (cáscara), endospermo y germen o embrión (Kato *et al.*, 2009). El pedicelo constituye aproximadamente el 1 % del peso seco del grano. Está compuesto de células en forma de estrellas, arregladas en una estructura esponjosa bien adaptada para una rápida absorción de humedad (Ramírez, 2006). En la Figura 3.1 se muestra la estructura del grano de maíz (Shukla y Cheryan, 2000)



**Figura 3.1.** Estructura del grano de maíz (Shukla y Cheryan, 2000).

El pericarpio está constituido de fibra; es un compuesto de tubos celulósicos muertos; estos tubos proporcionan interconexiones capilares entre varias células, por lo que facilita la absorción de agua (Hundal y Takhar, 2009). Constituye aproximadamente el 6 % del peso total del grano y corresponde a la pared ovárica, que una vez desarrollada cubre totalmente el grano de maíz. La coloración externa del grano depende muchas veces del pericarpio y no del endospermo; esta coloración puede ser naranja, roja, morada o de varios colores y depende de la presencia de taninos y pigmentos antociánicos (Ramírez, 2006).

El endospermo representa la mayor proporción del grano, con aproximadamente 82 a 84 % del peso total; está formado por 86 a 89 % de almidón, dependiendo de la variedad; funciona como reserva energética para la plántula durante su desarrollo (Hundal y Takhar, 2009). Está compuesto de dos regiones, una harinosa y otra vítrea o cristalina. La proporción de estas fracciones determina la dureza del grano; a mayor fracción harinosa, el grano es más suave y viceversa (Watson, 2003).

El germen contribuye alrededor del 11 % del peso seco del grano y está compuesto principalmente de proteínas y lípidos (Hundal y Takhar, 2009). Su función biológica es la de producir una nueva planta bajo condiciones ambientales apropiadas (Ramírez, 2006).

La composición química del grano de maíz depende de varios factores, como condiciones de cultivo, temperatura, variedad, contenido de nutrientes y tipo de maíz (Cowieson, 2005). En el Cuadro 3.2 se muestra la composición nutricional básica del grano de maíz (Watson, 2003).

**Cuadro 3.2.** Composición química de las partes principales del grano de maíz.

Componente químico	Pericarpio (%)	Endospermo (%)	Germen (%)	Total (%)
Proteínas	3.7	8.0	18.4	9.91
Lípidos	1.0	0.8	33.2	4.78
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8	2.66
Cenizas	0.8	0.3	10.5	1.42
Almidón	7.3	87.6	8.3	71.5
Azúcar	0.34	0.62	10.8	2.58

Fuente: Watson, 2003

### 3.3.5. Clasificación del Maíz por el tipo de grano

El maíz presenta una considerable diversidad de tipos según varios criterios: la constitución del endospermo y el grano, su color, el ambiente de cultivo, la madurez y su uso. Los maíces más importantes en términos económicos son los tipo harinoso, dentado y duro (Acosta, 2009). El citado autor hace una clasificación del maíz como:

#### **Maíz Duro**

Sus granos son redondeados y duros al tacto. El almidón de su endospermo es fundamentalmente vítreo y duro, presenta una madurez temprana y un menor

rendimiento. Son muy utilizados para la alimentación humana, para hacer fécula de maíz o para la alimentación animal.

### **Maíz Reventador**

Tienen endospermo duro. Los granos son redondos y oblongos, de tamaño pequeño. Cuando se someten al calor tienen la capacidad de explotar. Su grano es esférico y pequeño con un núcleo harinoso y una cubierta cristalina. La humedad atrapada en su interior se expande con el calor y estalla a través de la cubierta dura, creando las palomitas de maíz. También se le llama palomero. Ocupa menos del uno por ciento de la producción mundial.

### **Maíz Dentado**

Su nombre se debe a que tiene forma de diente. Es el más utilizado para grano y ensilaje. Este tipo de maíz tiene mayor cantidad de endospermo blando, por lo que el tipo duro se limita sólo a ciertas partes del grano. Su endospermo está formado por almidón corneo cristalino. Su cultivo presenta un mayor rendimiento, pero son más susceptibles que los duros al ataque por hongos e insectos. Muchos de los maíces dentados cultivados tienen granos de color blanco, preferidos para el consumo humano o tienen granos amarillos, los cuales son preferidos para la alimentación animal. Ambos tipos son importantes para alimentación animal y para usos industriales (Paliwal *et al.*, 2001).

### **Maíz Harinoso**

Se distribuye en diversas regiones de México y en zonas altas de la región andina. Tiene mayor cantidad de almidón blando. Se distingue por un mayor tamaño de grano; se usa para la alimentación humana y para la elaboración de bebidas y platillos especiales. Presenta una amplia gama de colores y es muy susceptible a patologías causadas por insectos. En este tipo de maíz se encuentra el maíz pozolero.

**Maíz Ceroso**

Se caracteriza por presentar aspecto ceroso en el endospermo. En el maíz normal, la molécula de almidón está compuesta por 75 % de amilopectina y 25 % de amilosa. En cambio, en el maíz ceroso, el almidón está constituido por 100 % de amilopectina, lo que origina un almidón de característica gomosa parecido al de la yuca.

**3.4. Condiciones edafológicas****Suelo**

El maíz se adapta bien a todo tipo de suelos, especialmente los ligeramente ácidos, profundos, ricos en materia orgánica, con buen drenaje para evitar encharcamientos que asfixiarían las raíces (SIAP, 2016).

**Temperatura**

El suelo necesita tener una temperatura mínima de 12 °C para la siembra de maíz. Para que la semilla germine, necesita de 15 a 20 °C. El maíz requiere temperatura cálida, entre 25 y 30 °C; sufre estrés a temperaturas mayores de 30 °C o menores de 8 °C (SIAP, 2016).

**Precipitación y riego**

Cada etapa del cultivo de maíz demanda diferentes cantidades de agua. Cuando emerge del suelo requiere menor cantidad, manteniendo una humedad constante. En la fase de crecimiento vegetativo debe tener suficiente agua; la etapa de floración es de mayor importancia; de ella depende el llenado de los granos, influyendo así en el rendimiento. El número de riegos depende de las condiciones de siembra (riego o punta de riego), condiciones del clima, disponibilidad de agua y tipo de suelo (Reyes, 1990).



### 3.5. Diversidad genética del maíz en México

El conocimiento de la diversidad del maíz en México ha afianzado los programas de mejoramiento, en el cual se forman variedades de maíz de alto valor o adaptadas localmente que se cultivan mundialmente (FAO, 2016). La diversidad genética ha sido aprovechada por los programas de mejoramiento genético, que se han enfocado en el vigor híbrido manifestado entre patrones heteróticos específicos, en características como el rendimiento, resistencia a plagas, enfermedades y estrés., sin embargo no ha considerado los factores de calidad de las variedades nativas (Mauricio *et al.*, 2004).

México es considerado el centro de origen del maíz y de su diversidad, representada por gran cantidad de razas y variedades (mejoradas, tradicionales o nativas), cultivadas durante años (Kato *et al.*, 2009). En los últimos años se ha incrementado el estudio, mejoramiento y cultivo de maíces nativos, con la finalidad de orientarlos hacia un uso final específico y así aumentar su valor en beneficio de los productores (Gaytán-Martínez *et al.*, 2013). Se define como raza de maíz a un grupo de variedades que tienen la mayoría de sus características similares o idénticas. Que puede transmitir con fidelidad sus características a las generaciones siguientes y ocupa un área ecológica específica. Con este criterio, las colectas de maíz en diversas partes del mundo fueron clasificadas como razas (Wellhausen *et al.*, 1951). Dicho autor y colaboradores describieron las primeras 25 razas de maíz en México; su trabajo es la base de la mayor parte del conocimiento que hay sobre los maíces de nuestro país.

Ortega *et al.* (2011) menciona que la presencia de este grano en todo el territorio está representada a través de 59 razas. Entre ellas se encuentran algunas que tienen grano de tipo pozolero (Ancho y Elotes Occidentales).

### **Raza Elotes Occidentales**

Wellhausen *et al.* (1951) dividió a las razas de maíz en México en cuatro grupos, ubicando a la raza Elotes Occidentales dentro del grupo de razas “Exóticas Precolombinas”. Denominada de tipo pozolero; apreciada por el tamaño de su grano así como por su textura harinosa, presentan granos suaves de fácil reventado. Es el complejo de maíz harinoso de ocho a diez hileras del occidente de México, modificado ligeramente en la altiplanicie de Jalisco y la zona costera de Nayarit. Distribuida a bajas elevaciones en el oeste y el noroeste de México. Las plantas de esta raza crecen entre 2.5 y 3.0 metros; tiene espigas medianamente ramificadas; su ciclo es intermedio-precoc a intermedio-tardío, presenta mazorcas delgadas. El grano es harinoso a semidentado, de color morado o rojo (Ron *et al.*, 2006).

Se adapta bien a las zonas intermedias, entre los 1000 a 2000 msnm. Este grupo parece estar asociado morfológicamente con las razas del noroeste de México, presentando una relación más estrecha entre: Harinoso de Ocho, Tabloncillo Perla, Tabloncillo, Bofo, Blando de Sonora, Onaveño y Reventador. Esta raza se encuentra distribuida en los estados de Michoacán, Jalisco, Guanajuato y Nayarit, pero existe infiltración de esta raza en maíces de Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Ballesteros, 2013).

### **3.6. Generalidades del pozole**

La palabra pozole puede tener tres orígenes; puede provenir del término en náhuatl pozolli que significa “espumoso”, de pozol que significa “espuma”, o del cahíta posoli que significa “cocer maíz”. La historia más aceptada sobre el origen del pozole se remonta a la época de la conquista cuando Fray Bernardino de Sahagún en su obra menciona que en las ceremonias en honor de Xipe Tótec se cocía maíz con la carne de los guerreros sacrificados en los ritos solares; estos hechos fueron avalados por estudios realizados por antropólogos que han recabado recetas de cocina de los frailes españoles de esa época (Rodríguez, 2010; Vázquez-Carrillo *et al.*; 2016).

El pozole es un platillo típico de México, elaborado con granos de maíz suave, nixtamalizado en forma tradicional y hervido hasta que el grano forma una estructura parecida a una flor (Vázquez y Santiago, 2013). Este platillo culinario se ha conservado hasta nuestros días debido al mestizaje, que lo regeneró con su exquisito sabor actual. Para la elaboración del pozole, el maíz debe cumplir con algunas características específicas en cuanto a la calidad del grano, como lo son: tamaño, textura y color, entre otros (Ballesteros, 2013).

### **3.6.1. Proceso de nixtamalización**

La nixtamalización tradicional (cocción alcalina) es una técnica precolombina usada para la transformación del maíz para el consumo humano. Este procedimiento era crítico para mejorar el valor nutricional del maíz y en la fabricación de productos que son ampliamente consumidos hoy y se convierten en los alimentos básicos de México y Centroamérica. Algunos productos de maíz en la industria se elaboran utilizando el proceso tradicional de la nixtamalización; entre esos alimentos tenemos las tortillas, pozole, tamales, atoles, pozol, tlayudas, totopos, bocados, tacos, tostadas, enchiladas y nachos, entre otras dietas de México y América Central (Figuerola *et al.*, 2013).

Del Pozo-Insfran *et al.* (2006) mencionan que la nixtamalización (cocimiento en cal) es un proceso autóctono de las culturas mesoamericanas, conocidas desde tiempos prehispánicos, que consiste en la cocción alcalina de granos de maíz en una solución de hidróxido de calcio. Este proceso es responsable de importantes características fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales de los productos a base de maíz, incluyendo la eliminación del pericarpio, la incorporación de calcio en los granos, la mejora de la biodisponibilidad de niacina y la formación de compuestos de sabor y color que imparten características organolépticas típicas a los productos finales.

Los maíces de endospermo suave se hidratan mejor que los de endospermo duro durante el proceso de nixtamalización, debido a que los gránulos de almidón son

más fácilmente alcanzados por el agua, por tener menor cantidad de cuerpos de zeína circundándolos que los de endospermo duro (Watson, 2003).

El grado de compactación de los cuerpos celulares del endospermo, el tamaño y morfología de los gránulos de almidón y la relación entre endospermo duro y blando, son características micro estructurales importantes de los granos de maíz relacionados con las propiedades térmicas y reológicas. Los granos muy compactos desarrollaron viscosidades pico y final muy bajos; gránulos de almidón pequeños y poligonales requieren más tiempo y temperaturas más altas para gelatinizar. (Narváez-González *et al.*, 2006).

Durante el cocimiento, los complejos amilosa-lípidos formados aumentan la temperatura de gelatinización del almidón, dando una estructura esponjosa, textura suave y altas propiedades de hinchamiento en el maíz pozolero. (Figueroa *et al.*, 2013).

### **3.7. Maíces pigmentados**

Según la morfología y la textura de los granos, se pueden encontrar varios tipos de maíz, entre los que se encuentran los maíces pigmentados, los cuales contienen pigmentos vegetales derivados de los flavonoides que son precisamente los que le dan su coloración característica. Estos pigmentos son las antocianinas que otorgan colores que van del azul al rojo, dependiendo del tipo y concentración de antocianina contenida (Jonguitud *et al.*, 2010).

El maíz de color tiene diferentes pigmentos y demás sustancias con capacidad antioxidante que puede ser muy beneficioso para la salud humana. Hay una clara relación entre el contenido de pigmentos y la capacidad antioxidante y varios autores han informado que un mayor contenido de compuestos de pigmento en granos de maíz se asocia a una mayor capacidad antioxidante (Rodríguez *et al.*, 2013).

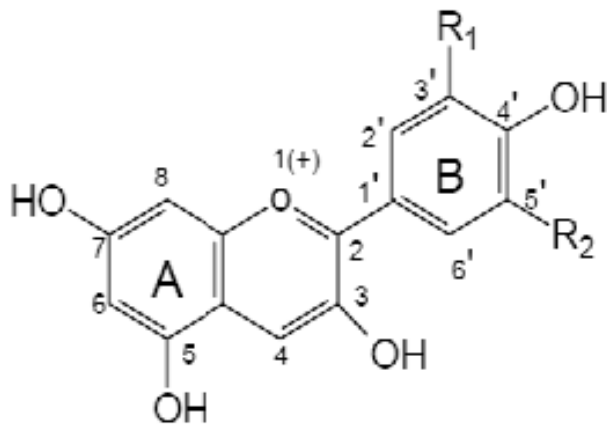
Estas tonalidades de colores se deben a las antocianinas, uno de los principales grupos de pigmentos vegetales visibles al ojo humano (Salinas *et al.*, 2013). Los maíces pigmentados son producidos por agricultores de subsistencia, en suelos marginales y en pequeñas superficies, y la mayor parte de su producción es para autoconsumo (Fernández *et al.*, 2013).

El contenido y tipo de antocianinas en el grano de maíz varían de acuerdo con el color del grano y la concentración del pigmento en las distintas estructuras. Salinas *et al.* (2013) encontraron que los granos de color rojo magenta concentran las antocianinas en el pericarpio y la capa de aleurona y poseen hasta 10 veces más antocianinas que los de grano azul/morado, cuyas antocianinas se concentran en la capa de aleurona.

Los diferentes colores de granos de maíz difieren en el contenido de pigmento. Rodríguez *et al.* (2013) encontraron que los granos negros tienen más antocianinas que cualquier otra clase de color, seguido de púrpura y los granos de color rosa, mientras que no hay diferencias en el color amarillo y blanco. Sin embargo, la capacidad antioxidante del extracto de antocianina no es diferente entre granos negros y granos púrpuras, ni entre rosa, amarillo y blanco.

### **3.7.1. Generalidades de las antocianinas**

Las antocianinas son un grupo de pigmentos de color rojo, hidrosolubles, ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Químicamente, las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están constituidas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que se le une un azúcar por medio de un enlace  $\beta$ -glucosídico. La estructura química básica de estas agliconas es el ión flavilio (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2011). En la Figura 3.2 se muestra la estructura de las antocianinas (Astrid-Garzón, 2008).



**Figura 3.2.** Estructura de las antocianinas (Astrid-Garzón, 2008).

Las antocianinas son importantes por dos razones. La primera por su impacto sobre las características sensoriales de los alimentos, las cuales pueden influenciar su comportamiento tecnológico durante el procesamiento de alimentos, y la segunda, por su implicación en la salud humana a través de diferentes vías (De Pascual-Teresa y Sánchez-Ballesta, 2008; Aguilera-Ortiz *et al.*, 2011).

Las antocianinas en el grano de maíz se acumulan predominantemente en el pericarpio, en la aleurona o en ambas estructuras. Pertenecen al grupo de los flavonoides y su estructura básica es un núcleo de flavón, el cual consta de dos anillos aromáticos unidos por una unidad de tres carbonos. El nivel de hidroxilación y metilación en el anillo “B” de la molécula determina el tipo de antocianidina, que es la aglicona de la antocianina. Aunque se han descrito doce diferentes antocianidinas, las más comunes en plantas son: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina y malvidina. Las tres primeras son más frecuentes en frutos, en tanto que el resto lo son en flores (Salinas-Moreno *et al.*, 2012a).

Las antocianinas están presentes en diferentes órganos de las plantas, tales como frutas, flores, tallos, hojas y raíces. Estos pigmentos son normalmente encontrados disueltos uniformemente en la solución vacuolar de células epidérmicas. Sin embargo, en ciertas especies, las antocianinas son localizadas en regiones discretas de la vacuola celular, llamadas antocianoplastos (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2011). La principal fuente de antocianinas son frutas rojas, principalmente bayas y uvas rojas, cereales, principalmente maíz morado, vegetales y vino rojo entre las bebidas (Escribano-Bailón *et al.*, 2004).

### **3.7.2. Propiedades funcionales**

El interés en los pigmentos antociánicos se ha intensificado recientemente debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas (Astrid-Garzón, 2008). Durante el paso del tracto digestivo al torrente sanguíneo de los mamíferos, las antocianinas permanecen intactas (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2011) y ejercen efectos terapéuticos conocidos que incluyen la reducción de la enfermedad coronaria, efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos; además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo.

### **3.8. Mejoramiento genético de maíz**

De la superficie total de maíz sembrada en México, la mayor parte es de temporal o secano, fundamentalmente a cargo de más de 2 millones de productores a pequeña escala, quienes lo siembran sobre todo para autoconsumo. Más de la mitad de la producción nacional de maíz proviene de este sistema (Turrent-Fernández *et al.*, 2012; Fernández *et al.*, 2013).

Los maíces nativos presentan características agronómicas indeseables tales como: porte alto de planta y mazorca, susceptibilidad al acame, susceptibilidad a plagas y enfermedades de planta y mazorca o ciclo largo de madurez cuando se siembran fuera de su área de adaptación. La aplicación de la metodología de híbridos no convencionales o mestizos permite incorporar germoplasma de maíz nativo o

mejorado a los pares heteróticos actuales o cruza simples sobresalientes, y de esta manera, aprovechar la diversidad genética de maíz que existe en México (Ramírez-Díaz *et al.*, 2015).

El fitomejoramiento es el arte y la ciencia de utilizar y dirigir la herencia de las plantas para obtener cultivares mejorados genéticamente (variedades o híbridos), adaptados a condiciones específicas, con mayores rendimientos económicos y de mejor calidad que las variedades nativas (Vallejo y Estrada, 2002). La variedad mejorada se define como el conjunto de plantas con cierto nivel de uniformidad, producto de la aplicación de alguna técnica de mejoramiento genético, con características bien definidas: mayor rendimiento que las variedades que le antecedieron, así como condiciones favorables de calidad, precocidad, resistencia a plagas y enfermedades (Espinosa *et al.*, 2008).

Las variedades nativas o mejoradas de polinización libre tienen arraigo entre los agricultores, pero su potencial de rendimiento es limitado, por lo que es necesario combinarlas con híbridos bajo la finalidad de mejorar sus características agronómicas y elevar su productividad (Espinosa *et al.*, 1999) Observaron que los híbridos no convencionales superaron en rendimiento a las variedades nativas y mejoradas de polinización libre hasta en 40 %. En las variedades no convencionales se mejoraron algunas características agronómicas como posición de mazorca, altura de planta, tolerancia al acame y precocidad. Este tipo de metodologías representa una buena opción para incrementar el rendimiento de grano y mejorar las características agronómicas, la variedad local garantiza la adaptación y la diversidad genética para tener heterosis al cruzarse con la variedad mejorada. Esta opción facilita la producción de semilla y, por ende, una más rápida adopción por parte de los productores.



## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Ubicación de los Experimentos

El trabajo de investigación se inició con una evaluación de 67 híbridos no convencionales en el ciclo primavera-verano 2014 en las instalaciones del Campo Experimental Bajío (CEBAJ), que pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); ubicado en el km. 6.5 de la carretera Celaya-San Miguel de Allende, en Celaya, Guanajuato, con las siguientes coordenadas 20° 34' N y 100° 50' O, a una altura de 1752 msnm. Con un clima semiseco semicálido, con un rango de temperatura de 14-20 °C. Con una precipitación pluvial promedio de 575 mm anuales. El tipo de suelo que compone el municipio es vertisol (71.79 %) el cual cubre la planicie con capas de arcilla limosa, phaeozem (10.33 %) y leptosol (5.17 %) (INAFED, 2010; INEGI, 2010).

En el ciclo primavera-verano 2015 se evaluaron 25 genotipos seleccionados del ciclo anterior en dos localidades: en el Instituto Tecnológico de Roque ubicado en el km. 8 carretera Celaya-Juventino Rosas y en Tarímbaro, Michoacán, con las siguientes coordenadas: 19° 42' N y 101° 11'O, a una altura de 1941 msnm. Tarímbaro, Michoacán, presenta un clima templado subhúmedo, con un rango de temperatura de 16-18 °C. La precipitación pluvial es de 600-800 mm. Los suelos del municipio son principalmente phaeozem (55.59 %), vertisol (39.73 %), luvisol (1.93 %) y leptosol (0.11 %) (INEGI, 2010).

### 4.2. Material genético

Los híbridos no convencionales fueron generados por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del INIFAP en el Campo Experimental Bajío en Celaya, Gto. En el ciclo primavera-verano 2013. El material está compuesto por maíces nativos seleccionados de una colecta financiada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) del 2010, cruzadas con líneas desarrolladas por el mismo Programa de Maíz, este grupo de líneas fueron

desarrolladas a través del método genealógico (selección por pedigree), donde se involucró diverso germoplasma nativo y mejorado adaptado a regiones subtropicales. En el Cuadro 4.1 se muestra la genealogía de las líneas involucradas en la formación de los híbridos no convencionales, así como la formación de los híbridos no convencionales pozoleros rojos (Cuadro 4.2).

**Cuadro 4.1.** Genealogía de las líneas utilizadas en la formación de los HNC.

Líneas	Genealogía
12	{{(HCB1 x criollo colorado cónico norteño)-1-2-1 X (HCB1 x Criollo colorado elotes cónicos)- ⊗-3-1-1}- ⊗-⊗-1-⊗
13	[(HCB2 x Criollo negro Elote cónico)-⊗'s-3-1-1 X (HCB1 x criollo colorado cónico norteño)-2-1-2] X (HCB8 x Criollo colorado cónico norteño)-1-1-1]-⊗'s-2-5-2
14	[(HCB2 x Criollo negro Elote cónico)-⊗'s-3-1-1 X (HCB1 x criollo colorado cónico norteño)-2-1-2] X (HCB5 x Criollo Negro)-3-1-2]-⊗-2-3-⊗
15	[(HCB2 x criollo colorado elote cónico)-4-1-3 X (HCB8 x Criollo colorado cónico norteño)-1-1-1] X (HCB11 x criollo colorado elote cónico x Celaya)-⊗'s-2-1-1]-⊗-⊗-2-⊗
16	MZ 9-⊗-2-2-1-⊗-2-1-⊗
17	MZ 9-⊗-2-2-1-⊗-3-2-⊗
18	(HCB2 x criollo colorado elote cónico)-4-1-3-⊗-2-1-⊗
19	(HCB2 x criollo colorado elote cónico)-4-1-3-⊗-3-2-⊗

HNC: Híbridos no convencionales.

**Cuadro 4.2.** Formación de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. P-V 2014.

	Maíces nativos (Progenitor ♀)	Líneas (Progenitor ♂)							
		12	13	14	15	16	17	18	19
1	QRO. 96						x	x	x
2	GTO. 54	x	x						
3	GTO. 46	x	x	x	x	x	x	x	x
4	GTO. 121	x	x		x	x	x	x	x
5	Criollo Tepec	x	x	x		x	x	x	x
6	Criollo J. R.	x	x	x	x	x	x	x	x
7	Criollo BS.	x	x	x	x	x	x	x	x
8	QRO. 23	x	x	x	x (2)	x		x	
9	QRO. 18	x (2)	x			x		x	x
10	QRO. 7	x	x		x	x	x	x	
11	QRO. 1	x	x			x	x	x	

En el ciclo primavera-verano 2014 se evaluaron 67 híbridos no convencionales, once progenitores femeninos (maíces nativos), como testigos VS-201, V-322 y el híbrido comercial CAIMÁN. Se utilizó un diseño latice 9x9 con dos repeticiones. Se caracterizaron los genotipos en mazorca y grano, se seleccionaron los híbridos no convencionales con características deseables para grano pozolero y en base al potencial de rendimiento.

En el ciclo primavera verano 2015 se evaluaron los 25 genotipos superiores (Cuadro 4.3), ocho progenitores femeninos (maíces nativos), la cruza simple 13x12, como testigos el híbrido comercial Antílope y el H-316 del INIFAP; en la localidad de Tarímbaro se sustituyó el testigo Antílope por el H-377 del INIFAP.

**Cuadro 4.3.** Formación de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. P-V 2015.

Maíces nativos (Progenitor ♀)		Líneas (Progenitor ♂)							
		12	13	14	15	16	17	18	19
2	GTO. 54	x	x						
3	GTO. 46	x	x		x	x		x	
4	GTO. 121		x		x		x	x	
5	Criollo Tepec		x				x	x	x
6	Criollo J. R.	x	x					x	
7	Criollo BS.					x	x		
9	QRO. 18		x			x			
10	QRO. 7						x		
11	QRO. 1					x	x		

### 4.3. Manejo agronómico del experimento en el Bajío, Primavera-Verano 2015

#### 4.3.1. Diseño y parcela experimental

Los híbridos no convencionales fueron evaluados mediante un diseño experimental De bloques completos al azar con dos repeticiones. El tamaño de la parcela experimental consistió de un surco de 5.165 m de largo y 0.76 m entre surcos. Se

sembró una semilla cada 0.14 m; para tener una densidad de población de 89,163 plantas ha<sup>-1</sup>.

#### **4.3.2. Siembra y manejo agronómico**

La preparación del terreno consistió en un barbecho de 0.30 m, rastreo, nivelación y surcado a 0.76 m. La siembra se realizó el 4 de Junio de 2015; se aplicó un riego después de la siembra para promover la emergencia; posteriormente, se aplicaron tres riegos ligeros. La dosis de fertilización empleada fue la formulación 250-60-30, la cual se aplicó en dos fracciones: 250 kg ha<sup>-1</sup> de la mezcla física 18-24-12 en la siembra, con lo cual se aplicaron 45-60-30 unidades de NPK; a esta mezcla se le agregó FURADAN a una dosis de 20 kg ha<sup>-1</sup>. En la segunda dosis se aplicó 445.70 kg ha<sup>-1</sup> de urea, cuando la planta presentaba ocho hojas. Se aplicó un fertilizante foliar BAYFOLAN FORTE con una dosis de 3 L ha<sup>-1</sup>. Para el control de maleza se aplicó el herbicida pre-emergente PRIMAGRAM GOLD® a una dosis de 4 L ha<sup>-1</sup>; durante el desarrollo del cultivo, posteriormente el control de malezas se hizo de forma manual. En el control de plagas, se aplicó FOLIMAT® para Trips durante la etapa vegetativa, a una dosis de 400 a 600 mL ha<sup>-1</sup>. Para gusano cogollero se pusieron trampas de feromonas y se aplicó PALGUS® a una dosis de 75-100 mL ha<sup>-1</sup>. Posteriormente se hizo una segunda aplicación para el control de gusano cogollero con Lorsban granulado a una dosis de 15 a 25 Kg ha<sup>-1</sup> directamente al cogollo de la planta.

#### **4.4. Manejo agronómico del experimento en Tarímbaro, Mich. P-V 2015**

##### **4.4.1. Diseño y parcela experimental**

Los híbridos no convencionales fueron evaluados en un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones. El tamaño de la parcela experimental consistió de un surco de 5.165 m de largo y 0.80 m entre surcos. Se sembró una semilla cada 0.14 m; la densidad de población fue de 84,704 plantas ha<sup>-1</sup>.

#### 4.4.2. Siembra y manejo agronómico

La preparación del terreno consistió en un barbecho, seguido de un paso de rastra y surcado a una distancia de 0.8 m. Debido a la presencia de precipitaciones en el mes de julio que se registraron y durante casi todo el ciclo del cultivo, se esperó las condiciones óptimas de humedad para la siembra del experimento; el cultivo se manejó bajo condiciones de temporal. Sólo se aplicó un riego de auxilio a mediados del mes de agosto para mitigar la sequía que se presentó durante el mes. La siembra se realizó el 29 de Junio de 2015. La dosis de fertilización empleada fue la formulación 125-46-60; las fuentes fueron: urea, DAP y Cloruro de Potasio (CP); a la siembra se aplicó 100 Kg de DAP y 50 de CP, con lo cual se aplicó 18-46-30 unidades de NPK; a esta mezcla se le agregó Lorsban granulado al 5 %, a una dosis de 20 Kg ha<sup>-1</sup> para el control de plagas de suelo. En la segunda dosis se aplicó 233 Kg ha<sup>-1</sup> de Urea y 50 Kg ha<sup>-1</sup> de CP en la etapa V8. Posteriormente se aplicó un fertilizante foliar GUANOFOL con una dosis de 2 L ha<sup>-1</sup>. Para el control de maleza se aplicó PRIMAGRAM GOLD<sup>®</sup> de forma pre-emergente a una dosis de 4 L ha<sup>-1</sup>, se hizo una segunda aplicación con Gramocil a una dosis de 1.5 L ha<sup>-1</sup> para complementar la eficacia y eliminar la maleza, con esto se tuvo un control efectivo. Para el control de plagas, la inclusión de Lorsban granulado al 5 % con el fertilizante controló plagas del suelo. Para el control de gusano cogollero se aplicó PALGUS<sup>®</sup> a una dosis de 75-100 mL ha<sup>-1</sup>, se hizo una segunda aplicación con Lorsban en su presentación líquida con una dosis de 0.750 L ha<sup>-1</sup>. Posteriormente se aplicó PROCLAIM<sup>®</sup> 05 SG con dosis de 150 g ha<sup>-1</sup>.

## **4.5. Variables evaluadas**

### **4.5.1. Variables Agronómicas**

Se registraron los datos de las siguientes variables en las dos localidades.

#### **4.5.1.1. Días a floración femenina (FF)**

Se cuantificó el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas tuvieran expuestos los estigmas.

#### **4.5.1.2. Días a floración masculina (FM)**

Se cuantificó el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas mostraron las espigas en antesis.

#### **4.5.1.3. Altura de planta (AP)**

Se midió la distancia comprendida desde la base de la planta hasta el punto de inserción de la hoja bandera, la cual se tomó en una muestra de 5 plantas con competencia completa seleccionadas al azar. Para medir esta variable se utilizó un estadal de aluminio graduado en cm.

#### **4.5.1.4. Altura de la mazorca (AM)**

Se midió la distancia comprendida desde la base de la planta hasta el punto de inserción de la mazorca principal, la cual se midió en las mismas plantas utilizadas para determinar la altura de planta.

#### **4.5.1.5. Número de plantas (NP)**

Número total de plantas establecidas por parcela. Necesario para determinar el porcentaje de acame y cobertura.

**4.5.1.6. Número de mazorcas (NM).**

Número total de mazorcas cosechadas por parcela. Necesario para determinar el porcentaje de mazorcas podridas.

**4.5.1.7. Acame total (ACT)**

Total de plantas con acame de raíz o acame de tallo, que se describen a continuación:

Acame de raíz. Plantas con inclinación de 30 ° o más, a partir de la perpendicular que se forma entre el suelo y la base de la planta, justo donde comienza la zona radical.

Acame de tallo. Número de plantas con tallos quebrados y localizados por abajo del nivel de la mazorca. Se expresó en porcentaje, al multiplicar dividir el número de plantas con acame (raíz y tallo) entre el total de plantas cosechadas por parcela y se multiplicó por 100.

**4.5.1.8. Cobertura de la mazorca (COB)**

Presencia de mazorcas con mala cobertura del totemoxtle. Se expresó en porcentaje, al dividir el número de mazorcas con mala cobertura entre el número de plantas cosechadas por parcela y se multiplicó por 100.

**4.5.1.9. Numero de Mazorcas podridas (POD)**

Mazorcas podridas, por el efecto de giberella (*Fusarium* y *Fusarium moniliforme*). Se expresó en porcentaje, al dividir el número de mazorcas podridas entre el número de mazorcas cosechadas y se multiplicó por 100.

**4.5.1.10 Peso de mazorca en campo (PC)**

Peso total de mazorcas cosechadas de cada parcela. El peso de campo se registró en kilogramos, con ayuda de una báscula digital ElectroSamson Hand Held Scale.

**4.5.1.11 Porcentaje de grano (% GR)**

Se seleccionaron cinco mazorcas al azar de cada parcela, se pesaron y posteriormente se desgranaron y se obtuvo el peso del grano. Este dato se dividió entre el peso de las cinco mazorcas y se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje de desgrane.

**4.5.1.12 Porcentaje de humedad (% H)**

Se obtuvo del grano proveniente de las cinco mazorcas seleccionadas de cada parcela; la determinación se hizo con 250 g de muestra en el momento de la cosecha. El porcentaje de humedad del grano se realizó con el determinador mini GAC® *plus moisturetester* DICKEY-John® COPORATION. Para ello, la muestra se vertió en la tolva del determinador de humedad, previamente ajustado para maíz. La humedad se registró con base al paso de la corriente eléctrica a través de la muestra de granos.

**4.5.1.13 Rendimiento de grano (REND)**

Determinado con la siguiente fórmula, se expresó en Kg ha<sup>-1</sup>.

$$\left(\frac{PC \times 10000}{AREA}\right) \left(\frac{100 - \%H}{0.86}\right) (ID)$$

Donde:

PC = Peso de mazorca en campo de la parcela, expresado en kg.

ÁREA = Superficie que ocupa la parcela útil en 10,000 m<sup>2</sup>, dado por el número y longitud del surco y distancia entre surcos.

% H = Porcentaje de humedad al momento de la cosecha.

ID = Índice de desgrane.



#### **4.5.2. Variables evaluadas en mazorca y grano**

En una muestra de cinco mazorcas tomadas al azar de cada unidad experimental se tomaron las siguientes variables.

##### **4.5.2.1 Longitud de mazorca (cm)**

Se midió desde la base hasta la punta de cada mazorca, con un logómetro de 30 cm, obteniéndose su promedio.

##### **4.5.2.2. Diámetro de mazorca (cm)**

Se midió el diámetro aun tercio de la base de la mazorca, con la ayuda de un Vernier digital. Se registró el promedio.

##### **4.5.2.3 Número de hileras por mazorca**

Se contó el número total de hileras y se tomó el promedio.

##### **4.5.2.4. Número de granos por mazorca**

Se contó el número total de granos y se tomó el promedio.

##### **4.5.2.5. Diámetro de olote (cm)**

Se midió el diámetro de olote con un Vernier digital; se tomó el promedio.

##### **4.5.2.6. Longitud de grano (cm)**

Se midió la longitud de cinco granos por mazorca con un Vernier digital; se tomó el promedio

##### **4.5.2.7. Diámetro de grano (cm)**

Se midió el diámetro de los mismos cinco granos de la muestra anterior, con la ayuda de un Vernier digital. Se tomó el promedio.

### **4.5.3. Variables evaluadas en laboratorio**

#### **4.5.3.1. Características físicas de la semilla**

Las características físicas y las propiedades reológicas de la semilla que a continuación se mencionan se determinaron de acuerdo con (Salinas y Vásquez, (2006); Vásquez-Carrillo *et al.* (2016). Se realizaron dos repeticiones por tratamiento.

##### **4.5.3.1.1. Peso de mil granos (PMG)**

El peso de mil granos es una medida indirecta del tamaño del grano. Se seleccionaron 100 granos de maíz de cada muestra limpios e íntegros al azar y se pesaron en una balanza analítica, el resultado se multiplicó por 10 y expresó en gramos.

##### **4.5.3.1.2. Peso hectolítrico (PH) Siguiendo el método No. 80.10 de AACC (2015)**

Se limpió la semilla con la ayuda de cribas para eliminar impurezas de las muestras. Se ajustó a cero la balanza del peso hectolítrico y se hizo la tara correspondiente con el recipiente donde se colocará la semilla. Cuidar que la burbuja de aire del equipo esté centrada. Se colocó la muestra limpia en el embudo de la parte superior de la balanza. Se sitúa el recipiente de un litro, exactamente debajo de la salida del embudo. Se abre la salida de la parte inferior del embudo y se deja caer el maíz libremente el maíz en el recipiente. Se usa una espátula de madera para eliminar el exceso de semilla de la parte superior del recipiente de un litro, rasando en forma de zig-zag. Se pesó el recipiente con la muestra y se obtuvo la lectura en Kg hL<sup>-1</sup>.

##### **4.5.3.1.3. Índice de flotación (IF)**

El índice de flotación es una medida indirecta de la dureza de la semilla. Se seleccionaron de manera aleatoria 100 semillas no dañadas. Se preparó una solución de nitrato de sodio (41.0 g en 100 mL de agua) con densidad de  $1.2500 \pm 0.0005$ . La densidad se midió con ayuda de un picnómetro para líquidos. Los pesos del picnómetro se registraron en la balanza analítica. El picnómetro al inicio debe

estar a peso constante y manejarse durante la prueba con pinzas, a fin de evitar la contaminación del picnómetro y con ello, originar errores. Se empleó la siguiente ecuación:

$$D = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1}$$

Donde:

D = Densidad.

P1 = Peso picnómetro vacío.

P2 = Peso picnómetro con agua.

P3 = Peso picnómetro con solución.

Se depositó 500 mL de la solución en un vaso de precipitado de un litro. Se colocaron las semillas y se dio una leve agitación; se esperó un minuto antes de tomar la lectura. El índice de flotación se considera como el número de semillas que asciende a la superficie o flotan. Procedimiento descrito en la Norma NMX-034 (parte 1) (2002).

#### **4.5.3.1.4. Composición estructural**

El grano de maíz se compone principalmente de cuatro estructuras: pedicelo, pericarpio, germen y el endospermo. Se seleccionaron 25 semillas al azar de cada muestra, se pesaron y se remojaron por 15 minutos en agua a una temperatura de 50-60 °C. Posteriormente, con un bisturí a cada semilla se le separó el pedicelo, el pericarpio, el germen y el endospermo; se registró el peso total de cada componente. De la semilla a la que se le retiró pedicelo, pericarpio y germen, se separaron cinco endospermos, se pesaron, (b) y el resto se usó para cuantificar humedad (H1).

A las cinco semillas se les separó el endospermo harinoso, con la ayuda de un taladro manual, una vez eliminada la parte harinosa, a la fracción córnea remanente se le determinó el contenido de humedad, (H2). Se dejaron las muestras en la estufa a 130 °C por 1 h.

**Cálculos**

$$m = \left( a - \frac{H_1}{100} * a \right) + (j + k + L)$$

Donde:

m = cantidad de sólidos de la semilla.

a = peso del endospermo de las 25 semillas.

b = peso de las 5 semillas.

c = peso húmedo del almidón córneo.

j = peso seco del pedicelo de las 25 semillas.

k = peso seco del pericarpio de las 25 semillas.

L = peso seco del germen de las 25 semillas.

H<sub>1</sub> = Humedad de las 20 semillas.

H<sub>2</sub> = Humedad del almidón córneo.

AH= Almidón harinoso.

AC= Almidón córneo.

$$\% \text{Pedicelo} = (j / m * 100)$$

$$\% \text{Pericarpio} = (k / m * 100)$$

$$\% \text{Germen} = (L / m * 100)$$

**Almidón harinoso**

$$\%AH = \frac{\left[ \left( \frac{H_1}{100 * b} \right) - \left( \frac{H_2}{100 * c} \right) \right]}{\frac{H_1}{100 * b}} * 100$$

**Almidón córneo**

$$\%AC = 100 - (\% \text{pedicelo} + \% \text{pericarpio} + \% \text{germen} + \% \text{AH})$$

#### 4.5.3.1.5. Color

Se utilizó un colorímetro de reflectancia Hunter-Lab, modelo 45/0-L (Miniscan XEPLUS) para determinar el color. El colorímetro se calibró con una teja de color blanco. Las variables del color que se evaluaron fueron: luminosidad ( $L^*$ ),  $a^*$  y  $b^*$ . La luminosidad presenta valores desde cero, que corresponde al negro, hasta 100 que corresponde al blanco. La variable  $a^*$  tiene valores positivos para los tonos rojos y negativos para tonos verdes, mientras que la variable  $b^*$  tiene valores positivos para el color amarillo y negativos para el color azul. A partir de las variables  $a^*$  y  $b^*$  se calcula el tono o matiz del color ( $HUE^\circ$ ), que es un valor angular, el cual ubica al color de la muestra en un sistema cartesiano, donde el eje X corresponde a los valores de  $a$  y el eje Y a los de  $b$ , donde  $0^\circ$  = color rojo-púrpura;  $90^\circ$  = amarillo;  $180^\circ$  = verde; y  $270^\circ$  = azul. El tercer componente del color es la pureza (CROMA) o intensidad del color. Las fórmulas para calcular  $HUE$  y CROMA son:

$$HUE^\circ = \arctan(b^*/a^*)$$

$$CROMA = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$$

Se colocaron las muestras en el recipiente que acompaña al colorímetro, y se efectuaron las lecturas.

#### 4.5.3.2. Propiedades reológicas de la semilla

**VISCOSIDAD:** La evaluación se realizó siguiendo el método descrito por Narváez-González *et al.* (2006) Se molieron 15 g de muestra en un molino tipo ciclónico (UDY) con malla 0.5 mm, y se tomaron 2 g de muestra por repetición en recipientes de aluminio. Se tomó el peso de la caja de aluminio vacía (peso constante) y se pesó con la muestra, se registraron los datos. Seguidamente se deshidrataron las muestras en la estufa a  $135^\circ\text{C}$  durante 1 h, y se dejaron 20 minutos en el desecador. Se registraron los pesos para determinar el porcentaje de humedad de las muestras. Se usó el Software TCW3 para la determinación de viscosidad. Se registró la humedad en el programa TCW3 para definir el peso de las muestras y la cantidad de agua. La viscosidad se determinó con un Analizador Rápido de Viscosidad (RVA),

(Super 4 Newport Scientific PTY LTD, Sydney, Australia), una vez encendido se mantiene la temperatura a 15 °C. Se calibró con un aspa hasta que se mantuvo en cero. Para el estándar se pesaron dos muestras de 3.5 g de maicena en 25 mL de agua destilada, se metieron al RVA durante 13 minutos para determinar su viscosidad; es necesario que la viscosidad pico de los estándares coincida; si esto no ocurre es necesario repetir la prueba. Posteriormente, se determinó la viscosidad de las muestras; la mezcla se calentó de 50 a 90 °C durante 9 minutos, y después el cocimiento se sostuvo a 90 °C durante 5 minutos; finalmente se enfrió a 50 °C durante 9 minutos; la velocidad de agitación fue de 160 rpm. Los resultados se expresaron en centipois (cP).

#### **4.5.3.3. Extracción y cuantificación de antocianinas**

Para determinar antocianinas se realizaron cuatro repeticiones por genotipo y se efectuó de acuerdo con el protocolo del laboratorio de calidad nutricional de maíz del CIMMYT (2012).

Se tomaron 25 semillas (sanas y completas) al azar por repetición con el mismo contenido de humedad y se molieron en un molino tipo ciclónico (UDY) con malla 0.5 mm; se deshidrató la harina en una estufa durante 16 h a 64-65 °C. Posteriormente se pesaron 20 mg de harina en un tubo Eppendorf, se le agregó 1.3 mL de Ácido trifluoroacético (TFA) al 1 % y se taparon los tubos. Se agitaron los tubos en el vórtex y se colocaron horizontalmente sobre hielo (4 °C) por una hora. Después se agitaron las muestras durante 90 minutos a 150 rpm en una centrífuga K (International Equipen Co). Seguidamente se centrifugaron los tubos a 14, 000 rpm durante cinco minutos, asegurándose de que no hubiera partículas flotando en el sobrenadante; si esto ocurre, se centrifuga nuevamente. Posteriormente se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro Génesis 5 (Milton Roy) a una longitud de onda de 520 nm (primera extracción). Se volvió a extraer muestra con 1.3 mL de TFA al 1 %. Se repitieron los pasos; seguidamente se leyó la absorbancia a 520 nm (segunda extracción).

Para la lectura de muestras en el espectrofotómetro se tomaron 200  $\mu\text{L}$  del sobrenadante de cada extracción y se transfirió con mucho cuidado a la microplaca. La transferencia se hizo por duplicado (dos pozos). Se incluyeron muestras blanco (que corresponden al TFA al 1 %) y muestras testigo con valores conocidos. Se cubrió la microplaca con cinta adhesiva de aluminio, y se agitó en el vórtex a 800 rpm por cinco segundos. Después se leyó la absorbancia a 520 nm en el espectrofotómetro. Para calcular el contenido total de antocianinas se hizo una suma de la cantidad de ambas extracciones. Se preparó una curva patrón a partir de Cianidina 3-glucósido (maíces de grano azul-morado) o bien a partir de Pelargonidina clorada (maíces de grano rojo). Los resultados se expresaron en  $\text{mg kg}^{-1}$ .

#### 4.6. Modelo estadístico lineal aditivo

El modelo estadístico utilizado en el ensayo de Bajío 2014 para el ANOVA de los datos obtenidos de las variables evaluadas en el diseño experimental látice parcialmente balanceado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + R_k + T_i + B_{j(Rk)} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Valor observado en la i-ésima variedad del j-ésimo bloque incompleto en la k-ésima repetición

$\mu$  = Efecto medio

$R_k$  = Efecto de la k-ésima repetición

$T_i$  = Efecto de la i-ésima variedad

$B_{j(Rk)}$  = Efecto del j-ésimo bloque incompleto en la k-ésima repetición

$E_{ijk}$  = Error aleatorio asociado con cada unidad experimental

El modelo estadístico utilizado en el ensayo de las dos localidades en el ciclo 2015 para el ANOVA de datos obtenidos de las variables evaluadas en el diseño experimental de bloques completos al azar fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : Es la observación del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

$\mu$ : Es el efecto verdadero de la media general

$T_i$ : Efecto de la i-ésima variedad

$B_j$ : Es el efecto del j-ésimo bloque

$E_{ij}$  = interacción variedad x bloque, considerado como error

Para el ANOVA de las variables evaluadas en laboratorio se utilizó el diseño completamente al azar cuyo modelo es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación de la variedad i en la repetición j.

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto de la i-ésima variedad

$E_{ij}$  = Error experimental de la ij-ésima observación



#### **4.7. Análisis estadístico**

Los datos se sometieron a un análisis de varianza individual por localidad y combinado mediante el procedimiento GLM del SAS versión 9.3, conforme con el modelo estadístico de los diseños. Se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). Se realizó también el análisis conjunto de ambas localidades. Se hizo una transformación de datos para las variables registradas en porcentaje: acame, cobertura de mazorca y mazorcas podridas, por medio de raíz cuadrada más 0.5 ( $x+0.5$ ), para disminuir el coeficiente de variación y validar el análisis de varianza, debido a que estas variables no tienen una distribución normal.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 5.1 se muestran los resultados del análisis de varianza para las variables rendimiento, caracteres de mazorca y grano de la evaluación de los híbridos no convencionales en el ciclo P-V 2014. Hubo diferencias altamente significativas entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para la variable REND, LM, GH y diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) para NH que es una componente del rendimiento y están relacionados con él; este resultado muestra la variación que se tiene entre los genotipos, principalmente por el testigo, que es un híbrido normal; no hubo diferencias significativas para las variables DM, DO, LG, DG; esto nos indica que están menos relacionadas con el rendimiento y que revisten menos importancia, comparadas con las variables anteriores, que si lo están. El coeficiente de variación (C.V.) para rendimiento fue bueno (13.48 %), lo que da buena precisión en la comparación de genotipos; también es un buen índice de que el experimento estuvo bien conducido; para los componentes de rendimiento, los coeficientes de variación fueron buenos, como lo señalan Gómez y Gómez (1984) y fluctuaron entre 3.46 y 8.85 %, debido a que son caracteres menos afectados por el ambiente.

**Cuadro 5.1.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de las variables evaluadas en el ensayo de híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2 014.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS								
	gl	REND	LM	DM	NH	GH	DO	LG	DG
Repetición	1	2.27	11.84	0.63	0.30	78.82	0.090	0.056	0.007
Bloques (rep)	16	5337702	1.81	0.026	0.83	9.87	0.028	0.006	0.012
Componente B	16	5337702	1.81	0.026	0.83	9.87	0.028	0.006	0.012
Genotipos	80	<b>10428213**</b>	<b>7.06**</b>	<b>0.10<sup>NS</sup></b>	<b>4.82*</b>	<b>19.42**</b>	<b>0.092<sup>NS</sup></b>	<b>0.008<sup>NS</sup></b>	<b>0.029<sup>NS</sup></b>
Error -intra bloque	64	2023900	0.98	0.026	0.65	6.76	0.034	0.004	0.010
Error de bloque	80	2686660	1.15	0.026	0.69	7.38	0.033	0.004	0.010
C.V. (%)		13.48	4.93	3.46	7.34	7.02	7.65	5.28	8.85

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; REND: Rendimiento; LM: Longitud de mazorca; DM: Diámetro de mazorca; NH: No. De granos por hilera; GH: Granos por hilera; DO: Diámetro de olote; LG: Longitud de grano; DG: Diámetro de grano.

En el Cuadro 5.2 se presenta la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. Los híbridos no convencionales 4x18, 9x13, 3x18, 7x15 fueron estadísticamente similares al testigo comercial Caimán; 62 híbridos no convencionales fueron superiores al testigo VS-201, que es una variedad muy precoz para temporal malo; el testigo V-322, Criollo BS, QRO 7, QRO 18, GTO 121, Criollo J.R., Criollo Tepec y GTO 46 y los híbridos no convencionales 6x17 y 3x14 presentaron los rendimientos más bajos; así como hubo híbridos superiores con rendimientos similares a un testigo normal (heterosis positiva), también hubo híbridos con rendimientos muy bajos (heterosis negativa); estos resultados son importantes, ya que se obtuvieron híbridos no convencionales pozoleros con rendimientos similares a uno normal convencional y a una variedad mejorada; el mejoramiento ha sido efectivo para formar e identificar híbridos con potencial similar a los híbridos convencionales normales. Los progenitores femeninos 4 (GTO 121) y 9 (QRO. 18) presentaron un REND de 7,029; 7,082 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; al cruzarse con las líneas mostraron el mayor rendimiento de los híbridos no convencionales; esto también es indicativo de un buen patrón heterótico entre dichos materiales y que se manifiestan efectos de dominancia en estos híbridos; esto indica, de acuerdo con Espinosa *et al.* (1999) que la línea aporta una fracción importante de la respuesta positiva del rendimiento. Pone de manifiesto la importancia del aprovechamiento del mejoramiento genético en maíces nativos pozoleros para incrementar el rendimiento, con mejores características agronómicas.

Para los componentes de rendimiento, el progenitor femenino Criollo Tepec y 10 híbridos no convencionales mostraron mayor LM de 24.67 a 22.04 cm, respectivamente; 21 híbridos no convencionales fueron superiores en LM que el testigo comercial Caimán; estos componentes de rendimiento son un indicativo del potencial que debe considerarse al seleccionar materiales sobresalientes.

Para NH, se formaron varios grupos de significancia; el testigo Caimán presentó el mayor número de hileras; 27 híbridos no convencionales fueron

similares a los testigos (VS-201, V-322) y a cinco de los progenitores femeninos, esto muestra que los híbridos no convencionales presentaron para esta componente de rendimiento valores semejantes a las dos variedades mejoradas. Este resultado concuerda con los comentarios de Wong *et al.* (2007), quienes mencionan que el número de hileras ayuda a aumentar el rendimiento, pero existen otros componentes que condicionan los altos rendimientos, como la divergencia genética entre los progenitores. Esto lo observamos en este cuadro, ya que los híbridos no convencionales 4x18, 9x13, 3x18, 7x15 fueron estadísticamente similares al testigo comercial Caimán en REND, aunque el número de hileras fue de 10-12; la diferencia con Caimán se debe en parte a que el NH entre los materiales genéticos de ambos tipos de híbridos es diferente.

Para GH, 15 híbridos no convencionales y el Criollo Tepec fueron superiores con valores que fluctuaron entre 40 y 45 granos por hilera; así mismo, estos híbridos presentaron el mayor valor de LM, esto concuerda en parte con los resultados de Rivas (2010), quien menciona que al tener mayor longitud de mazorca, se espera tener mayor número de granos por hilera, lo cual contribuye a aumentar el rendimiento. Los testigos Caimán, V-322 y VS-201 mostraron 38, 35 y 30 GH, respectivamente. Por lo tanto, el número de GH no es un indicativo completo del comportamiento de los híbridos, ya que también se tiene que considerar el tamaño y peso del grano.

**Cuadro 5.2.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo de híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2014.

No. de Genotipo	Genotipos	REND (kg ha <sup>-1</sup> )		LM (cm)		NH		GH	
81	Caimán	17306	a	20.90	c-e	17	a	38	b-g
19	4x18	15506	ab	20.63	c-e	11	c-e	40	a-e
53	9x13	14665	a-c	19.43	ef	12	b-d	39	b-f
12	3x18	14314	a-c	21.01	cd	10	d-f	40	a-e
39	7x15	14297	a-c	19.59	ef	12	b-d	39	b-f
16	4x15	14275	bc	22.04	a-c	10	d-f	38	b-g
2	1x18	14201	bc	17.11	gh	13	bc	35	e-j
67	11x18	13678	b-e	19.26	ef	12	b-d	35	e-j
22	5x13	13562	b-e	20.94	c-e	11	c-e	39	b-f
54	9x16	13375	b-e	21.68	cd	12	b-d	40	a-e
26	5x18	12829	b-f	21.25	cd	12	b-d	39	b-f
23	5x14	12674	b-f	20.20	de	11	c-e	39	b-f
62	10x18	12403	c-f	20.20	de	12	b-d	38	b-g
34	6x18	12117	c-f	21.22	cd	11	c-e	39	b-f
56	9x19	12078	c-f	19.23	ef	12	b-d	37	c-h
66	11x17	11937	c-g	21.05	cd	10	d-f	38	b-g
63	11x12	11818	c-g	20.25	de	11	c-e	40	a-e
65	11x16	11744	c-g	21.67	cd	11	c-e	39	b-f
37	7x13	11646	e-g	16.90	g-i	12	b-d	33	g-j
61	10x17	11588	e-g	21.75	cd	11	c-e	40	a-e
64	11x13	11553	e-g	19.77	d-f	11	c-e	37	c-h
5	2x13	11526	e-g	19.35	ef	10	d-f	37	c-h
41	7x17	11405	e-g	22.52	a-c	10	d-f	40	a-e
55	9x18	11353	e-g	20.87	c-e	12	b-d	37	c-h
9	3x15	11330	e-g	20.09	de	10	d-f	37	c-h
45	8x13	11254	e-g	18.21	fg	13	bc	36	d-i
7	3x13	11233	e-g	19.80	d-f	12	b-d	39	b-f
3	1x19	11213	e-g	18.43	fg	13	bc	36	d-i
1	1x17	11192	e-g	20.76	c-e	11	c-e	42	a-c
57	10x12	11189	e-g	18.90	fg	12	b-d	33	g-j
20	4x19	11140	e-g	19.00	ef	11	c-e	37	c-h
13	3x19	11132	e-g	18.02	fg	12	b-d	38	b-g
42	7x18	11044	e-g	18.47	fg	12	b-d	37	c-h
52	9x12 rojo	11024	e-g	19.22	ef	13	bc	37	c-h
46	8x14	11014	e-g	17.28	gh	13	bc	35	e-j
40	7x16	11005	e-g	22.56	a-c	9	ef	42	a-c
59	10x15	10925	e-h	21.30	cd	11	c-e	37	c-h
35	6x19	10923	e-h	19.07	ef	11	c-e	37	c-h
58	10x13	10919	e-h	19.57	ef	13	bc	34	f-j
51	9x12 negro	10873	e-h	17.90	f-h	13	bc	33	g-j
50	8x18	10795	e-h	18.53	fg	11	c-e	37	c-h
6	3x12	10692	e-h	20.40	de	11	c-e	33	g-j
24	5x16	10642	f-h	19.56	ef	10	d-f	35	e-j
27	5x19	10475	f-h	19.50	ef	11	c-e	39	b-f
36	7x12	10426	f-h	19.58	ef	12	b-d	34	f-j
48	8x15	10216	f-h	15.48	i	13	bc	30	j
49	8x16	10183	f-h	22.56	a-c	10	d-f	40	a-e
43	7x19	10121	f-h	19.01	ef	12	b-d	35	e-j
28	6x12	9992	f-i	19.76	d-f	11	c-e	33	g-j
60	10x16	9987	f-i	20.45	de	12	b-d	37	c-h
25	5x17	9802	g-i	24.40	a	9	ef	43	ab
18	4x17	9751	g-i	23.49	ab	9	ef	42	a-c
38	7x14	9717	g-i	19.39	ef	12	b-d	36	d-i
29	6x13	9650	g-i	20.87	c-e	10	d-f	39	b-f
10	3x16	9502	g-i	23.53	ab	9	ef	41	a-d
15	4x13	9488	g-i	20.48	de	11	c-e	38	b-g
17	4x16	9483	g-i	23.50	ab	10	d-f	42	a-c

30	6x14	9303	g-i	20.04	de	9	ef	36	d-i
47	8x15 morado	9250	g-i	17.34	gh	11	c-e	31	ij
32	6x16	9194	g-i	23.64	ab	8	f	41	a-d
4	2x12	9169	g-i	20.33	de	11	c-e	34	f-j
75	QRO. 23	9155	g-i	18.12	fg	12	b-d	34	f-j
11	3x17	9101	g-i	23.80	ab	9	ef	45	a
21	5x12	9090	g-i	19.73	ef	12	b-d	33	g-j
69	GTO. 54	9047	g-i	21.54	cd	9	ef	35	e-j
79	VS-201	8907	h-j	15.00	i	14	b	30	j
78	QRO. 1	8786	h-j	21.40	cd	12	b-d	36	d-i
31	6x15	8488	h-j	20.34	de	10	d-f	34	f-j
44	8X12	8313	h-j	16.57	g-i	12	b-d	31	ij
68	GTO. 96	8305	h-j	17.76	gh	13	bc	33	g-j
14	4x12	8134	h-j	21.26	cd	10	d-f	37	c-h
74	Criollo BS.	7886	i-k	20.39	de	11	c-e	35	e-j
77	QRO. 7	7708	i-k	20.03	de	12	b-d	34	f-j
33	6X17	7292	i-k	21.40	cd	9	ef	39	b-f
76	QRO.18	7082	i-k	19.84	d-f	12	b-d	34	f-j
71	GTO. 121	7029	i-k	20.79	c-e	9	ef	36	d-i
73	Criollo J.R.	7009	i-k	19.49	ef	8	f	31	ij
8	3X14	7007	i-k	20.56	c-e	9	ef	36	d-i
72	Criollo Tepec	6992	i-k	24.67	a	8	f	40	a-e
70	GTO. 46	6578	i-k	19.76	d-f	9	ef	33	g-j
80	V-322	5532	k	18.27	fg	13	bc	35	e-j
MEDIA		10,550		20.12		11		37	
TUKEY (DHS)		3,013		2		2		5	

REND: Rendimiento; LM: Longitud de mazorca; NH: No. de granos por hilera; GH: Granos por hilera; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo conTukey ( $\alpha < 0.05$ );

En el Cuadro 5.3 se describen los resultados del análisis de varianza para las variables agronómicas evaluadas en la localidad de Celaya, Guanajuato en el ciclo P-V 2015. Hubo diferencias altamente significativas entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para las variables FM, FF y diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) para REND; este resultado muestra la variación que existió entre los genotipos por efectos ambientales para estas variables y afectó la precocidad y el rendimiento; no hubo diferencias significativas para las variables AP, AM, ACT, COB y POD; las cuales fueron poco afectadas por las condiciones ambientales de esta localidad, a diferencia de las primeras variables; esto indica que los híbridos no convencionales y los testigos mostraron una altura de planta y mazorca muy similar y se comportaron de forma semejante en cuanto al porcentaje de acame, cobertura y mazorcas podridas. Los coeficientes de variación (C.V.) para las variables de FM, FF, AP, AM fueron bajos y se consideran buenos y nos indican buena precisión en la comparación de los genotipos como lo señalan Gómez y Gómez (1984). Para las variables ACT, COB y POD los valores fueron altos, esto se puede deber a que este tipo de variables no tienen una distribución normal y requirieron transformación,

además de que las condiciones ambientales fueron propicias para que hubiera valores altos. El C.V. para rendimiento fue alto y da poca confiabilidad al resultado; pese a que la localidad de Celaya tiene buenas condiciones ambientales y de manejo, el experimento presentó daño causado por roedores, lo que ocasionó mucha variación en rendimiento.

**Cuadro 5.3.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de los caracteres agronómicos de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2015.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS								
	gl	REND	FM	FF	AP	AM	ACT	COB	POD
Bloques	1	9490272	17.01	29.38	3.12	253.12	7.34	18	0.01
Genotipos	35	<b>10911101*</b>	<b>10.89**</b>	<b>12.13**</b>	<b>1004<sup>NS</sup></b>	<b>896<sup>NS</sup></b>	<b>2.5<sup>NS</sup></b>	<b>0.54<sup>NS</sup></b>	<b>1.6<sup>NS</sup></b>
Error	35	3722777	1.12	1.44	580.26	582.41	1.51	0.54	1.32
CV (%)		28.22	1.64	1.83	9.11	17.28	30.70	49.11	33.05

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; REND: Rendimiento; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; ACT: Acame total; COB: Cobertura de mazorca; POD: mazorcas Podridas.

En el Cuadro 5.4 se muestra la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. Para REND se formaron tres grupos de significancia; 23 híbridos no convencionales fueron similares a siete de los testigos, incluyendo al híbrido convencional comercial Antílope (blanco) y al H-316 de INIFAP. Este resultado muestra que en este ciclo y localidad, nuevamente se obtuvieron híbridos no convencionales similares en rendimiento que los híbridos convencionales blancos. Los progenitores femeninos GTO. 46, GTO. 121, GTO. 54 y el Criollo J. R. presentaron bajo rendimiento; estos resultados coinciden con lo reportado por Espinosa *et al.* (1999) quienes encontraron que los híbridos no convencionales superaron en rendimiento a las variedades nativas progenitoras. El bajo rendimiento en algunos de los híbridos no convencionales en este ciclo agrícola se pueden atribuir a los problemas suscitados en este experimento, lo cual afectó el rendimiento y no fue posible obtener buena comparación de medias, es decir, una identificación más precisa de los mejores híbridos.

Para FM, 21 híbridos no convencionales, dos progenitores femeninos y la cruza simple (13x12) fueron más precoces en un rango de 61 a 65 días, con respecto a los testigos Antílope y H-316 y tres progenitores femeninos que fueron más tardíos; este resultado muestra que hay una variación genética entre los híbridos no convencionales y los testigos (Antonio *et al.*, 2004). Para FF, 24 híbridos no convencionales, cinco progenitores femeninos y la cruza simple (13x12) fueron más precoces en un rango de 67 a 62 días, respectivamente; los testigos, tres progenitores femeninos y el híbrido 4x17 fueron los más tardíos; estos resultados muestran que la mayoría de los híbridos no convencionales fueron más precoces que los testigos que son materiales convencionales.

**Cuadro 5.4.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo de híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipo	REND (kg ha <sup>-1</sup> )		FM (días)		FF (días)	
21	9x13	12413	a	63	d-g	65	c-f
7	3x18	10963	ab	63	d-g	64	c-f
9	4x15	10506	a-c	64	c-g	64	c-f
15	5x19	10245	a-c	66	b-e	67	a-f
1	2x12	9364	a-c	62	e-g	63	d-f
23	10x17	8756	a-c	64	c-g	66	b-f
8	4x13	8730	a-c	65	c-g	65	c-f
12	5x13	8548	a-c	64	c-g	63	d-f
4	3x13	8382	a-c	64	d-g	64	c-f
36	Antílope	8295	a-c	71	a	72	a
2	2x13	8254	a-c	61	g	62	f
25	11x17	8211	a-c	66	b-e	66	b-f
22	9x16	8017	a-c	65	c-g	66	b-f
16	6x12	7798	a-c	63	e-g	64	d-f
3	3x12	7648	a-c	63	d-g	63	d-f
24	11x16	7441	a-c	63	d-g	63	d-f
34	13x12 (Cruza simple)	6835	a-c	63	d-g	64	c-f
14	5x18	6576	a-c	65	c-g	67	b-f
35	H-316	6519	a-c	70	ab	71	ab
33	QRO. 1	6368	a-c	66	b-e	67	b-f
10	4x17	6252	a-c	66	b-e	68	a-e
20	7x17	5946	a-c	62	fg	63	ef
18	6x18	5902	a-c	64	c-g	64	d-f
17	6x13	5834	a-c	62	e-g	63	d-f
11	4x18	5600	a-c	66	b-e	67	a-f
30	Criollo Tepec	5568	a-c	70	ab	71	ab
19	7x16	5476	a-c	62	fg	63	ef
31	QRO. 18	5225	a-c	67	a-d	68	a-d
6	3x16	5013	a-c	63	e-g	64	d-f
32	QRO. 7	4773	a-c	66	b-e	67	a-f



28	GTO. 46	4267	b-c	66	b-e	67	b-f
29	GTO. 121	3952	b-c	68	a-c	69	a-c
27	GTO. 54	3518	b-c	63	e-g	64	d-f
26	Criollo J. R.	3142	b-c	65	c-g	66	b-f
13	5x17	3041	b-c	65	c-g	66	b-f
5	3x15	2734	c	64	c-g	65	c-f
MEDIA		6836		65		65	
TUKEY (DHS)		8063		4		5	

REND: Rendimiento; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ ).

En los Cuadros 5.5 y 5.6 se presentan los resultados del análisis de varianza para las variables evaluadas en el laboratorio de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos en la localidad de Celaya, Gto. Las características físicas de la semilla (Cuadro 5.5) analizadas fueron PH, PMG, IF, PED, PER, GER, EH, EC; las variables de color y propiedades reológicas (Cuadro 5.6) L, HUE, CROMA, TP, TPV, VP y VR. Hubo diferencias altamente significativas entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para las variables PMG, IF, EH, EC, HUE, CROMA y diferencias significativa ( $P \leq 0.05$ ) para PH, PED, PER, GER, L, VPV, VP y VR; este resultado muestra nuevamente la variación que hay en las características físicas y calidad para pozole entre los híbridos no convencionales y los híbridos convencionales blancos; no hubo diferencias significativas para las variable TP. Los coeficientes de variación (C.V.) para las variables físicas, color y propiedades reológicas son buenos; lo que indica confiabilidad en los resultados y precisión al comparar los tratamientos. Para EC mostró un C.V. alto, debido a que esta variable se expresa en porcentaje y mostró mucha variación.

**Cuadro 5.5.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2015.

CUADRADOS MEDIOS									
Fuentes de variación	gl	PH	PMG	IF	PED	PER	GER	EH	EC
Repetición	1	2.45	0.05	0.50	0.002	0.02	0.13	41.99	57.03
Genotipo	35	<b>13.82*</b>	<b>11502**</b>	<b>886.2**</b>	<b>0.15*</b>	<b>0.54*</b>	<b>0.65*</b>	<b>395.1**</b>	<b>387.6**</b>
Error	34	2.84	0.03	3.18	0.02	0.06	0.20	12.04	12.07
C.V. (%)		2.31	0.03	2.21	10.78	6.83	3.48	5.61	17.27

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; PH: Peso Hectolítrico; PMG: Peso de mil granos; IF: Índice de flotación; PED: Pedicelo; PER: Pericarpio; GER: Germen; EH: Endospermo harinoso; EC: Endospermo córneo.

**Cuadro 5.6.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de las variables de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2015.

CUADRADOS MEDIOS								
Fuentes de variación	gl	L	HUE	CROMA	TP	TPV	VP	VR
Repetición	1	16.29	0.85	0.93	0.79	0.001	59570	154475
Genotipo	35	<b>126.08*</b>	<b>196.80**</b>	<b>23.11**</b>	<b>0.64<sup>NS</sup></b>	<b>0.30*</b>	<b>654200*</b>	<b>333821*</b>
Error	34	8.90	9.48	0.54	0.52	0.04	153572	61483
C.V. (%)		6.46	5.67	4.19	1.02	2.63	12.66	11.60

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; L: Luminosidad; HUE:  $\arctan(b/a)$ ; CROMA:  $(a^2+b^2)^{1/2}$ ; TP: Temperatura de pastificado; TPV: Tiempo al pico de viscosidad; VP: Viscosidad pico; VR: Viscosidad de retrogradación.

En el Cuadro 5.7 se muestra la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. Para la variable PH, ocho híbridos no convencionales y seis progenitores femeninos presentaron menor peso hectolítrico; estos resultados muestran que estos progenitores femeninos aportaron una respuesta positiva del peso a estos híbridos no convencionales. Al respecto, Vázquez *et al.* (2003) mencionan que el peso hectolítrico es una medida indirecta de la dureza de la semilla de maíz, de manera que los valores bajos de PH son característicos de maíces muy suaves. La media general para PH fue 72.9 Kg hL<sup>-1</sup>. Hubo 17 híbridos no convencionales con mayor PH, similar a los testigos Antílope y H-316; esto muestra que estos híbridos no convencionales fueron más densos.

Los genotipos 5x17 y GTO. 54 mostraron mayor PMG con 664.8, 664.7 g, respectivamente; esto significa que tienen mayor tamaño y menor densidad. Los testigos Antílope y H-316 mostraron el menor peso de mil granos, lo cual es indicativo de maíces normales blancos; esto nos indica que estos testigos tienen tamaño de grano pequeño y/o peso bajo. Todos los híbridos no convencionales presentaron un peso mayor a 380 g; estos resultados concuerdan con los parámetros que Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) mencionan para calidad de grano pozolero; al respecto estos autores señalan que el peso, además de ser un indicador de tamaño de grano es una variable de interés en el procesamiento alcalino por su impacto en el grado de cocimiento y absorción de agua durante la nixtamalización.

En el IF, los híbridos no convencionales 5x17, 3x18, 3x16 y cuatro progenitores femeninos fueron los más suaves, al presentaron mayor IF; este resultado coincide con lo mencionado por Aragón *et al.* (2012) quienes señalan que los maíces de granos suaves presentan índices de flotación altos, como es deseable en los maíces pozoleros. La Cruza simple (13x12) y el testigo H-316 mostraron los valores más bajos de índice de flotación.

Para PED, los valores oscilaron entre 0.9 -1.9 %, valores similares a los reportados por Narváez González *et al.* (2006); 15 híbridos no convencionales

cuatro progenitores femeninos, el testigo antílope y la cruza simple (13x12) presentaron menor contenido de pericarpio; los 10 restantes fueron similares a cuatro progenitores y al H-316 con mayor contenido de PER. Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) mencionan que esta estructura es necesario eliminarla a fin de obtener un grano floreado para elaborar pozole de buena calidad.

Para PER, los híbridos 6x12 y 4x17 presentaron menor porcentaje de PER con 2.9 y 3.1 %, respectivamente; el resto de los genotipos fueron estadísticamente similares con valores que fluctuaron de 2.9 a 4.4 %; solo el testigo el H-316 presentó el mayor porcentaje de pericarpio con 6.2 %. Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) mencionan que los maíces con menor porcentaje de pericarpio son destinados a la elaboración de pozole.

Para GER, los genotipos presentaron un contenido similar de 12.2 a 14.1 %; respectivamente; estos resultados fueron superiores a los reportados por Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) en dos colectas de la raza Elotes Occidentales. El híbrido 3x13, el progenitor 4 (GTO.121) y la cruza simple (13x12) presentaron menor porcentaje de germen. Con respecto a este progenitor, se observó que aportó más porcentaje de germen a través de sus cruzas.

En el EH, 12 híbridos no convencionales y cinco progenitores femeninos presentaron mayor porcentaje de endospermo harinoso con 68.3 a 81.9 %; esto indica que estos híbridos no convencionales mantienen esa característica pozolera de sus progenitores femeninos. Estos resultados son similares a lo reportado por Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) en dos colectas de la raza Elotes Occidentales. El híbrido 9x16 a través de su cruza presentó mayor contenido de EH, ya que su progenitor QRO. 18 presentó menor porcentaje. El híbrido 9x13, la cruza simple (13x12) y el testigo H-316 mostraron menor porcentaje de EH, lo cual nos indica que estos materiales no son aptos para la elaboración de pozole.

Con respecto al EC, 13 híbridos no convencionales y cinco progenitores femeninos mostraron menor contenido; el testigo H-316, la cruza simple

(13x12) y el híbrido 9x13 que presentaron menor porcentaje de endospermo harinoso, mostraron mayor porcentaje de EC. Los genotipos mostraron valores que oscilaron de 1.4 a 55 % de EC; estos valores resultaron similares a lo reportado por Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) en dos colectas de la raza Elotes Occidentales. Estos resultados muestran que en esta localidad hubo híbridos no convencionales con características físicas de grano pozolero, en algunas variables superiores y en otras similares a sus progenitores femeninos, en los cuales sobresalen los híbridos no convencionales 5x17, 3x18 y 3x16.

**Cuadro 5.7.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las características físicas de la semilla de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipo	PH (Kg hL <sup>-1</sup> )		PMG (g)		IF		PED		PER (%)		GER		EH		EC	
1	2x12	74.9	a-c	539.5	k	85	f-l	1.9	a	4.1	b-d	12.9	a-d	59.0	f-k	22.2	b-g
2	2x13	71.7	b-e	563.6	g	90	d-h	1.5	a-i	3.7	b-e	12.4	a-d	64.4	c-i	18.1	d-j
3	3x12	75.2	a-c	474.5	x	79	k-n	1.1	d-j	4.1	b-d	13.3	a-d	53.6	h-k	28.1	b-e
4	3x13	74.9	a-c	526.4	o	79	l-n	1.3	b-j	3.4	b-e	12.0	b-d	55.1	g-k	28.2	b-e
5	3x15	71.8	b-e	481.7	v	87	e-j	1.4	a-j	3.6	b-e	13.8	ab	73.9	a-d	6.3	i-k
6	3x16	71.7	b-e	624.4	b	97	a-d	1.0	g-j	3.4	b-e	13.1	a-d	74.9	a-d	7.6	h-k
7	3x18	71.0	b-e	509.8	s	98	a-c	1.1	e-j	3.6	b-e	13.0	a-d	71.9	a-f	10.4	g-k
8	4x13	72.5	a-e	480.0	w	88	e-i	1.3	b-j	4.1	b-d	12.6	a-d	60.8	d-k	21.2	b-h
9	4x15	71.9	a-e	474.2	x	86	e-l	0.9	j	3.6	b-e	12.4	a-d	69.1	a-g	14.1	e-k
10	4x17	73.1	a-d	562.6	h	92	c-g	1.0	ij	3.1	de	13.4	a-d	69.4	a-g	13.2	f-k
11	4x18	73.2	a-d	563.7	g	83	i-n	1.2	c-j	3.9	b-e	13.4	a-d	66.8	b-h	14.7	e-k
12	5x13	73.9	a-d	442.1	b'	84	h-m	1.7	a-c	4.0	b-e	12.4	a-d	59.3	e-k	22.6	b-g
13	5x17	69.7	c-e	664.8	a	100	a	1.6	a-h	3.4	b-e	13.2	a-d	80.2	ab	1.6	k
14	5x18	72.8	a-d	573.4	f	87	e-j	1.0	f-j	3.9	b-e	12.6	a-d	71.2	a-f	11.3	g-k
15	5x19	74.3	a-c	496.8	t	90	d-h	1.0	g-j	3.7	b-e	12.8	a-d	71.7	a-f	10.8	g-k
16	6x12	75.5	a-c	530.1	n	71	o-q	1.5	a-i	2.9	e	12.3	a-d	71.7	a-f	11.6	g-k
17	6x13	74.1	a-d	493.4	u	85	g-l	1.7	a-e	3.7	b-e	13.6	a-c	72.7	a-f	8.4	g-k
18	6x18	70.9	c-e	525.5	p	92	c-f	1.4	a-j	4.0	b-e	13.3	a-d	71.8	a-f	9.6	g-k
19	7x16	73.4	a-d	552.6	i	93	b-e	1.0	ij	3.4	b-e	13.3	a-d	64.4	c-i	17.9	d-j
20	7x17	74.1	a-d	518.0	r	70	o-q	1.2	c-j	3.6	b-e	13.0	a-d	49.1	jk	33.0	bc
21	9x13	74.9	a-c	450.2	a'	49	r	1.6	a-g	4.4	b	13.0	a-d	30.0	l	51.0	a
22	9x16	73.0	a-d	534.0	m	77	m-o	1.3	c-j	3.5	b-e	13.4	a-d	68.3	a-g	13.5	f-k
23	10x17	74.1	a-d	467.8	y	82	i-n	1.4	a-j	3.5	b-e	13.4	a-d	61.8	d-j	19.9	c-i
24	11x16	73.7	a-d	537.3	l	85	g-l	1.1	d-j	3.4	b-e	12.6	a-d	50.9	i-k	32.0	b-d
25	11x17	73.4	a-d	548.7	j	69	pq	1.3	b-j	3.3	c-e	14.1	a	49.1	jk	32.3	b-d
26	Criollo J. R.	65.5	e	603.9	c	100	a	1.9	ab	3.9	b-e	13.1	a-d	70.6	a-f	10.5	g-k
27	GTO. 54	69.0	c-e	664.7	a	100	ab	1.7	a-d	3.8	b-e	13.3	a-d	73.7	a-e	7.6	h-k
28	GTO. 46	69.4	c-e	578.9	d	98	a-c	1.1	d-j	3.7	b-e	13.7	ab	77.0	a-c	4.5	jk
29	GTO. 121	71.9	a-e	464.3	z	76	n-p	1.1	f-j	3.9	b-e	11.8	cd	81.9	a	1.4	k
30	Criollo Tepec	67.1	de	579.0	d	100	a	1.4	a-j	3.6	b-e	12.6	a-d	72.1	a-f	10.2	g-k
31	QRO. 18	73.6	a-d	520.6	q	86	e-k	1.6	a-h	3.9	b-e	13.0	a-d	52.3	i-k	29.2	b-d
32	QRO. 7	73.4	a-d	576.2	e	80	j-n	1.2	c-j	4.3	bc	13.5	a-d	54.9	g-k	26.2	b-f
33	QRO. 1	71.5	b-e	520.5	q	93	b-e	1.3	c-j	3.9	b-e	13.2	a-d	47.2	k	34.5	b

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

34	13x12 (Cruza simple)	77.9	ab	388.7	c'	7	s	1.3	c-j	3.9	b-e	11.6	d	28.7	l	54.5	a
35	H-316	78.9	a	307.8	e'	9	s	1.6	a-f	6.2	a	12.2	a-d	24.9	l	55.0	a
36	Antílope	75.2	a-c	340.2	d'	65	q	1.0	h-j	3.9	b-e	12.6	a-d	51.4	i-k	31.1	b-d
	MEDIA	72.9		518.9		81		1.3		3.8		12.9		61.8		20.1	
	DHS	7.1		0.8		7		0.6		1.1		1.9		14.5		14.5	

PMG: Peso de mil granos; IF: Índice de flotación; PER: Pericarpio; EH: Endospermo harinoso; EC: Endospermo córneo; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ ).

En el Cuadro 5.8 se presenta la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. Respecto a las variables de color, los genotipos 3x15, 2x12, 3x12, la cruza simple (13x12) y GTO. 54 mostraron menor luminosidad con 27.7, 29.5, 29.8, 32.1 39.9, respectivamente; lo que indica mayor intensidad de color en el grano. Los testigos mostraron los valores más altos de luminosidad, esto se debe a que estos materiales son de color blanco; al respecto Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) mencionan que el parámetro de L distingue claramente entre la opacidad de los colores debido a que su escala va de 0 a 100, donde el cero corresponde al color negro y el 100 al color blanco.

Los híbridos no convencionales mostraron valores HUE de 32.0 a 63.2°. Los testigos H-316 y Antílope mostraron los valores más altos de HUE con 81.6 y 79.8°, respectivamente. Los valores del croma fluctuaron de 11.9 a 27.5. El valor promedio fue de 17.7. Los híbridos no convencionales de acuerdo con Salinas-Moreno *et al.* (2012a) mostraron tonos morado/rojo con baja intensidad.

13 híbridos no convencionales y cuatro progenitores femeninos mostraron menor TPV con valores que fluctuaron de 7.6 a 8.2 minutos, los 12 restantes fueron estadísticamente similares a cuatro de sus progenitores y a los testigos; este resultado muestra que estos genotipos requieren el mismo tiempo para que sus granos alcancen su máximo hinchamiento, sin embargo este es mayor en los maíces duros, como es el caso de los testigo y 12 híbridos no convencionales.

Para la VP, los híbridos no convencionales fueron estadísticamente iguales a sus progenitores femeninos, excepto 9x13, 6x12 y los testigos antílope y el H-316; esto significa que la mayoría de los híbridos no convencionales guardan esa característica de calidad pozolera de su progenitor femenino. Al respecto Wang y Wang. (2010) Mencionan que la viscosidad máxima o pico, indica que la mayoría de los gránulos de almidón alcanzaron su máximo hinchamiento después del cual se da el colapso (gelatinización); por lo tanto la viscosidad



pico es un indicador de la capacidad de absorción de agua que tiene el almidón. 17 híbridos no convencionales, cuatro progenitores femeninos y la cruce simple (13x12) presentaron mayor viscosidad de retrogradación; lo cual muestra que la mayoría de estos genotipos presentaron mayor viscosidad máxima o pico.

**Cuadro 5.8.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipo	L	HUE (°)	CROMA	TPV (min)	VP (Cp)	VR (Cp)						
1	2x12	29.5	f	41.5	g-j	18.7	d-h	8.5	a-f	2711	a-e	1942	b-g
2	2x13	50.4	cd	59.6	b-d	17.2	f-j	7.9	d-f	3570	a-d	2139	a-g
3	3x12	29.8	f	42.5	f-j	17.9	e-i	8.0	c-f	2462	a-e	1839	b-g
4	3x13	53.7	bc	61.9	bc	16.1	g-l	8.5	a-f	2655	a-e	1545	e-g
5	3x15	27.7	f	32.0	j	22.5	b	8.2	b-f	3111	a-d	1972	b-g
6	3x16	43.8	c-e	48.6	d-i	15.4	i-m	8.7	a-d	3440	a-d	2613	a-c
7	3x18	48.5	cd	58.8	b-d	16.6	g-l	8.4	a-f	4030	ab	2750	a-c
8	4x13	47.4	cd	52.8	b-h	14.5	j-n	8.2	b-f	3462	a-d	2240	a-f
9	4x15	42.5	c-e	52.5	b-h	15.8	h-m	8.2	b-f	2632	a-e	1760	c-g
10	4x17	46.5	cd	56.5	b-d	11.9	n	8.3	a-f	3331	a-d	2360	a-f
11	4x18	47.6	cd	57.5	b-d	14.1	k-n	8.7	a-d	3583	a-d	2799	ab
12	5x13	45.6	cd	41.4	g-j	20.3	b-f	8.2	b-f	3373	a-d	2135	a-g
13	5x17	47.8	cd	53.7	b-g	27.5	a	7.6	f	3558	a-d	2236	a-f
14	5x18	45.0	cd	55.7	b-e	21.4	b-d	8.1	b-f	3157	a-d	2286	a-f
15	5x19	49.3	cd	62.6	b	16.5	g-l	8.0	c-f	4070	a	2439	a-e
16	6x12	42.4	c-e	38.4	ij	20.4	b-e	7.9	d-f	2352	c-e	1574	d-g
17	6x13	48.2	cd	51.9	b-h	17.1	g-k	8.7	a-d	3305	a-d	2405	a-f
18	6x18	45.2	cd	58.3	b-d	16.5	g-l	7.9	d-f	3269	a-d	1897	b-g
19	7x16	48.9	cd	58.1	b-d	16.5	g-l	8.1	b-f	3541	a-d	2237	a-f
20	7x17	49.8	cd	55.1	b-f	16.8	g-l	8.5	a-e	3337	a-d	2414	a-f
21	9x13	43.5	c-e	49.6	c-i	17.0	g-k	8.3	a-f	2424	b-e	1888	b-g
22	9x16	46.6	cd	57.0	b-d	17.3	f-j	8.1	b-f	3491	a-d	2470	a-e
23	10x17	49.1	cd	56.8	b-d	15.9	h-m	8.4	a-f	3536	a-d	2511	a-e
24	11x16	53.1	c	63.2	b	13.8	l-n	8.9	ab	3521	a-d	3022	a
25	11x17	47.4	cd	60.2	b-d	16.3	g-l	8.9	a-c	3011	a-e	2607	a-d
26	Criollo J. R.	49.4	cd	54.3	b-g	18.7	d-h	8.3	a-f	3955	a-c	2486	a-e
27	GTO. 54	39.9	d-f	48.0	d-i	21.4	b-d	7.7	ef	3314	a-d	1926	b-g
28	GTO. 46	44.4	c-e	43.5	e-j	14.3	j-n	7.6	f	3114	a-d	1938	b-g
29	GTO. 121	52.0	cd	62.0	bc	16.1	g-l	8.1	b-f	2621	a-e	1729	c-g
30	Criollo Tepec	45.1	cd	52.1	b-h	22.1	bc	7.7	ef	3315	a-d	2002	a-g
31	QRO. 18	46.9	cd	54.6	b-e	15.7	h-m	8.5	a-f	2514	a-e	1717	c-g
32	QRO. 7	45.0	cd	54.1	b-g	14.7	j-n	8.5	a-e	2721	a-e	2034	a-g
33	QRO. 1	45.3	cd	56.7	b-d	13.0	mn	8.7	a-d	2740	a-e	2241	a-f

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

34	13x12 (Cruza simple)	32.1	d-f	40.4	h-j	21.0	b-d	8.9	ab	2630	a-e	2206	a-f
35	H-316	65.9	ab	81.6	a	25.7	a	9.2	a	1407	e	1157	g
36	Antilope	66.6	a	79.8	a	19.1	c-g	8.5	a-e	2098	de	1384	fg
MEDIA		46.2		54.3		17.7		8.3		3093		2136	
DHS		12.5		12.9		3.1		0.9		1638		1036	

L: Luminosidad; HUE:  $\arctan(b/a)$ ; CROMA:  $(a^2+b^2)^{1/2}$ ; TPV: Tiempo al pico de viscosidad; VP: Viscosidad pico; VR: Viscosidad de retrogradación; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ ).

En el Cuadro 5.9 se muestran los resultados del análisis de varianza para las variables agronómicas evaluadas en la localidad de Tarímbaro, Mich. En el ciclo P-V 2015. Hubo diferencias altamente significativas entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para las variables FM, FF y diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) para REND, AP y AM; en esta localidad también se muestra la variación que existió entre los genotipos; no hubo diferencias significativas para las variables ACT y POD. Los C.V. para las variables FM, FF, se consideran adecuados, indican confiabilidad y precisión en la comparación de los genotipos. En cuanto ACT y POD los valores fueron altos, debido a la transformación de estos datos; la variable REND, AP Y AM también presentaron C.V. alto en esta localidad, lo cual se puede atribuir a que este experimento fue de temporal por las precipitaciones presentadas durante el mes de Julio y a la presencia de plagas de suelo, estas condiciones fueron propicias para que hubiera valores altos, lo que ocasionó mucha variación.

**Cuadro 5.9.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de los caracteres agronómicos de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS							
	gl	REND	FM	FF	AP	AM	ACT	POD
Bloques	1	24266061	8.68	26.88	7503	2167	25.68	0.01
Genotipos	35	<b>5466678*</b>	<b>18.21**</b>	<b>19.50**</b>	<b>1773*</b>	<b>965.9*</b>	<b>6.58<sup>NS</sup></b>	<b>4.10<sup>NS</sup></b>
Error	35	3086496	1.90	3.37	1208	403.4	2.56	3.24
CV (%)		39.65	1.87	2.45	15.90	18.64	49.08	39.16

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; REND: Rendimiento; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; ACT: Acame total; POD: mazorcas Podridas.

En el Cuadro 5.10 se presenta la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. Los híbridos no convencionales, excepto el híbrido 3x16 fueron estadísticamente igual a los testigos H-377 y H-316, lo que muestra la importancia del mejoramiento para formar híbridos no convencionales con potencial de rendimiento similar a los convencionales, no

obstante el rendimiento fue menor en esta localidad, esto se puede atribuir al efecto del medio ambiente, manejo, nutrición y presencia de plagas de suelo.

Respecto a la FM, 19 híbridos no convencionales y cinco progenitores femeninos fueron más precoces con 68 a 74 días a floración masculina, respectivamente; los testigos H-316 y H-377 y el progenitor QRO. 7 fueron más tardíos; estos resultados señalan que más de la mitad de los híbridos no convencionales son más precoces que los testigos que son híbridos convencionales blancos. La media general en esta localidad fue de 74 días. Para FF, 10 híbridos no convencionales y tres progenitores femeninos fueron más precoces con 68 a 74 días a floración femenina, respectivamente; los testigos, el progenitor QRO. 7 y el híbrido 4x15 fueron los más tardíos. La media general en esta localidad fue de 75 días.

Para AP se formaron dos grupos de significancia; donde el híbrido 7x17 mostró la menor altura con 1.38 m; los testigos y los progenitores femeninos presentaron alturas estadísticamente semejantes a los híbridos no convencionales en un rango de 1.73 a 2.98 m. En AM, siete híbridos no convencionales, dos progenitores femeninos, el testigo H-316 y la cruza simple mostraron menor altura de mazorca de 0.73 a 0.88 m, respectivamente; este resultado muestra que los híbridos no convencionales presentaron altura de planta y mazorca similares a los testigos.

**Cuadro 5.10.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo de híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipos	REND (kg ha <sup>-1</sup> )	FM (días)	FF (días)	AP (m)	AM (m)					
36	H-377	10038	a	84	a	85	a	1.95	ab	0.93	ab
16	6x12	7040	ab	68	g	68	e	2.28	ab	1.13	ab
7	3x18	6648	ab	74	c-f	75	b-e	2.23	ab	1.05	ab
4	3x13	6352	ab	71	d-g	72	c-e	2.00	ab	1.00	ab
24	11x16	5898	ab	73	c-g	74	c-e	2.58	ab	1.30	ab
35	H-316	5801	ab	82	ab	82	ab	2.08	ab	0.83	b
21	9x13	5774	ab	73	c-g	75	b-e	2.25	ab	1.13	ab
3	3x12	5704	ab	72	d-g	72	c-e	2.05	ab	0.93	ab
14	5x18	5627	ab	75	c-e	76	b-d	2.03	ab	0.85	b
9	4x15	5409	ab	76	c-e	78	a-c	2.48	ab	1.23	ab
19	7x16	5130	ab	72	d-g	72	c-e	2.43	ab	1.18	ab
34	13x12 (Cruza Simple)	5056	ab	75	c-e	75	b-e	1.90	ab	0.83	b
10	4x17	4955	ab	72	d-g	73	c-e	2.23	ab	1.20	ab
5	3x15	4925	ab	74	c-f	75	b-e	2.18	ab	1.00	ab
8	4x13	4653	ab	75	c-e	76	b-d	2.13	ab	1.10	ab
22	9x16	4410	ab	74	c-f	75	b-e	2.60	ab	1.28	ab
29	GTO. 121	4383	ab	75	c-e	75	b-e	2.98	a	1.73	a
12	5x13	4375	ab	73	c-g	74	c-e	2.33	ab	1.30	ab
15	5x19	4366	ab	73	c-g	75	b-e	2.00	ab	0.78	b
33	QRO. 1	4249	ab	73	c-g	76	b-d	2.55	ab	1.15	ab
1	2x12	4100	ab	70	e-g	70	de	1.73	ab	0.88	b
25	11x17	3860	ab	76	b-d	76	b-d	2.48	ab	1.28	ab
17	6x13	3770	ab	73	c-g	73	c-e	1.98	ab	0.83	b
20	7x17	3481	ab	74	c-f	75	b-e	1.38	b	1.28	ab
30	Criollo Tepec	3385	ab	74	c-f	76	b-d	2.45	ab	1.23	ab
13	5x17	3269	ab	74	c-f	75	b-e	2.03	ab	1.10	ab
11	4x18	3224	ab	75	c-e	77	b-d	2.03	ab	0.88	b
28	GTO. 46	3163	ab	71	d-g	73	c-e	2.30	ab	1.13	ab
23	10x17	3163	ab	74	c-f	76	b-d	2.15	ab	1.15	ab
2	2x13	3024	ab	73	c-g	74	c-e	1.95	ab	0.88	b
31	QRO. 18	2902	ab	75	c-e	76	b-d	2.28	ab	1.30	ab
18	6x18	2713	ab	76	c-e	77	b-d	1.90	ab	0.80	b
32	QRO. 7	2629	b	78	a-c	79	a-c	2.68	ab	1.48	ab
26	Criollo J. R.	2351	b	69	fg	70	de	2.05	ab	0.88	b
6	3x16	2224	b	74	c-f	76	b-d	2.15	ab	1.13	ab
27	GTO. 54	1451	b	72	d-g	72	c-e	1.98	ab	0.73	b
MEDIA		4430		74		75		2.18		1.07	
TUKEY (DHS)		7341		6		6		1.45		0.83	

REND: Rendimiento; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca  
 DHS: Diferencia Significativa Honesta. . Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ ).

En los Cuadros 5.11 y 5.12 se presentan los resultados del análisis de varianza para las variables evaluadas en el laboratorio de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos en la localidad de Tarímbaro, Mich. Las características físicas de la semilla (Cuadro 5.11) analizadas fueron PH, PMG, IF, PED, PER, GER, EH, EC; las variables de color y las propiedades reológicas (Cuadro 5.12) L, HUE, CROMA, TP, TPV, VP y VR. Hubo

diferencias altamente significativas entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para las variables IF y VP y diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) para PH, PMG, PED, GER, EH, EC, L, HUE, CROMA y VR; no hubo diferencias significativas para PER, TP y TPV; esto indica que los híbridos no convencionales, los progenitores femeninos y los testigos mostraron contenido similar de pericarpio y requieren la misma temperatura y tiempo para alcanzar su viscosidad. Los coeficientes de variación (C.V.) para las variables evaluadas son aceptables; lo que indica confiabilidad en los resultados y precisión al comparar los tratamientos; Con respecto a las variables PER y EC mostraron valores de C.V. altos, debido a que estas variables se expresan en porcentaje.

**Cuadro 5.11.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS								
	gl	PH	PMG	IF	PED	PER	GER	EH	EC
Repetición	1	24.19	53976	15.12	0.0	0.92	0.67	131.03	133.77
Genotipo	35	<b>22.39*</b>	<b>5941*</b>	<b>425.18**</b>	<b>0.11*</b>	<b>1.11<sup>NS</sup></b>	<b>1.95*</b>	<b>268.71*</b>	<b>258.09*</b>
Error	35	4.78	1869	18.35	0.01	1.01	1.06	62.29	55.43
C.V. (%)		3.15	9.65	4.59	8.47	25.18	8.56	11.91	45.93

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; PH: Peso Hectolítrico; PMG: Peso de mil granos; IF: Índice de flotación; PED: Pedicelo; PER: Pericarpio; GER: Germen; EH: Endospermo harinoso; EC: Endospermo córneo.

**Cuadro 5.12.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza de las variables de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS							
	gl	L	HUE	CROMA	TP	TPV	VP	VR
Repetición	1	9.89	17.58	4.35	0.02	0.05	57856	7708
Genotipo	35	<b>154.14*</b>	<b>234.18*</b>	<b>30.24*</b>	<b>1.33<sup>NS</sup></b>	<b>0.18<sup>NS</sup></b>	<b>585349**</b>	<b>97993*</b>
Error	35	39.72	72.68	3.95	0.47	0.02	44200	27215
C.V. (%)		13.38	14.79	11.41	0.98	2.05	6.35	9.19

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; L: Luminosidad; HUE:  $\arctan(b/a)$ ; CROMA:  $(a^2+b^2)^{1/2}$ ; TP: Temperatura de pastificado; TPV: Tiempo al pico de viscosidad; VP: Viscosidad pico; VR: Viscosidad de retrogradación.

En el Cuadro 5.13 se muestra la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. En el PH se formaron dos grupos de significancia; los genotipos Criollo J. R, GTO. 54, 5X17, GTO. 121, 6X18, GTO. 46, 7X16, 3X16 presentaron menor peso hectolítrico; el híbrido no convencional 5x17 presentó menor PH a través de su crusa puesto que, su progenitor femenino Criollo Tepec presentó mayor PH. Los demás híbridos fueron estadísticamente similares a los testigos.

En la variable PMG, los híbridos no convencionales mostraron un peso similar a sus progenitores femeninos y al testigo el H-377; este resultado muestra que los híbridos no convencionales presentan características físicas semejantes a los maíces nativos; la crusa simple (13x12) y el testigo H-316 presentaron menor peso, lo cual indica que son maíces de grano pequeño. La media general fue 447.7 g.

Para IF, es interesante observar que en general en la localidad de Tarímbaro los genotipos presentaron valores más altos de IF que en Celaya. Se formaron tres grupos de significancia; los híbridos no convencionales y los progenitores femeninos fueron estadísticamente similares, este resultado muestra que los



híbridos no convencionales presentan granos suaves, característica de los maíces nativos pozoleros. Los testigos y la cruza simple presentaron menor índice de flotación. Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) mencionan que los maíces destinados a la producción de grano pre-cocido y/o floreado para pozole deben ser granos muy suaves o con un índice de flotación de 100.

Para PED, 16 híbridos no convencionales, tres progenitores femeninos y el H-316 presentaron menor porcentaje de pedicelo en un rango de 1.1 a 1.6 %, respectivamente. Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) mencionan que esta estructura es necesaria a eliminar a fin de obtener una buena calidad de grano floreado para pozole.

En GER, 20 híbridos no convencionales fueron estadísticamente iguales a cinco progenitores femeninos, al testigo H-316 y la cruza simple (13x12), con valores que fluctuaron de 11.4 a 15.7 %, respectivamente; esto indica que la mayoría de los híbridos no convencionales presentan un contenido similar a sus progenitores femeninos.

El porcentaje EH fue mayor en la localidad de Tarímbaro con respecto a la localidad de Celaya. Todos los híbridos no convencionales, excepto el híbrido 11x17 fueron estadísticamente similares a los progenitores femeninos en el contenido de endospermo harinoso; lo cual muestra en estos resultados que los híbridos no convencionales presentan el mismo contenido de endospermo harinoso que los maíces nativos, Vásquez y Ramos (2013) mencionan que un alto contenido de endospermo harinoso es característico de maíces destinados a la elaboración de pozole. Los testigos, la cruza simple (13x12) y el híbrido 11x17 mostraron el menor contenido.

Para EC, 18 híbridos no convencionales y seis progenitores femeninos presentaron menor contenido de endospermo córneo con valores que oscilaron de 3.3 a 15.2 %, respectivamente; lo cual es característico de maíces destinados a la elaboración de pozole.

**Cuadro 5.13.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipos	PH (Kg hL <sup>-1</sup> )		PMG (g)		IF		PED		GER %		EH		EC	
1	2x12	71.8	a-c	467.7	a-c	97	a	2.1	a	11.9	ab	59.3	a-e	22.6	a-e
2	2x13	69.2	a-d	397.4	a-c	98	a	2.0	ab	12.2	ab	69.7	a-d	12.1	b-e
3	3x12	71.2	a-c	459.6	a-c	96	a	1.4	c-g	12.1	ab	54.5	a-e	28.2	a-e
4	3x13	70.9	a-c	455.6	a-c	91	a	1.7	a-f	12.4	ab	65.1	a-e	17.1	a-e
5	3x15	68.7	a-d	440.4	a-c	98	a	1.3	e-g	12.2	ab	72.0	a-c	10.3	de
6	3x16	66.7	b-d	410.5	a-c	100	a	1.6	a-g	12.2	ab	73.7	ab	8.9	de
7	3x18	70.4	a-d	497.2	a-c	91	a	1.1	g	12.6	ab	75.8	ab	7.1	de
8	4x13	67.8	a-d	448.3	a-c	100	a	1.9	a-d	11.4	b	72.3	a-c	10.9	c-e
9	4x15	69.4	a-d	409.7	a-c	100	a	1.3	d-g	12.2	ab	70.1	a-d	12.9	b-e
10	4x17	67.8	a-d	472.1	a-c	100	a	1.5	b-g	12.0	ab	75.1	ab	7.8	de
11	4x18	73.2	ab	476.9	a-c	98	a	1.7	a-f	12.7	ab	67.8	a-d	13.7	b-e
12	5x13	68.1	a-d	502.8	ab	97	a	1.8	a-e	12.7	ab	76.1	ab	5.5	de
13	5x17	64.6	b-d	532.9	a	100	a	1.4	c-g	11.1	b	73.9	ab	9.6	de
14	5x18	73.0	ab	530.0	a	100	a	1.1	g	15.7	a	72.8	a-c	6.9	de
15	5x19	69.6	a-d	427.6	a-c	95	a	1.3	e-g	12.1	ab	76.6	ab	6.3	de
16	6x12	70.4	a-d	419.8	a-c	100	a	1.2	fg	12.3	ab	57.7	a-e	24.7	a-e
17	6x13	69.4	a-d	434.5	a-c	100	a	1.6	a-g	11.3	b	72.7	a-c	10.3	de
18	6x18	65.6	b-d	427.9	a-c	100	a	1.6	b-g	11.6	ab	68.4	a-d	10.8	de
19	7x16	66.4	b-d	536.2	a	100	a	1.5	b-g	10.7	b	77.2	ab	7.1	de
20	7x17	70.0	a-d	385.1	a-c	100	a	1.4	b-g	12.0	ab	68.9	a-d	14.1	b-e
21	9x13	70.5	a-c	431.5	a-c	88	a	1.8	a-e	12.7	ab	58.2	a-e	23.4	a-e
22	9x16	69.9	a-d	428.6	a-c	100	a	1.4	c-g	11.1	b	72.8	a-c	10.6	de
23	10x17	70.0	a-d	397.6	a-c	94	a	1.4	c-g	12.7	ab	57.2	a-e	24.9	a-e
24	11x16	68.2	a-d	442.1	a-c	98	a	1.5	b-g	11.4	ab	79.9	a	3.7	e
25	11x17	72.4	a-c	437.6	a-c	94	a	1.4	c-g	12.0	ab	46.4	b-e	36.5	a-d
26	Criollo J. R.	61.3	d	465.6	a-c	100	a	1.6	a-g	10.4	b	68.6	a-d	15.2	b-e
27	GTO. 54	63.4	cd	476.9	a-c	100	a	1.5	b-g	10.0	b	72.9	a-c	11.9	b-e
28	GTO. 46	66.3	b-d	525.5	a	100	a	1.5	b-g	13.0	ab	78.6	ab	3.3	e
29	GTO. 121	65.0	b-d	533.2	a	100	a	1.6	a-g	12.4	ab	68.5	a-d	13.8	b-e
30	Criollo Tepec	69.3	a-d	398.4	a-c	100	a	1.5	b-g	11.3	b	77.0	ab	6.3	de
31	QRO. 18	70.6	a-c	453.6	a-c	89	a	1.4	c-g	11.5	ab	66.7	a-e	16.5	a-e
32	QRO. 7	69.4	a-d	496.1	a-c	100	a	1.8	a-e	13.1	ab	68.2	a-d	13.4	b-e
33	QRO. 1	71.3	a-c	493.4	a-c	91	a	1.8	a-f	13.7	ab	55.6	a-e	24.8	a-e

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

34	13x12 (Cruza simple)	76.5	a	318.3	c	58	b	1.9	a-c	12.2	ab	40.2	c-e	42.0	a-c
35	H-316	76.3	a	327.6	bc	67	b	1.5	b-g	11.7	ab	38.6	de	42.9	ab
36	H-377	75.9	a	360.3	a-c	26	c	1.6	a-g	11.1	b	34.8	e	47.5	a
	MEDIA	69.5		447.7		93		1.5		12.0		66.2		16.2	
	DHS	9.1		180.7		18		0.5		4.3		33.0		31.1	

PH: Peso Hectolítico; PMG: Peso de mil granos; IF: Índice de flotación; PED: Pedicelo; EH: Endospermo harinoso; EC: Endospermo córneo; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ ).

En el Cuadro 5.14 se presenta la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. Para las variables de color, el híbrido 6x12, 2x12, 3x12, 3x15, la cruza simple (13x12) y el progenitor Qro. 1 presentaron menor L con valores de 26 a 42.1, respectivamente. Para HUE, 22 híbridos no convencionales, siete progenitores femeninos y los testigos mostraron los valores más altos con 46.3 a 81.1°. La media general fue 57.6°, valor similar al obtenido en la localidad de Celaya (Cuadro 5.8) Por lo cual, la mayoría de los híbridos presentaron una tonalidad morado/rojo. Con respecto al croma los valores fluctuaron de 12.3 a 27.8. El valor promedio obtenido fue 17.4.

En la VP, 14 híbridos no convencionales fueron estadísticamente igual a cinco progenitores femeninos con mayor viscosidad pico; estos resultados muestran que estos materiales fueron de menor dureza lo que permite un mayor hinchamiento de los gránulos de almidón en el procesamiento térmico. Para la VR, 22 híbridos no convencionales fueron similares a los progenitores femeninos con mayor viscosidad de retrogradación; la cruza simple (13x12) y los testigos mostraron los valores más bajos de viscosidad de retrogradación; estos resultados indican que los híbridos no convencionales presentan características semejantes a sus progenitores femeninos en cuanto a calidad pozolera.

**Cuadro 5.14.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables de color y propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipos	L	HUE (°)	CROMA	VP (Cp)	VR (Cp)
1	2x12	32.1 cd	46.3 a-c	19.7 a-f	3000 d-i	1661 a-d
2	2x13	50.5 a-d	59.9 a-c	15.1 c-f	3151 b-g	1635 a-d
3	3x12	32.2 cd	41.1 bc	24.5 ab	2938 d-j	1676 a-d
4	3x13	46.4 a-d	50.8 a-c	16.2 c-f	3079 c-h	1588 b-d
5	3x15	32.4 cd	39.1 bc	22.8 a-d	3715 a-e	1850 a-d
6	3x16	52.5 a-c	62.8 a-c	16.5 b-f	4126 a	2125 ab
7	3x18	47.5 a-d	55.6 a-c	14.0 ef	4003 ab	2010 a-c
8	4x13	45.1 a-d	58.5 a-c	14.5 d-f	3539 a-f	1865 a-d
9	4x15	44.6 a-d	57.4 a-c	18.4 b-f	3037 d-i	1623 a-d
10	4x17	52.4 a-c	66.7 a-c	16.7 b-f	3460 a-g	1719 a-d
11	4x18	53.1 a-c	70.8 ab	16.1 c-f	3043 d-i	1805 a-d
12	5x13	54.2 a-c	59.7 a-c	16.2 c-f	2979 d-j	1560 b-d
13	5x17	43.9 a-d	53.5 a-c	15.3 c-f	3955 a-c	1961 a-d
14	5x18	49.3 a-d	69.1 ab	15.6 c-f	3542 a-f	1808 a-d
15	5x19	49.1 a-d	62.6 a-c	12.9 f	3746 a-d	2006 a-c
16	6x12	26.0 d	31.4 c	22.3 a-e	2616 g-j	1511 b-d
17	6x13	49.5 a-d	57.9 a-c	16.0 c-f	3481 a-g	1684 a-d
18	6x18	54.3 a-c	69.5 ab	17.6 b-f	3771 a-d	1868 a-d
19	7x16	46.9 a-d	64.8 a-c	12.3 f	3627 a-e	1744 a-d
20	7x17	46.0 a-d	51.3 a-c	15.0 c-f	3691 a-e	2042 a-c
21	9x13	47.4 a-d	62.4 a-c	15.0 c-f	2839 e-j	1675 a-d
22	9x16	47.4 a-d	50.1 a-c	15.2 c-f	3365 a-g	1805 a-d
23	10x17	52.3 a-d	65.7 a-c	14.7 c-f	3215 b-g	2009 a-c
24	11x16	50.3 a-d	54.8 a-c	16.4 b-f	3500 a-f	1902 a-d
25	11x17	48.0 a-d	54.9 a-c	15.8 c-f	3034 d-i	1759 a-d
26	Criollo J. R.	42.1 b-d	50.3 a-c	22.3 a-e	3628 a-e	1961 a-d
27	GTO. 054	52.2 a-d	64.8 a-c	14.5 d-f	4103 a	2127 ab
28	GTO. 046	51.0 a-d	59.0 a-c	16.4 b-f	3744 a-d	2290 a
29	GTO. 121	47.7 a-d	55.2 a-c	17.5 b-f	3962 ab	1883 a-d
30	Criollo Tepec	40.3 cd	44.0 bc	21.3 a-e	4002 ab	2080 ab

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

31	QRO. 18	51.1	a-d	63.2	a-c	14.3	ef	2670	f-j	1633	a-d
32	QRO. 7	46.3	a-d	66.6	a-c	14.5	d-f	3007	d-i	1881	a-d
33	QRO. 1	39.7	cd	48.6	a-c	14.4	ef	2983	d-j	1705	a-d
34	13x12 (Cruza simple)	33.7	cd	43.9	bc	23.0	a-c	2166	ij	1310	d
35	H-316	67.8	ab	80.5	a	26.9	a	2245	h-j	1454	b-d
36	H-377	69.7	a	81.1	a	27.8	a	2110	j	1361	cd
MEDIA		47.1		57.6		17.4		3307		1794	
DHS		26.3		35.6		8.31		879		689	

L: Luminosidad; HUE:  $\arctan(b/a)$ ; CROMA:  $(a^2+b^2)^{1/2}$ ; TPV: Tiempo al pico de viscosidad; VP: Viscosidad pico; VR: Viscosidad de retrogradación; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ ).

En el cuadro 5.15 se muestran los resultados del análisis de varianza combinado de los caracteres agronómicos evaluados en las localidades de Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. Hubo diferencias altamente significativas entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para las variables FM, FF y diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) para REND, AP, AM y POD, lo que indica que al menos un genotipo es diferente; no hubo diferencias significativas para ACT. El genotipo solo tuvo buena influencia para la variabilidad en rendimiento.

En el factor localidad; hubo diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables. Según Broa (2012) esto se debe al efecto del medio ambiente, plagas presentes en el suelo, factores edáficos y manejo de los experimentos; este factor fue el que mayor influencia tuvo (alto porcentaje) en la manifestación de la variabilidad para estas variables. La interacción genotipo x localidad hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para REND, FM, FF; este resultado está acorde con García (2012), quien menciona que hay interacción de naturaleza genética de acuerdo con la región de procedencia y las condiciones ambientales de las localidades en donde se conducen los experimentos. Para REND la interacción genotipo x localidad tuvo un efecto de aproximadamente 30 % menor que la del genotipo. No hubo diferencias significativas para las variables AP, AM, ACT y POD; estos resultados muestran que los genotipos se comportaron de forma similar en las dos localidades para estas variables; los genotipos son más afectados por la variación ambiental en cuanto al rendimiento y los días a floración; la altura de planta y de mazorca no fueron afectadas; sin embargo, si hubo diferencias entre genotipos. Los coeficientes de variación mostraron valores altos para REND, lo cual se debe a los problemas descritos en las dos localidades. Respecto ACT y POD, los valores altos se deben a que estas variables no tienen una distribución normal, sino de Poisson y es una violación a los supuestos del análisis de varianza.

**Cuadro 5.15.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza combinado de los caracteres agronómicos de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS							
	gl	REND	FM	FF	AP	AM	ACT	POD
Localidad	1	208366819**	2970**	3173**	6.63**	3.67**	20.25**	44.44**
Loc (rep)	2	16878166	12.84	28.13	0.19	0.12	16.51	0.01
Genotipo	35	<b>12040695*</b>	<b>23.31**</b>	<b>25.44**</b>	<b>0.17*</b>	<b>0.14*</b>	<b>4.97<sup>NS</sup></b>	<b>4.09*</b>
Genotipo*Localidad	35	4337084*	5.79 *	6.18 *	0.06 <sup>NS</sup>	0.03 <sup>NS</sup>	4.19 <sup>NS</sup>	1.65 <sup>NS</sup>
Error	70	3404637	1.51	2.41	0.06	0.04	2.04	2.28
C.V. (%)		32.75	1.78	2.21	10.46	17.95	39.27	37.40

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; REND: Rendimiento; ACT: Acame total; POD: mazorcas Podridas.

En el Cuadro 5.16 se presenta la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística a través de localidades, 22 híbridos no convencionales fueron estadísticamente similares a los testigos (Antílope, el H-316 y H-377); este resultado muestra la importancia del mejoramiento genético para poder formar e identificar híbridos no convencionales pozoleros rojos con potencial similar a los híbridos convencionales blancos; el hecho de haber obtenido híbridos no convencionales similares a algunos de los testigos, cumple con alguno de los objetivos planteados y el éxito del mejoramiento genético; cuatro progenitores femeninos mostraron el menor rendimiento; cabe destacar que en el cruzamiento de estos maíces nativos con las líneas presentaron rendimiento superior, lo cual muestra los efectos heteróticos manifestados en los cruzamientos de materiales nativos por líneas endogámicas. En la localidad de Celaya, el rendimiento fue mayor comparado con Tarímbaro; sin embargo, en este ciclo agrícola los híbridos no convencionales rindieron menos que en el ciclo 2014; esto se debe a los problemas descritos en cada localidad.



En la FM, 13 híbridos no convencionales y tres progenitores femeninos fueron más precoces con 65 a 68 días a floración masculina, respectivamente. En la FF, 10 híbridos no convencionales y dos progenitores femeninos fueron más precoces con 66 a 69 días a floración femenina, respectivamente; estos resultados muestran que estos híbridos no convencionales presentaron mayor precocidad que los testigos que son híbridos convencionales de grano blanco. En la localidad de Celaya los híbridos fueron más precoces en ambas floraciones, con una diferencia de 9 a 10 días, respectivamente; lo cual se debe al efecto localidad.

En AP, ocho híbridos no convencionales, dos progenitores femeninos, la cruza simple (13x12) y los testigos presentaron un porte similar de 2.06 a 2.36 m, respectivamente. Para la variable AM, nueve híbridos no convencionales, tres progenitores femeninos y los testigos presentaron menor altura de mazorca de 0.90 a 1.18 m, respectivamente; estos resultados indican que estos híbridos no convencionales presentan una altura de planta y mazorca similar a los testigos que son maíces comerciales.

Para POD, los genotipos GTO. 46 y 4x17 mostraron menor porcentaje de mazorcas podridas; los híbridos no convencionales pozoleros rojos presentaron un porcentaje similar de mazorcas podridas que los testigos que son materiales comerciales.

**Cuadro 5.16.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo combinado de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipos	REND (kg ha <sup>-1</sup> )		FM (días)		FF (días)		AP (m)		AM (m)		POD (%)	
1	2x12	6732	a-d	66	hi	67	gh	2.28	bc	1.13	b	3	ab
2	2x13	5639	a-d	67	g-i	68	e-h	2.21	bc	1.01	b	5	ab
3	3x12	6676	a-d	67	f-i	67	f-h	2.16	bc	1.03	b	3	ab
4	3x13	7367	a-d	67	f-i	68	e-h	2.14	bc	1.08	b	4	ab
5	3x15	3829	b-d	69	b-g	70	c-g	2.40	a-c	1.14	b	2	ab
6	3x16	3619	b-d	68	d-i	70	c-h	2.40	a-c	1.28	ab	3	ab
7	3x18	8805	ab	68	c-i	70	c-h	2.60	a-c	1.25	ab	4	ab
8	4x13	6692	a-d	70	b-g	70	c-g	2.51	a-c	1.21	b	4	ab
9	4x15	7957	a-c	70	b-g	71	c-f	2.60	a-c	1.34	ab	3	ab
10	4x17	5603	a-d	69	b-h	70	c-g	2.40	a-c	1.35	ab	4	ab
11	4x18	4412	a-d	70	b-f	72	c-e	2.39	a-c	1.18	b	5	ab
12	5x13	6461	a-d	68	c-i	69	d-h	2.54	a-c	1.48	ab	4	ab
13	5x17	3155	cd	70	b-g	70	c-g	2.36	bc	1.23	ab	5	ab
14	5x18	6101	a-d	70	b-g	71	c-f	2.40	a-c	1.25	ab	4	ab
15	5x19	7306	a-d	70	b-g	71	c-f	2.39	a-c	1.11	b	4	ab
16	6x12	7419	a-d	65	i	66	h	2.45	a-c	1.28	ab	3	ab
17	6x13	4802	a-d	67	f-i	68	e-h	2.11	bc	1.00	b	5	ab
18	6x18	4307	a-d	70	b-g	70	c-g	2.30	bc	1.14	b	4	ab
19	7x16	5303	a-d	67	g-i	67	f-h	2.49	a-c	1.36	ab	3	ab
20	7x17	4714	a-d	68	e-i	69	d-h	2.56	a-c	1.48	ab	4	ab
21	9x13	9093	a	68	d-i	70	c-h	2.41	a-c	1.31	ab	4	ab
22	9x16	6213	a-d	69	b-g	71	c-g	2.54	a-c	1.23	ab	7	a
23	10x17	5959	a-d	69	b-g	71	c-g	2.35	bc	1.33	ab	4	ab
24	11x16	6670	a-d	68	e-i	69	d-h	2.71	a-c	1.48	ab	4	ab
25	11x17	6035	a-d	71	b-e	71	c-g	2.66	a-c	1.29	ab	4	ab
26	Criollo J. R.	2746	cd	67	g-i	68	e-h	2.16	bc	0.91	b	5	ab
27	GTO. 54	2484	d	67	f-i	68	e-h	2.21	bc	1.00	b	7	a
28	GTO. 46	3715	b-d	68	d-i	70	c-h	2.39	a-c	1.13	b	4	b
29	GTO. 121	4168	a-d	71	b-d	72	b-e	3.09	a	1.85	a	5	ab
30	Criollo Tepec	4476	a-d	72	bc	73	bc	2.49	a-c	1.31	ab	5	ab
31	QRO. 18	4063	a-d	71	b-e	72	b-e	2.56	a-c	1.46	ab	5	ab
32	QRO. 7	3701	b-d	72	b	73	b-d	2.79	ab	1.49	ab	5	ab
33	QRO. 1	5308	a-d	69	b-g	71	c-f	2.70	a-c	1.34	ab	5	ab

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

34	13x12 (Cruza simple )	5946	a-d	69	b-g	70	c-h	2.06	c	0.90	b	2	b
35	H-316	6160	a-d	76	a	76	ab	2.36	bc	1.13	b	3	ab
36	Antílope, H-377	9166	a	77	a	78	a	2.23	bc	1.10	b	3	ab
	MEDIA	5633		69		70		2.42		1.23		4.04	
	TUKEY (DHS)	6584		4		6		0.68		0.67		4	

REND: Rendimiento; FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; POD: mazorcas Podridas; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ ).

En los Cuadros 5.17 y 5.18 presentan los resultados del análisis de varianza combinado para las variables evaluadas en el laboratorio de los híbridos no convencionales en las localidades de Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. Las variables físicas de la semilla (Cuadro 5.17) analizadas fueron PH, PMG, IF, PED, PER, GER, EH, EC; las variables de color y propiedades reológicas (Cuadro 5.18) L, HUE, CROMA, TP, TPV, VP, VR. Hubo diferencias altamente significativas entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para las variables PH, PMG, IF, PED, EH, EC, L, HUE, CROMA, TPV, VP, VR y diferencias significativa ( $P \leq 0.05$ ) para PER, GER, TP, lo que indica que al menos un genotipo es diferente. El genotipo tuvo mayor influencia para la variabilidad en L, CROMA y VR.

En el factor localidad; hubo diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para PH, PMG, IF, PED, GER, EH, EC, HUE, TP, TPV, VP, VR y diferencias significativa ( $P \leq 0.05$ ) para PER, L; esto se debe a que existe un comportamiento diferente en cada localidad, debido a la influencia del medio ambiente (Medina, 2016); no hubo diferencias significativas para la variable CROMA. Este factor fue el que mayor influencia tuvo en la manifestación de la variabilidad para estas variables. En la interacción genotipo x localidad hubo diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para las variables CROMA, TPV y diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) para PH, PMG, IF, PED, PER, GER, EH, EC, L, HUE, TP, VP, VR. García (2012) menciona que esta interacción se debe a las condiciones ambientales de las localidades donde se conducen los experimentos. Los coeficientes de variación (C.V.) en el análisis combinado para las variables fueron valores confiables, excepto EC presentó un valor alto, esto se debe a que esta variable se expresa en porcentaje.

**Cuadro 5.17.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza combinado de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos; Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS								
	gl	PH	PMG	IF	PED	PER	GER	EH	EC
Localidad	1	417.9**	182397**	5687**	1.74**	1.51*	28.57**	694.7**	547.9**
Loc (rep)	2	13.32	26988	7.81	0.001	0.47	0.90	86.51	94.40
Genotipo	35	<b>31.43**</b>	<b>13304**</b>	<b>1038**</b>	<b>0.17**</b>	<b>1.09*</b>	<b>1.20*</b>	<b>558.7**</b>	<b>541.6**</b>
Genotipo*Localidad	35	4.77*	4139*	272.8*	0.08*	0.56*	1.41*	105.1*	104*
Error	70	3.81	934.7	10.76	0.01	0.53	0.63	37.16	33.75
C.V. (%)		2.74	6.32	3.77	9.54	18.87	6.37	9.52	31.99

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; PH: Peso Hectolítrico; PMG: Peso de mil granos; IF: Índice de flotación; PED: Pedicelo; PER: Pericarpio; GER: Germen; EH: Endospermo harinoso; EC: Endospermo córneo.

**Cuadro 5.18.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza combinado de las variables de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos; Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS							
	gl	L	HUE	CROMA	TP	TPV	VP	VR
Localidad	1	30.03*	404.1**	1.92 <sup>NS</sup>	6.73**	2.36**	1651653**	98886**
Loc (rep)	2	13.09	9.21	2.64	0.40	0.02	58713	81092
Genotipo	35	<b>249.3**</b>	<b>360**</b>	<b>39.19**</b>	<b>1.28*</b>	<b>0.31**</b>	<b>1063769**</b>	<b>299769**</b>
Genotipo*Localidad	35	30.89*	70.92*	14.16**	0.68*	0.17**	175780*	132045*
Error	70	24.31	41.08	2.25	0.50	0.03	98886	44349
C.V. (%)		10.57	11.45	8.55	1.0	2.37	9.82	10.71

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; NS: Indica no significativo; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; L: Luminosidad; HUE: arctan (b/a); CROMA:  $(a^2 + b^2)^{1/2}$ ; TP: Temperatura de pastificado; TPV: Tiempo al pico de viscosidad; VP: Viscosidad pico; VR: Viscosidad de retrogradación.

En el Cuadro 5.19 se presenta la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. Se formaron varios grupos de significancia, los genotipos Criollo J.R., 5x17, GTO. 54, GTO.46, Criollo Tepec y 6x18 presentaron menor peso hectolítrico en ambas localidades; estos resultados muestran que estos dos híbridos mantuvieron esa característica de sus progenitores 5 (Criollo Tepec) y 6 (J.R.). Los híbridos no convencionales pozoleros rojos presentaron mayor PH en la localidad de Celaya, con respecto a Tarímbaro; Yang *et al.* (2000) mencionan que los ambientes con menor precipitación muestran relativamente mayor peso hectolítrico, como es el caso de la localidad de Celaya.

Para PMG, los genotipos 5x17, GTO. 54, GTO. 46, 5x18, 7x16, QRO. 7, Criollo J. R., 4x18, 3x16, 4x17 fueron estadísticamente similares, al presentar mayor PMG; los testigos que son maíces normales presentaron menor peso, esto se debe a que su tamaño es menor. Los híbridos presentaron mayor PMG en la localidad de Celaya, y por ende presentaron mayor rendimiento; al respecto Yang *et al.* (2000) mencionan que los ambientes donde se registran mayor tamaño de grano, presentan mayor rendimiento y alto PH.

En el IF, 15 híbridos y cinco progenitores fueron estadísticamente iguales, al presentar mayor índice de flotación; estos resultados demuestran que los híbridos no convencionales presentan características similares que los maíces nativos pozoleros; la cruza simple (13x12) y los testigos presentaron menor índice de flotación, lo cual se atribuye a que son maíces más duros. En la Localidad de Tarímbaro los genotipos fueron más suaves con un valor medio de 93 %, con respecto a la localidad de Celaya con 81 %.

Con respecto al PED, 12 híbridos no convencionales, el progenitor GTO. 46 y los testigos (Antílope, H-377) presentaron menor contenido de pedicelo de 1.1 a 1.3 %, respectivamente. Los valores oscilaron de 1.1 a 2 %; Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) mencionan que esta estructura es necesaria de eliminar a fin de obtener un grano floreado de buena calidad para elaborar pozole.

En el PER, 14 híbridos no convencionales y progenitor GTO. 46 presentaron menor porcentaje de pericarpio con valores que fluctuaron de 3.3-3.7 %, respectivamente. El resto fueron estadísticamente similares a sus progenitores y a los testigos Antílope y el H-377; lo que muestra que estos híbridos no convencionales presentaron un contenido similar a los maíces nativos y a los testigos.

Para GER, todos los híbridos no convencionales fueron similares a seis progenitores femeninos y a los testigos, con mayor contenido de germen con valores que oscilaron de 11.9 a 14.2 %, respectivamente; estos resultados son mayores a los reportados por Vásquez-Carrillo *et al.* (2016) en dos colectas de la raza Elotes Occidentales.

Para el EH, 18 híbridos no convencionales fueron estadísticamente iguales a seis progenitores femeninos en mayor contenido de endospermo harinoso, con valores que oscilaron de 61.5 a 77.8 %, respectivamente; estos resultados demuestran que la mayoría de los híbridos no convencionales conservaron esa característica de sus progenitores femeninos. Tarímbaro presentó el mayor porcentaje de EH con 66.2 %, con respecto a Celaya que mostró un valor promedio de 61.8 %; esto se debe a que los genotipos fueron más suaves en la localidad de Tarímbaro.

En el EC, los híbridos no convencionales que mostraron mayor contenido de endospermo harinoso, presentaron menor contenido de EC, con valores que fluctuaron de 3.9 a 19.8 %, respectivamente; esto muestra que estos híbridos no convencionales son de textura suave; Estos resultados muestran que los híbridos no convencionales pozoleros rojos presentan características físicas similares a los maíces nativos de la raza Elotes Occidentales necesarias para elaborar pozole.

5.19. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo combinado de las características físicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipos	PH (Kg hL <sup>-1</sup> )		PMG (g)		IF		PED		PER		GER %		EH		EC	
1	2x12	73.3	a-d	503.6	b-g	91	a-e	2.0	a	4.1	a-c	12.4	ab	59.1	c-g	22.4	c-g
2	2x13	70.4	c-f	480.5	c-g	94	a-e	1.7	a-c	3.9	a-c	12.3	ab	67.0	a-e	15.1	e-h
3	3x12	73.2	a-d	467.0	c-g	87	c-f	1.2	e-i	3.9	a-c	12.7	ab	54.0	d-g	28.1	b-f
4	3x13	72.9	a-d	491.0	b-g	85	ef	1.5	b-g	3.5	c	12.2	ab	60.1	b-g	22.7	c-g
5	3x15	71.8	b-e	461.0	d-g	92	a-e	1.4	c-i	4.0	a-c	13.3	ab	76.3	a-c	5.0	gh
6	3x16	69.2	d-f	517.4	a-g	98	ab	1.3	d-i	3.5	c	12.7	ab	74.3	a-c	8.2	gh
7	3x18	70.7	c-f	503.5	b-g	94	a-d	1.1	hi	3.5	c	12.8	ab	73.9	a-c	8.7	gh
8	4x13	70.1	c-f	464.2	d-g	94	a-e	1.6	b-f	3.9	a-c	12.0	ab	66.5	a-e	16.1	e-h
9	4x15	70.6	c-f	441.9	fg	93	a-e	1.1	hi	3.6	c	12.3	ab	69.6	a-d	13.5	e-h
10	4x17	70.5	c-f	517.3	a-g	96	a-c	1.2	f-i	3.3	c	12.7	ab	72.2	a-c	10.5	gh
11	4x18	73.2	a-d	520.3	a-f	90	b-f	1.5	b-i	3.9	a-c	13.1	ab	67.3	a-e	14.2	e-h
12	5x13	71.0	c-f	472.5	c-g	90	b-f	1.8	ab	3.9	a-c	12.6	ab	67.7	a-e	14.0	e-h
13	5x17	67.1	e-g	598.9	a	100	a	1.5	b-h	3.7	bc	12.2	ab	77.0	ab	5.6	gh
14	5x18	72.9	a-d	551.7	a-c	93	a-e	1.1	i	3.7	bc	14.2	a	72.0	a-c	9.1	gh
15	5x19	71.9	b-e	462.2	d-g	93	a-e	1.1	g-i	3.7	bc	12.5	ab	74.2	a-c	8.5	gh
16	6x12	73.0	a-d	474.9	c-g	85	d-f	1.4	b-i	3.5	c	12.3	ab	64.7	a-f	18.1	d-h
17	6x13	71.7	c-f	463.9	d-g	92	a-e	1.6	b-e	3.9	a-c	12.5	ab	72.7	a-c	9.3	gh
18	6x18	68.3	d-g	476.7	c-g	96	a-c	1.5	b-h	5.8	a	12.4	ab	70.1	a-d	10.2	gh
19	7x16	69.9	d-f	544.4	a-d	96	a-c	1.2	e-i	3.4	c	12.0	ab	70.8	a-d	12.5	f-h
20	7x17	72.1	a-e	451.6	e-g	85	d-f	1.3	d-i	3.6	c	12.5	ab	59.0	c-g	23.6	b-g
21	9x13	72.7	a-d	440.8	fg	68	g	1.7	a-d	4.2	a-c	12.8	ab	44.1	g-i	37.2	a-c
22	9x16	71.4	c-f	481.3	c-g	88	c-f	1.3	d-i	3.8	a-c	12.3	ab	70.5	a-d	12.0	f-h
23	10x17	72.1	a-e	432.7	gh	88	c-f	1.4	c-i	3.7	bc	13.0	ab	59.5	c-g	22.4	c-g
24	11x16	71.0	c-f	489.7	b-g	91	a-e	1.3	d-i	3.5	c	12.0	ab	65.4	a-e	17.8	e-h
25	11x17	72.9	a-d	493.2	b-g	82	f	1.3	d-i	3.5	c	13.0	ab	47.7	f-i	34.4	a-d
26	Criollo J. R.	63.4	g	534.7	a-d	100	a	1.7	ab	4.1	a-c	11.8	b	69.6	a-d	12.9	f-h
27	GTO. 54	67.2	fg	570.8	ab	100	a	1.6	b-f	3.8	a-c	11.6	b	73.3	a-c	9.7	gh
28	GTO. 46	67.9	d-g	552.2	a-c	99	ab	1.3	e-i	3.7	bc	13.4	ab	77.8	a	3.9	h
29	GTO. 121	68.5	d-g	498.7	b-g	88	c-f	1.4	c-i	3.8	a-c	12.1	ab	75.2	a-c	7.6	gh
30	Criollo Tepec	68.2	d-g	488.7	b-g	100	a	1.4	b-i	3.8	a-c	12.0	ab	74.6	a-c	8.3	gh
31	QRO. 18	72.2	a-e	487.1	b-g	88	c-f	1.5	b-h	4.0	a-c	12.3	ab	59.5	c-g	22.9	c-g
32	QRO. 7	71.4	c-f	536.1	a-d	90	b-f	1.5	b-g	3.9	a-c	13.3	ab	61.5	a-f	19.8	d-h



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

33	QRO. 1	71.4	c-f	506.9	b-g	92	a-e	1.5	b-g	4.0	a-c	13.5	ab	51.4	e-h	29.7	b-e
34	13x12 (Cruza simple )	77.2	ab	353.5	hi	32	i	1.6	b-f	3.8	a-c	11.9	ab	34.4	hi	48.2	a
35	H-316	77.6	a	317.7	i	38	hi	1.5	b-f	5.8	ab	12.0	ab	31.7	i	49.0	a
36	Antílope, H- 377	75.6	a-c	350.2	hi	45	h	1.3	e-i	4.4	a-c	11.9	ab	43.1	g-i	39.3	ab
	MEDIA	71.2		482.7		87		1.4		3.9		12.5		64.3		17.9	
	DHS	5.5		86.6		9		0.4		2.1		2.3		17.3		16.5	

PH: Peso Hectolítico; PMG: Peso de mil granos; IF: Índice de flotación; PED: Pedicelo; PER: Pericarpio; GER: Germen; EH: Endospermo harinoso; EC: Endospermo córneo; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ );

En el Cuadro 5.20 se presenta la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. En las características de color, los híbridos no convencionales 3x15, 2x12, 3x12, 6x12 y la cruce simple (13x12) presentaron menor luminosidad (L), con valores de 30 a 34.2; los testigos que son maíces blancos presentaron mayor luminosidad; al respecto, Vázquez-Carrillo *et al.*, (2016) mencionan que los valores más altos de luminosidad se presentan en maíces blancos. Para HUE, los genotipos que presentaron menor luminosidad, mostraron los valores más bajos, en un rango de 34.9 a 43.9°; los testigos y los híbridos 4x18 y 6x18 presentaron los valores más altos de HUE. En el cromatismo los híbridos no convencionales presentaron valores de 13.7 a 21.4; los testigos mostraron los valores más altos de CROMA y fueron estadísticamente similares al híbrido 3x15. Estos resultados concuerdan con Salinas-Moreno (2012a) lo que indica, que los híbridos presentaron un color morado/rojizo con mayor pureza de color.

Los híbridos no convencionales 7x16, 6x12 y los testigos presentaron menor TP con valores que oscilaron de 69.8 a 69.9; esto se debe a las cadenas de amilopectina más pequeñas en los gránulos de almidón de las semillas de estos genotipos (Hernández, 2007). Los genotipos 5x17, criollo Tepec, GTO. 54, 6x18, 6x12, 7x16, 5x18, 3x15, 5x19 presentaron menor TPV de 7.7 a 7.9 minutos, respectivamente. En la VP, 18 híbridos no convencionales fueron estadísticamente igual a cinco de sus progenitores femeninos, lo cual muestra que los híbridos no convencionales alcanzaron su máximo hinchamiento similar a los maíces nativos; los testigos (Antílope y los híbridos 316, 377) mostraron los valores más bajos de viscosidad, esto se debe a que son materiales que su destino no es la elaboración de pozole. Así mismo los genotipos que mostraron mayor viscosidad, presentaron mayor VR; los testigos presentaron los valores más bajos. Estos resultados muestran que los híbridos no convencionales presentaron características semejantes a sus progenitores femeninos en cuanto a calidad pozolera, lo cual cumple con el tercer objetivo.

5.20. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del ensayo combinado de las características de color y las propiedades reológicas de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipos	L		HUE (°)		CROMA		TP (°C)		TPV (min)		VP (Cp)		VR (Cp)	
1	2x12	30.8	e	43.9	d-g	19.2	b-g	70.5	a-d	8.2	b-h	2855.3	d-j	1801.0	b-h
2	2x13	50.5	b	59.7	c-e	16.1	g-i	70.8	a-d	8.0	d-h	3360.3	a-h	1886.5	a-h
3	3x12	31.0	e	41.8	e-g	21.2	b-e	70.2	a-d	8.0	d-h	2700.0	e-k	1757.0	d-h
4	3x13	50.0	b	56.4	c-e	16.1	g-i	70.8	a-d	8.2	c-h	2867.0	c-j	1566.3	f-h
5	3x15	30.0	e	35.6	fg	22.6	a-c	70.8	a-d	7.9	e-h	3412.8	a-g	1910.8	a-g
6	3x16	48.1	bc	55.7	c-e	16.0	g-i	71.2	a-d	8.2	c-h	3783.0	ab	2368.5	a-c
7	3x18	48.0	bc	57.2	c-e	15.3	g-i	71.1	a-d	8.1	c-h	4016.5	a	2380.0	ab
8	4x13	46.3	b-d	55.6	c-e	14.5	hi	70.8	a-d	8.0	d-h	3500.0	a-f	2052.3	a-f
9	4x15	43.5	b-e	54.9	c-e	17.1	e-i	70.8	a-d	8.1	c-h	2834.3	d-j	1691.0	e-h
10	4x17	49.4	b	61.6	cd	14.3	hi	70.6	a-d	8.0	d-h	3395.3	a-g	2039.0	a-f
11	4x18	50.3	b	64.2	a-c	15.1	g-i	70.6	a-d	8.5	a-e	3312.5	a-h	2301.8	a-d
12	5x13	49.9	b	50.6	c-g	18.2	d-h	70.8	a-d	8.1	c-h	3175.8	a-h	1847.5	b-h
13	5x17	45.8	b-d	53.6	c-f	21.4	b-d	71.3	a-c	7.7	h	3756.3	a-c	2098.3	a-f
14	5x18	47.2	bc	62.4	bc	18.5	c-h	70.7	a-d	7.9	e-h	3349.0	a-h	2046.8	a-f
15	5x19	49.2	b	62.6	bc	14.7	hi	70.5	a-d	7.9	e-h	3907.8	ab	2222.5	a-e
16	6x12	34.2	c-e	34.9	g	21.4	b-d	69.8	b-d	7.9	e-h	2483.8	h-k	1542.5	f-h
17	6x13	48.9	b	54.9	c-e	16.5	f-i	70.6	a-d	8.1	c-h	3392.8	a-g	2044.5	a-f
18	6x18	49.8	b	63.9	a-c	17.0	e-i	71.4	a-c	7.8	gh	3519.5	a-f	1882.0	a-h
19	7x16	47.9	bc	61.4	cd	14.4	hi	69.9	b-d	7.9	e-h	3584.0	a-e	1990.3	a-f
20	7x17	47.9	bc	53.2	c-f	15.9	g-i	70.4	a-d	8.2	c-h	3514.0	a-f	2227.8	a-e
21	9x13	45.5	b-d	56.0	c-e	16.0	g-i	71.1	a-d	8.3	b-g	2631.0	f-k	1781.3	c-h
22	9x16	47.0	bc	53.5	c-f	16.3	g-i	70.8	a-d	8.0	d-h	3428.0	a-g	2137.3	a-f
23	10x17	50.7	b	61.3	cd	15.3	g-i	71.1	a-d	8.3	b-h	3375.3	a-g	2260.0	a-e
24	11x16	51.7	b	59.0	c-e	15.1	g-i	70.8	a-d	8.4	a-f	3510.3	a-f	2461.5	a
25	11x17	47.7	bc	57.5	c-e	16.0	g-i	70.1	a-d	8.5	a-d	3022.3	b-i	2182.8	a-e
26	Criollo J. R.	45.7	b-d	52.3	c-g	20.5	b-f	71.7	ab	8.3	b-g	3791.3	ab	2223.5	a-e
27	GTO. 54	46.0	b-d	56.4	c-e	17.9	d-h	70.4	a-d	7.8	gh	3708.3	a-d	2026.3	a-f
28	GTO. 46	47.7	bc	51.3	c-g	15.4	g-i	72.1	a	8.1	c-h	3428.8	a-g	2113.8	a-f
29	GTO. 121	49.8	b	58.6	c-e	16.8	f-i	70.4	a-d	8.0	d-h	3291.5	a-h	1806.0	b-h
30	Criollo Tepec	42.7	b-e	48.0	c-g	21.7	b-d	71.2	a-d	7.7	h	3658.3	a-d	2040.8	a-f
31	QRO. 18	49.0	b	58.9	c-e	15.0	g-i	70.3	a-d	8.3	b-h	2591.8	g-k	1674.8	e-h

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

32	QRO. 7	45.7	b-d	60.3	cd	14.6	hi	70.3	a-d	8.5	a-e	2863.8	d-j	1957.5	a-g
33	QRO. 1	42.5	b-e	52.7	c-g	13.7	i	70.4	a-d	8.3	b-g	2861.0	d-j	1972.8	a-f
34	13x12 (Cruza simple)	32.9	de	42.2	e-g	22.0	b-d	70.2	a-d	8.8	ab	2397.8	i-k	1757.5	d-h
35	H-316	66.9	a	81.0	a	26.3	a	69.6	cd	8.9	a	1825.8	k	1305.0	h
36	Antílope, H- 377	68.2	a	80.4	ab	23.4	ab	69.2	d	8.6	a-c	2103.8	jk	1372.5	gh
	MEDIA	46.6		55.9		17.5		70.6		8.2		3200.3		1964.7	
	DHS	14.0		18.2		4.3		2.0		0.5		891.2		596.8	

L: Luminosidad; HUE:  $\arctan(b/a)$ ; CROMA:  $(a^2+b^2)^{1/2}$ ; TP: Temperatura de pastificado; TPV: Tiempo al pico de viscosidad; VP: Viscosidad pico; VR: Viscosidad de retrogradación; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ ).

## ANTOCIANINAS Y COLOR EN HNC DE AUTOPOLINIZACIÓN, EN CELAYA., GTO.

En el Cuadro 5.21 se muestran los resultados del análisis de varianza para el contenido de antocianinas (CAT), características de color en el grano y harina de las autofecundaciones de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos evaluados en la localidad de Celaya, Gto. El análisis se determinó sólo a 28 muestras de 36. Hubo diferencias altamente significativas entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para CAT, L en grano, HUE en grano; y CROMA en harina y diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) para CROMA en grano, L y HUE en harina. Los coeficientes de variación (C.V.) son aceptables, esto indica confiabilidad y precisión en la comparación de los genotipos.

**Cuadro 5.21.** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza del contenido de antocianinas, color de grano y harina de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos. Celaya, Gto. P-V 2015.

Fuentes de variación	CUADRADOS MEDIOS							
	gl	CAT	COLOR DEL GRANO			COLOR DE HARINA		
			L	HUE	CROMA	L	HUE	CROMA
Repetición	3	2301.1	9.91	0.56	3.14	4.53	24.37	0.29
Genotipo	27	<b>12914**</b>	<b>64.47**</b>	<b>164.81**</b>	<b>18.09*</b>	<b>13*</b>	<b>165.69*</b>	<b>3.34**</b>
Error	81	558.48	8.03	35.82	4.46	1.94	23.43	0.29
C.V. (%)		16.14	5.84	2	13.70	1.69	1.50	10.66

\*, \*\*: Indica significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; C.V.: Coeficiente de variación; gl: Grados de libertad; CAT: Contenido de antocianinas; L: Luminosidad; HUE:  $\arctan(b/a)$ ; CROMA:  $(a^2 + b^2)^{1/2}$ .

En el Cuadro 5.22 se presenta la comparación de medias (Tukey) para las variables con significancia estadística. Se formaron varios grupos de significancia; el Criollo J. R. presentó mayor CAT con 343 mg/Kg MS, respectivamente; los híbridos no convencionales 6x18, 6x13, 7x17, 4x18 mostraron mayor contenido de antocianinas con 213.7, 187.9, 162.7, 160.1 mg/Kg MS, respectivamente; cuatro progenitores femeninos fueron

estadísticamente igual a estos híbridos, el contenido de antocianinas en los genotipos osciló de 65.4 a 343 mg/Kg MS; estos resultados concuerdan con lo reportado por Salinas (2009) quien encontró en accesiones de la raza Elotes Occidentales 115 mg/Kg de CAT.

Los genotipos QRO. 18, 4x18, 4x17, 11x16, Criollo J. R., 5x18, 4x13, 9x16 y 3x16 presentaron menor luminosidad de 41.2 a 47.5. Los híbridos no convencionales 4x15 y 3x18 que presentaron menor CAT fueron los que mayor L mostraron; esto se debe a que estos híbridos presentaron menor pigmentación; al respecto Salinas *et al.* (2012b) encontraron valores altos de L en poblaciones de grano rojo claro. En el Angulo de tono (HUE) 13 híbridos no convencionales y cuatro progenitores femeninos mostraron los valores más altos de 297.3 a 313<sup>o</sup>, algunos de estos híbridos presentaron mayor contenido de antocianinas; lo que indica que estos maíces fueron de color rojo oscuro o azules, Jha (2010) menciona que la variable HUE, es de los parámetros de color que mayor asociación guarda con la apreciación visual del color. En el CROMA los valores oscilaron de 11.2 a 19.3; valores similares a los encontrados en Vásquez-Carrillo *et al.* (2016) en la raza Elotes Occidentales.

Para el color en la harina, la variable L presentó valores altos en los genotipos con un valor promedio de 82.2 comparado con L en grano; esto se debe a que el endospermo es blanco, lo que provoca que al moler el grano, el color de la capa de aleurona se diluya y presenté un color menos intenso. En HUE los valores oscilaron de 309.5 a 336.3<sup>o</sup>. Los valores de CROMA fueron bajos comparados con los de grano, con un promedio de 5.1, mostraron menor pureza de color.

**Cuadro 5.22.** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey del contenido de antocianinas, color de grano y harina de las muestras de los híbridos no convencionales pozoleros rojos para las variables con significancia estadística. Celaya, Gto. P-V 2015.

No. de Genotipo	Genotipos	CAT (mg/Kg)		COLOR DE GRANO						COLOR DE HARINA					
				L		HUE(°)	CROMA	L		HUE(°)	CROMA				
2	2x13	82.6	j-l	49.1	b-e	300.3	a-e	15.6	a-c	83.3	a-e	314.7	d-g	5.5	a-g
4	3x13	80.3	kl	48.0	b-f	301.5	a-d	17.4	ab	83.0	a-f	316.2	b-g	5.8	a-e
6	3x16	126.0	f-l	47.5	c-f	300.4	a-e	11.2	c	84.8	ab	327.6	a-d	3.4	h-j
7	3x18	88.1	i-l	55.3	ab	295.8	b-e	18.1	ab	83.5	a-e	312.6	e-g	4.5	e-j
8	4x13	125.6	f-l	47.2	c-f	298.9	a-e	18.0	ab	81.8	b-g	314.6	d-g	6.4	a-c
9	4x15	65.4	l	60.4	a	284.6	e	15.9	a-c	84.7	ab	319.5	b-g	3.2	j
10	4x17	122.5	g-l	43.2	d-f	311.4	ab	12.7	bc	83.6	a-d	324.4	a-e	4.7	e-i
11	4x18	160.1	b-g	41.5	ef	313.0	a	16.3	a-c	82.6	a-g	326.2	a-d	5.2	b-g
12	5x13	106.3	g-l	47.8	b-f	311.0	ab	13.4	bc	84.7	ab	324.1	a-e	4.9	b-g
14	5x18	132.5	f-k	45.8	c-f	301.6	a-d	13.6	a-c	83.7	a-c	324.0	a-e	5.1	b-g
15	5x19	148.0	d-i	48.9	b-f	296.2	b-e	19.3	a	83.7	a-c	318.4	b-g	5.4	a-g
17	6x13	187.9	b-f	48.4	b-f	298.9	a-e	16.6	a-c	81.8	b-g	326.2	a-d	5.2	b-g
18	6x18	213.7	bc	47.6	b-f	297.3	a-e	18.5	ab	81.8	b-g	325.7	a-e	5.6	a-g
19	7x16	93.4	h-l	48.3	b-f	299.4	a-e	14.7	a-c	81.9	b-g	315.9	c-g	4.7	e-i
20	7x17	162.7	b-g	52.6	bc	292.7	c-e	15.2	a-c	82.0	b-g	322.3	b-g	4.2	g-j
21	9x13	145.0	d-j	49.9	b-d	292.8	c-e	15.7	a-c	81.6	b-g	325.3	a-e	5.7	a-f
22	9x16	112.3	g-l	47.5	c-f	296.5	b-e	16.5	a-c	83.4	a-e	310.2	fg	4.9	b-g
23	10x17	117.0	g-l	49.5	b-d	295.7	b-e	13.2	bc	79.8	d-g	323.0	b-f	5.1	b-g
24	11x16	135.1	e-k	43.5	d-f	301.6	a-d	16.7	a-c	82.0	b-g	327.5	a-d	4.2	f-j
25	11x17	150.1	c-i	48.6	b-f	299.6	a-e	13.2	bc	82.3	a-g	336.3	a	4.8	d-i
26	Criollo J. R.	343.0	a	44.5	d-f	288.2	de	16.9	a-c	80.2	c-g	326.7	a-d	6.2	a-d

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

27	GTO. 54	221.1	b	52.5	bc	294.2	c-e	17.6	ab	81.9	b-g	309.5	g	6.5	ab
28	GTO. 46	187.1	b-f	47.8	b-f	302.3	a-d	15.1	a-c	80.8	c-g	326.5	a-d	6.0	a-e
29	GTO. 121	101.9	g-l	53.1	a-c	299.3	a-e	16.4	a-c	85.8	a	316.0	c-g	4.8	d-h
30	Criollo Tepec	135.5	e-k	49.5	b-d	300.3	a-e	11.2	c	79.1	g	329.3	ab	3.3	ij
31	QRO. 18	203.7	b-d	41.2	f	304.5	a-c	13.1	bc	79.7	e-g	326.7	a-d	5.5	a-g
32	QRO. 7	197.0	b-e	49.8	b-d	296.6	b-e	14.7	a-c	79.5	fg	322.6	b-g	5.8	a-e
33	QRO. 1	154.3	c-h	50.1	b-d	289.8	c-e	14.6	a-c	79.5	fg	328.6	a-c	6.8	a
	MEDIA	146.4		48.5		298.7		15.4		82.2		322.2		5.1	
	DHS	64.3		7.7		16.3		5.7		3.8		13.2		1.5	

CAT: Contenido de antocianinas; L: Luminosidad; HUE:  $\arctan(b/a)$ ; CROMA:  $(a^2+b^2)^{1/2}$ ; DHS: Diferencia Significativa Honesta. Híbridos con diferente letra dentro de cada variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con Tukey ( $\alpha < 0.05$ );



**Cuadro 5.23.** Híbridos no convencionales con buenas características agronómicas, características físicas y calidad pozolera. Celaya, Gto. y Tarímbaro, Mich. P-V 2015.

Variables/Híbridos	Valor	3x18	5x19	3x16	5X17	7x16	6x18	11x16	3x15	4x17	2x13	5x18
FM (días)		68	70	68	70	67	70	68	69	69	67	70
FF (días)		70	71	70	70	67	70	69	70	70	68	71
AP (m)		2.6	2.39	2.4	2.36	2.49	2.3	2.71	2.4	2.4	2.21	2.4
AM (m)		1.25	1.11	1.28	1.23	1.36	1.14	1.48	1.14	1.35	1.01	1.25
ACT (%)		3	2	5	5	3	5	5	4	4	4	3
POD (%)		4	3	4	4	5	4	4	5	2	7	5
PH (Kg hL <sup>-1</sup> )	< 67 Kg hL <sup>-1</sup>	70.7	71.9	69.2	67.1	69.9	68.3	71	71.8	70.5	70.4	72.9
PMG (g)	> 380 g	503.5	462.2	517.4	598.9	544.4	476.7	489.7	461	517.3	480.5	551.7
IF	100	94	93	98	100	96	96	91	92	96	94	93
PED (%)		1.1	1.1	1.3	1.5	1.2	1.5	1.3	1.4	1.2	1.7	1.1
PER (%)	<6.0 %	3.5	3.7	3.5	3.7	3.4	5.8	3.5	4	3.3	3.9	3.7
GER (%)		12.8	12.5	12.7	12.2	12	12.4	12	13.3	12.7	12.3	14.2
EH (%)	> 78.0 %	73.9	74.2	74.3	77	70.8	70.1	65.4	76.3	72.2	67	72
EC (%)		22.7	22.4	28.1	39.3	14.2	18.1	12	8.5	9.1	34.4	22.9
TP (°C)	< 72 °C	71.1	70.5	71.2	71.3	69.9	71.4	70.8	70.8	70.6	70.8	70.7
TPV (min.)		8.1	7.9	8.2	7.7	7.9	7.8	8.4	7.9	8	8	7.9
VP (cP)	> 3600 cP	4016.5	3907.8	3783	3756.3	3584	3519.5	3510.3	3412.8	3395.3	3360.3	3349
VR (cP)		2380	2222.5	2368.5	2098.3	1990.3	1882	2461.5	1910.8	2039	1886.5	2046.8
CAT (mg/Kg)		88.1	148	126		93.4	213.7	135.1		122.5	82.6	132.5

Valor de parámetros de calidad pozolera de acuerdo con Vásquez-Carrillo *et al.* (2016). Se acomodaron en base al valor más alto de viscosidad. FM: Floración masculina; FF: Floración femenina; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; ACT: Acame total; POD: mazorcas Podridas; PH: Peso Hectolítrico; PMG: Peso de mil granos; IF: Índice de flotación; PED: Pedicelo; PER: Pericarpio; GER: Germen; EH: Endospermo harinoso; EC: Endospermo córneo; TP: Temperatura de pastificado; TPV: Tiempo al pico de viscosidad; VP: Viscosidad pico; VR: Viscosidad de retrogradación; CAT: Contenido de antocianinas.

## VI. CONCLUSIONES

En base a la caracterización de los 67 híbridos no convencionales pozoleros rojos, se seleccionaron 25 híbridos no convencionales con características físicas de grano superior y en base al potencial de rendimiento. Los híbridos no convencionales pozoleros rojos presentaron un potencial de rendimiento similar a los testigos comerciales de grano blanco y presentaron un rendimiento superior que cuatro de sus progenitores femeninos, que son maíces nativos. En los caracteres agronómicos hubo híbridos que superaron en estas variables y en otras fueron similares a los testigos comerciales; lo cual pone de manifiesto el uso del mejoramiento genético para mejorar las características agronómicas y aumentar el rendimiento.

Los híbridos no convencionales 3x18, 5x19, 3x16, 5x17, 7x16, 6x18, 11x16, 3x15, 4x17, 2x13, 5x18 con buenas características agronómicas y rendimiento similar a los testigos comerciales, excepto los híbridos 3x15, 3x16 y 5x17; presentaron características físicas y de calidad pozolera; lo cual muestra que algunos de estos híbridos aumentaron su rendimiento a través de los patrones heteróticos e igualaron las características de sus progenitores femeninos en cuanto a calidad pozolera, de los cuales el mayor contenido de antocianinas se presentó en los híbridos 6x18, 5x19, 11x16 5x18, 3x16 y 4x17 con 213.7, 148, 135.1, 132.5, 126, 122.5 mg/Kg MS, respectivamente. Estos híbridos no convencionales pozoleros rojos, excepto el híbrido 3x16; fueron los más sobresalientes en cuanto a las variables evaluadas.

**VII. LITERATURA CITADA**

Acosta, R. 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. Reseña El maíz en cuba. *Cultivos tropicales* 30 (2):113-120.

Aguilera-Ortiz, M., M. del C. Reza-Vargas., R. G. Chew-Madinaveitia y J. A. Meza-Velásquez. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista Biotecnia* XIII (2): 16-22.

Andrés-Meza, P., M. Sierra-Macías., A. Espinosa-Calderón., N. O. Gómez-Montiel., A. Palafox-Caballero., F. A. Rodríguez Montalvo., M. Tadeo-Robledo. 2014. Hoja de maíz (*Zea mays L.*), Importante actividad en la zona norte del estado de Veracruz, México. *Agro Productividad* p. 32-38.

Andrio E, E., S. A. Rodríguez H., A. Palomo G., A. Espinoza B., F. Cervantes O., E. Gutiérrez A., G. Arámbula V. y M. Mendoza E. 2011. Caracterización del Potencial Agronómico de Maíces Criollos para el Mejoramiento Genético; In: Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México, R. E. Preciado O. y S. Montes H. (eds.) Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, Edo. de México p. 59-73.

Antonio M, M., J. L. Arellano V., G. García de los Santos., S. Miranda C., J. A. Mejía C. y F. V. González C. 2004. Variedades Criollas de maíz azul raza chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 9-15.

Aragón C, F., J. D. Figueroa C., M. Flores Z., M. Gaytán M y M. J. Véles J. 2012. Calidad Industrial de Maíces Nativos de la Sierra Sur de Oaxaca. Libro Técnico No. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca, México. 249 p.

Arvizu-Fernández, J. L. 2011. Biocombustibles derivados del maíz. In: El cultivo del maíz (ed.). Mundi-Prensa, 1ª. Edición p. 31-37.

Astrid-Garzón, G. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biol. Colomb.*13 (3): 27-36.

Ballesteros M, G. 2013. Caracterización morfológica de las razas de maíz Elotes Occidentales y Ancho en el estado de Jalisco. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad de Guadalajara. 93p.

Bonifacio V, E. I., Y. Salinas M., A. Ramos R y A. Carrillo O. 2005. Calidad pozolera en colectas de maíz Cacahuacintle. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(3): 253-260.

Broa R, E. 2012. Evaluación del contenido de antocianinas en maíces de color cultivados en temporal y fertirrigación como una estrategia de desarrollo agrícola para la región oriente de Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. p. 49-50.

CONABIO. <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas>. Consulta: 21/09/15.

Cowieson, A. J. 2005. Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. *Animal Feed Science and Technology* 119: 293-305.

CIMMYT.<http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1349/97125.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Consulta: 20/12/16.

De Pascual-Teresa S. and Sánchez-Ballesta, M. T. 2008. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemical Review* 7:281-299.

Del Pozo-Insfran D., C. H. Brenes., S. O. Serna S, and S. T. Talcott. 2006. Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International* 39: 696-703.

Escribano-Bailón, M. T., C. Santos-Buelga and J. C. Rivas-Gonzalo. 2004. Anthocyanins in cereals. *Journal of Chromatography A* 1054: 129-141.

Espinosa A., M. Tadeo., A. Turrent., N. Gómez., M. Sierra., A. Palafox., F. Caballero., R. Valdivia y F. A. Rodríguez. 2008. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias* 92-93: 118-125.

Espinosa C, A., M. Tadeo R., y A. Tapia N. 1999. Variedades mejoradas no convencionales de maíz para agrosistemas de mediana productividad. *Agricultura Técnica en México* 25 (2): 83-87.

FAO. <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S00.htm#Contents>. Consulta: 11/04/16.

FAO. <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s02.htm>. Consulta: 11/05/15.

Fernández S, R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 275-283.

Figuroa C, J. D., J. J. Veles-Medina., E. M. Tolentino-López., M. Gaytan-Martinez., F. Aragón-Cuevas., N. Palacios and M. Willcox. 2013 Effect of traditional nixtamalization process on starch annealing and the relation to pozole quality. *Food Process Engineering* 36: 704-714.

FND. 2015. Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y pesquero. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorial/Panoramas/Ficha%20Ma%C3%ADz.pdf>. Consulta: 23/12/16.

Galinat, W. C. 1971. The origin of maize. Suburban Experiment Station, University of Massachusetts, Waltham, Massachusetts. p. 447-475.

García P, M. A. 2012. Diversidad genética, potencial agronómico y de calidad en maíces pigmentados de valles altos de México. Tesis de Doctor en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo de México. p. 53.

Gaytán-Martínez M., J. de D. Figueroa-Cárdenas., M. de la L. Reyes-Vega., E. Morales-Sánchez y F. Rincón-Sánchez. 2013. Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3-A): 339-346.

Gorriti G, A., F. Quispe J., J. L. Arroyo A., A. Córdova R., B. Jurado., I. Santiago A. y E. Taype E. 2009. Extracción de antocianinas de las corontas *Zea mays* l. Maíz morado. *Revista Ciencia e Investigación* 12(2):64-70.

Gomez, K. A. and A. A. Gomez 1984. Statistical procedures for agricultural research (2 ed.). John wiley and sons, NewYork, 680p.

Hernández G, A. 2007. Determinación de la relación amilosa/amilopectina y de algunas propiedades fisicoquímicas de maíces criollos enfocadas a sus usos potenciales. Tesis de Licenciatura en Químico de alimentos, UNAM Facultad de Química. p. 76-78.

Hundal, J. and Takhar, P. S. 2009. Dynamic viscoelastic properties and glass transition behavior of corn kernels. *Food Properties* 12: 295-307.

INAFED.2010.<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM11guanajuato/index.html>. Consulta: 7/06/17

INEGI.2010.<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/compendio.aspx> consulta: 7/06/17

Jaenicke-Despres, V., E. S. Buckler., B. D. Smith., M. T. P. Gilbert., A. Cooper., J. Doebley and S. Paabo. 2003. Early allelic selection in maize as revealed by ancient DNA. *Science* 302: 1206-1208.

Jonguitud P, L., C. Gómez A., G. Velázquez D. C., Z. Bustos V., P. Trejo R., J. Morales-Castro, J. Castro-Rosas y A. Fonseca-Palacios. 2010. Efecto de la Modificación Ácida de Almidón de Maíz Azul (*Zea mays*) con Diferentes Solventes Acidificados con Ácido Clorhídrico Sobre las Propiedades Térmicas y

Estructurales del Almidón. XII Congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos Universidad de Guanajuato, pp. 41:1; 42:14.

Jha, N. S. 2010. Color measurement and modeling. *In: Nondestructive Evaluation of Food Quality*. S N Jha (ed). Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. p. 17-40.

Kato Y, T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 119p.

Lago, C., E. Cassani., C. Zanzi., M. Andoni., R. Trovato and R. Pilu. 2014. Development and study of a maize cultivar rich in anthocyanins: coloured polenta, a new functional food. *Plant Breeding* 133: 210-217.

Luna F, M., O. Madrid C., A. Lara H., J. Hernández M., M. A. Salas L., J. I. Alcalá S y J. R. Gutiérrez S. 2007. Densidad de plantas en maíces de calidad proteínica en condiciones de riego en Zacatecas, México. Universidad Autónoma de Zacatecas. Vol. 3 N. 2. P.2

Maurico S, R. A., J. D. Figueroa C., S. Taba., M. de la L. Reyes V., F. Rincón S., y A. Mendoza G. 2004. Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(3): 213-222.

Medina P, M. M. 2016. Rendimiento y contenido de aceite en híbridos de maíz de líneas doble haploide. Tesis de Maestría en ciencias, Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto. pp. 49-51.

Muchow, R. C. 1990. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. *Field Crops Res.* 23:145-158.

Narváez-González, E. D., J. de D. Figueroa-Cárdenas y S. Taba. 2007a. Aspectos microestructurales y posibles usos del maíz de acuerdo con su origen geográfico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (3): 321-325.

Narváez-González, E. D., J. de D. Figueroa C., S. Taba., E. Castaño T. y R. A. Martínez P. 2007b. Efecto del tamaño del granulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (3): 269-277.

Narváez-González, E. D., J. de D. Figueroa C., S. Taba y F. Rincón S. 2006. Kernel microstructure of Latin American races of maize and their thermal and rheological properties. *Cereal Chemistry* 83:605-610.

Ortega C, A., M. de J. Guerrero H., O. Cota A y R. E. Preciado O. 2011. Situación actual de los maíces nativos y sus parientes silvestres en México; In: Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México, R. E. Preciado O. y S. Montes H. (eds.) Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, Edo. de México p. 15-41.

Paliwal, R. L., G. Granados., H. R. Lafitte y A. D. Violic (2001) Introducción al maíz y su importancia. In: El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia. 2001.

Piperno, D. R. and Flannery, K. V. 2000. The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *PNAS* 98 (4): 2101-2103.

Pohl, M. E. D., D. R. Piperno., K. O. Pope and J. G. Jones. 2007. Microfossil evidence for pre-Columbian maize dispersals in the neotropics from San Andres, Tabasco, Mexico. *PNAS* 104 (16): 6870-6875.

Ramírez C, M. A. (2006) Caracterización y almacenamiento de granos de elotes criollos de la región Otomí Tepehua del estado de Hidalgo. Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. p. 9-11.



Ramírez-Díaz, J. L., A. Ledesma-Miramontes., V. A. Vidal-Martínez., N. O. Gómez-Montiel., J. A. Ruiz-Corral., G. A. Velázquez-Cardelas., J. Ron-Parra., Y. Salinas-Moreno y L. A. Nájera-Calvo. 2015. Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas útiles en híbridos comerciales. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38 (2): 119-131.

Reyes C, P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S.A. México, D.F. 640 p.

Rivas J, M. A. 2010. Eficiencia de polinización, productividad, calidad de semilla y forraje en líneas trilineales de maíz. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. Mex.

Rodríguez C, F. 2010. De chile, mole y pozole. *Revista Claridades Agropecuarias* 205 (9):43-47.

Rodríguez V. M., P. Soengas., A. Landa., A. Ordas and P. Revilla. 2013. Effects of selection for color intensity on antioxidant capacity in maize (*Zea mays L.*) *Euphytica* 193: 339-345.

Ron P, J., J. de J. Sánchez G., A. A. Jiménez C., J. A. Carrera V., J. G. Martin L., M. M. Morales R., L. De la Cruz L., S. A. Hurtado D., S. Mena M. y J. G. Rodríguez P. 2006. Maíces nativos del occidente de México I. Colectas 2004. *Scientia-CUCBA* 8 (1): 1-139.

Salinas M, Y., C. GarcíaS., B. Coutiño E. y V. A. Vidal M. 2013. Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (3A): 285 – 294.

Salinas-Moreno, Y., J. J. Pérez-Alonso., G. Vázquez-Carrillo., F. Aragón-Cuevas y G. A. Velázquez-Cardelas. 2012a. Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays L.*) de las razas chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Agrociencia* 46: 693-706.

Salinas M, Y., F. J. Cruz C., S. A. Díaz O y F. Castillo G. 2012b. Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (1):33-41.

Salinas M, Y. 2009. Uso de maíces con pigmento tipo antociano. *En: Temas Selectos de la Cadena Maíz-Tortilla: Un Enfoque Multidisciplinario*. A. P. De Teresa-Ochoa, G. Viniestra-González (comps). Universidad Autónoma Metropolitana. p. 177-202.

Salinas M, Y. y Vásquez C, G. 2006. Metodologías de Análisis de la Calidad Nixtamalera-Tortillera en Maíz. INIFAP, Folleto técnico No.23 Centro de Investigación Regional del Centro, Campo Experimental Valle de México. 91p.

Sánchez O, I. 2014. Maíz I (*Zea mays*) *Reduca* (Biología). Serie Botánica 7 (2): 151-171. Universidad Complutense de Madrid.

Serna S, S. O., S. García L, y J. A. Gutiérrez U. 2011. Perfil Fotoquímico y Propiedades Nutracéuticas de Maíces Pigmentados y sus Tortillas; In *Amplitud, Mejoramiento, Usos y Riesgos de la Diversidad Genética de Maíz en México*, R. E. Preciado O. y S. Montes H. (eds.) Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, Edo. de México. p. 75-95.

SIAP. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>  
Consulta: 25/05/15.

Shukla, R. and Cheryan, M. 2000. Zein. The industrial protein from corn. *Industrial Crops and Products* 13 (2001):171-192.

Turrent-Fernández, A., T. A. Wise y E. Garvey. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. *Mex. Rural Develop. Res. Rep.* 24:1-36.

Vallejo C, F. A. y Estrada S, E. I. 2002. Mejoramiento genético de plantas. Universidad Nacional de Colombia. DIPAL. Calí, Colombia. p.19-20.

Vázquez-Carrillo, M. G., D. Santiago-Ramos, y N. Palacios-Rojas. 2016. Calidad Industrial y Nutricional de Razas Mexicanas de Maíz Pozolero. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México.159p.

Vázquez C, M. G. y Santiago R, D. 2013. Características fisicoquímicas y calidad del pozole del maíz cacahuacintle procesado mediante tres métodos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3A): 357-366.

Vázquez C, M. G., L. Guzmán B., J. L. Andrés G., F. Márquez S y J. Castillo M. 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26:231-238.

Wang Y, and L. Wang. 2002. Structures of four waxy rice starches in relation to thermal, pasting, and textural properties. *Cereal Chem.*79:252- 256.

Watson S. A. 2003. Description, development, structure, and composition of the corn kernel. Chapter 3, 12 In: Corn: Chemistry and Technology. P. J. White and L. A. Johnson. (Eds.). Second ed. American 13 Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp: 69-106.

Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X. and P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México su origen, características y distribución. O. E. E., S. A. G. Folleto téc. Núm. 55.

Wong R, R., E. Gutiérrez D. R., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B y J. J. Lozano G. 2007. Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la comarca lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(2): 181-189.

Yang P., R. J. Shunk., A. E. Haken., Y. X. Niu., S. H. Zou., P. Buriak., S. R. Eckhoff and E. Tumbleson. 2000. Yield, protein content, and viscosity of starch

from wet-milled corn hybrids as influenced by environmentally induced changes in test weight. *Cereal Chem.* 77:44-47.

<http://www.importancia.org/maiz.php>. Consulta: 11/05/16.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
Instituto Tecnológico de Roque



**T E S I S**

**RÉGIMEN HÍDRICO Y FERTILIZACIÓN POTÁSICA EN LA CALIDAD Y EL  
RENDIMIENTO DE SEMILLA Y FORRAJE DE GENOTIPOS DE *Avena sativa* L.**

**QUE PRESENTA**

**LUIS FABIÁN OCHOA VALADEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. ENRIQUE ANDRIO ENRÍQUEZ  
CO-DIRECTOR: DR. GILBERTO RODRÍGUEZ PÉREZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO DE 2017**

La tesis “Régimen hídrico y fertilización potásica en la calidad y el rendimiento de semilla y forraje de genotipos de *Avena sativa* L.”, fue realizada por el Estudiante **Luis Fabián Ochoa Valadez**, con la dirección del Dr. Enrique Andrio Enríquez y Codirección del Dr. Gilberto Rodríguez Pérez y asesoría del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y el Dr. José Elías Treviño Ramírez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. Enrique Andrio Enríquez**  
**Cédula No. 8125558**

**Codirector:**

---

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez**  
**Cédula No. 8612050**

**Asesor:**

---

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**  
**Cedula No. 6758831**

**Asesor:**

---

**Dr. José Elías Treviño Ramírez**  
**Cédula No. 4984108**

## **Dedicatoria**

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado la fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado, que siempre estuvo en mis horas felices y de angustia; por ello, con toda la humildad que de mi corazón se puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

A mi esposa Nohemí Chávez Godoy que siempre estuvo a mi lado apoyándome intensamente, alentándome para dar lo mejor de mí mismo en este proyecto, siempre mostrando su optimismo al máximo y contagiándomelo en todo momento y diciéndome tú puedes por mal que pareciera el panorama. Por todo eso y más te amo, gracias.

A mi hija Allyson que en todo momento me regalo una sonrisa a pesar del estrés que yo tuviera. Te amo mi niña, gracias.

A mis padres Martín Ochoa Linares y Angelina Valadez Mosqueda que siempre confiaron y creyeron en mí, en que podría salir adelante en otro proyecto más de mi vida, por darme el ánimo para seguir adelante. Los amo, Gracias.

A mis hermanos Martín y Víctor Hugo por brindarme su apoyo incondicional en el momento que lo necesite. Gracias amigos, los amo.

A todos aquellos que me brindaron su amistad y su apoyo y que influyeron en mi desarrollo profesional y personal.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado para la realización de mi proyecto de investigación de posgrado.

Al Instituto Tecnológico de Roque por el apoyo en cuanto a sus servicios e instalaciones, para disponer de ellas en todo momento de mi crecimiento académico durante mi estancia de posgrado.

A mi director el Dr. Enrique Andrio Enríquez que siempre confió en mí, por todos sus consejos y por el tiempo y conocimientos que me regalo para guiarme durante todo este tiempo.

A mi codirector el Dr. Gilberto Rodríguez Pérez que, a pesar no cumplir en su totalidad con las indicaciones y recomendaciones tuyas, aun así, siempre estuvo para resolver mis dudas y aclaraciones.

A mis asesores el Dr. Francisco Cervantes Pérez por su amplia disponibilidad que en todo momento tuvo conmigo y al Dr. José Elías Treviño Ramírez por la aportación de sus líneas experimentales de avena.

A mis profesores y compañeros de clase por compartir sus conocimientos y experiencias.

A mi hermano Víctor Hugo que siempre estuvo de manera incondicional para apoyarme durante el trabajo realizado en mi investigación.

A todos mis compañeros y amigos que de manera directa e indirecta me apoyaron y formaron parte de este gran proyecto de vida.



## ÍNDICE

	Pág.
Índice	I
Índice de tablas	V
Índice de figuras	Vii
Resumen	Ix
Summary	Xi
<b>I Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 La producción de avena en un contexto nacional	2
1.2 Comercio exterior	3
<b>II Objetivos</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
2.3 Hipótesis	4
<b>III Revisión de literatura</b>	<b>5</b>
3.1 Origen del cultivo de la avena	5
3.2 Generalidades del cultivo de la avena	6
3.3 Descripción del cultivo de la avena	7
3.4 Fisiología del cultivo	8
3.4.1 Etapas de desarrollo de la planta	8
3.5 Manejo agronómico	12
3.5.1 Preparación del terreno	12

3.5.2	Método y densidad de siembra	12
3.5.3	Cantidad de semilla para la siembra	13
3.5.4	Fertilización	13
3.5.5	Riegos	14
3.5.6	Control de malezas	14
3.5.7	Plagas	14
3.5.8	Enfermedades	15
3.6	Demanda de agua del cultivo de avena (déficit hídrico)	15
3.6.1	Procesos fisiológicos involucrados en el déficit hídrico	16
3.6.1.1	Conductancia estomática	16
3.6.1.2	Ajuste osmótico	16
3.6.2	La intervención del potasio en el déficit hídrico	17
3.7	El potasio en las plantas	18
3.7.1	Función del potasio	19
3.7.2	Movimiento del potasio en la planta	20
3.7.3	Síntomas de deficiencia por potasio	23
3.8	Fuentes de potasio	24
<b>IV</b>	<b>Materiales y Métodos</b>	<b>25</b>
4.1	Localización del experimento	25
4.2	Material genético	25
4.3	Manejo agronómico del experimento	26
4.3.1	Preparación del terreno (Rastra)	26

4.3.2	Surcado	26
4.3.3	Siembra del experimento	26
4.3.4	Riegos	26
4.3.5	Escarda	27
4.3.6	Fertilización	27
4.3.7	Control de malezas	27
4.3.8	Cosecha	27
4.4	Diseño experimental de campo	28
4.5	Modelo lineal estadístico para diseño de campo	28
4.6	Diseño experimental de laboratorio	29
4.7	Modelo lineal estadístico para diseño de laboratorio	29
4.8	Caracteres registrados	30
4.8.1	Caracteres de rendimiento de campo	30
4.8.1.1	Rendimiento de forraje verde	30
4.8.1.2	Rendimiento de forraje seco	30
4.8.1.3	Rendimiento de semilla	31
4.8.2	Caracteres de calidad de semilla	31
4.8.2.1	Peso de mil semillas	31
4.8.2.2	Porcentaje de germinación	32
<b>V</b>	<b>Resultados</b>	<b>33</b>
5.1	Análisis de varianza de los rendimientos de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena.	33
5.2	Comparación de medias de los rendimientos de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena.	36

5.3	Análisis de varianza de las variables de calidad de semilla en avena.	37
5.4	Comparación de medias en variables de calidad de semilla en avena.	39
5.5	Interacción de factores para las variables de rendimiento en avena.	40
5.6	Interacción de factores para las variables de calidad de semilla en avena.	45
<b>VI</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>50</b>
<b>VII</b>	<b>Literatura citada</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
<b>Tabla 3.1</b>	La escala de etapas fenológicas de Zadocks	10
<b>Tabla 3.2</b>	El potasio mejora la eficiencia del agua	17
<b>Tabla 3.3</b>	Fuentes de potasio	24
<b>Tabla 5.1</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza en variables de rendimiento de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena. Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.	34
<b>Tabla 5.2</b>	Comparación de medias en variables de rendimiento de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena. Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.	36
<b>Tabla 5.3</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza en variables de calidad de semilla en avena (peso de mil semillas y germinación). Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.	37
<b>Tabla 5.4</b>	Comparación de medias en variables de calidad de semilla en avena (peso de mil semillas y germinación). Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.	39
<b>Tabla 5.5</b>	Interacciones entre los factores de estudio: Dosis UK de fertilización potásica, Hum (número de riegos) y variedades, para las variables de rendimiento de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena. Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.	41
<b>Tabla 5.6</b>	Interacciones entre los factores de estudio: Dosis UK de fertilización potásica, Hum (número de riegos) y variedades, para las variables de peso de mil semillas y porcentaje de germinación en semilla en avena. Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
<b>Figura 3.1</b>	
Resumen del movimiento de iones y metabolismo de las células oclusivas durante la abertura (A,B) y cierre (C) estomático dependiente de K +.	17
<b>Figura 3.2</b>	
Diagrama esquemático que demuestra el efecto que tiene el K en varios procesos fisiológicos y que conecta los procesos afectados con el rendimiento y Desarrollo de calidad (plantas suficientes K versus plantas deficientes en K).	20
<b>Figura 3.3</b>	
El potasio mejora y aumenta el flujo de los asimilados.	21
<b>Figura 3.4</b>	
Acumulación de K en los diferentes estadios de la planta de soya con relación al tiempo relativo de crecimiento representado en porcentaje.	22
<b>Figura 3.5</b>	
Modelo de transporte y movimiento del Potasio entre las raíces y tallos a través del metabolismo del nitrato y malato.	23

## RESUMEN

En México, el uso de la *Avena sativa* L. como forraje verde, forraje seco y grano, es una práctica generalizada y aplicada a lo largo del país por su gran aporte nutricional, pero principalmente por ser un cultivo de ciclo corto que es utilizado como alternativa en los sistemas de producción cuando los cultivos tradicionales se han siniestrado, ya que es un cultivo que se adapta a condiciones climáticas de un margen muy amplio; en ciclo P-V, O-I, riego, temporal o mixto. De tal manera que si se va a establecer como cultivo de alternativa es necesario contar con las recomendaciones técnicas necesarias en cuanto a las dosis de fertilización potásica, número adecuado de riegos y las mejores opciones en cuanto a variedades, con la finalidad de obtener el mejor comportamiento del sistema de producción en base a rendimientos de forraje verde, forraje seco, rendimiento de semilla y la calidad de la misma.

En esta investigación se estudiaron los efectos que producen la aplicación de 4 dosis de fertilización potásica: 0 UK (testigo), 30 UK, 60 UK y 90 UK y la aplicación de 2 riegos, 3 riegos y 4 riegos (testigo) en 6 variedades de avena; 5 líneas experimentales: L-112, L-117, L-124, L-164 y L-193 y una variedad comercial: Chihuahua (testigo). La investigación se llevó a cabo en una parcela del Instituto Tecnológico de Roque, en Celaya, Gto. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en franjas con 3 factores y 3 repeticiones; factor 1: dosis de fertilización potásica, factor 2: número de riegos y factor 3: genotipos. Cada unidad experimental estuvo constituida por 3 surcos de 3 metros de longitud y separados a 0.90 metros. Se estableció en una fecha de siembra el día 11 de diciembre de 2015. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de forraje verde, forraje seco y de semilla, así como el peso de mil semillas y el porcentaje de germinación dentro de la calidad de la semilla.

Se observó que existe una fuerte relación entre la dosis de fertilización potásica y la disminución al número de riegos, puesto que las mejores conductas de los tres rendimientos, así como el peso de mil semillas, fueron con la aplicación de una dosis de fertilizante potásico contra la nula aplicación del mismo y la reducción del número de riegos contra la aplicación del número de riegos recomendados por las fichas

técnicas del cultivo. Por otra parte, quien no reflejo un efecto al aumento de la dosis de fertilizante y por lo tanto no genero una relación con la disminución del número de riegos fue el porcentaje de germinación.

Los resultados demostraron que las dosis 30 UK con la variedad L-124 y 60 UK con las variedades L-164 y L-112 fueron las que provocaron el mejor comportamiento de los rendimientos y del peso de mil semillas, combinadas con la aplicación de solamente 2 riegos, pero aun así, la variedad más sobresaliente fue la L-112 ya que obtuvo los rendimientos más altos y el mayor peso de mil semillas de acuerdo a las comparaciones de medias según Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para los rendimientos y según LSD ( $P \leq 0.05$ ) para el peso de mil semillas. En cuanto al porcentaje de germinación, los resultados arrojaron que con la aplicación de 2 riegos y la variedad L-117 se obtiene el mayor porcentaje, pero que no se produjo ninguna relación entre las dosis de fertilización y el número de riegos que afectara el resultado.



## SUMMARY

In Mexico, the use of *Avena sativa* L. as green fodder, dry fodder and grain, is a widespread practice and applied throughout the country for its great nutritional contribution, however, because it is a crop of short cycle that is used as Alternative in production systems when traditional crops have been damaged, since it is a crop that adapts to the climatic conditions of a very wide margin; In cycle P-V, O-I, irrigation, temporal or mixed cycle. Thus, if it is going to be established as an alternative crop, it is necessary to have the necessary technical recommendations in terms of potassium fertilization doses, the appropriate number of irrigations and the best options in terms of varieties, to obtain the Better Behavior of the production system based on yields of green forage, dry fodder, seed yield and the quality of the same.

The effects of 4 doses of potassium fertilization were studied: 0 UK (control), 30 UK, 60 UK and 90 UK on the application of 2 irrigations, 3 irrigations and 4 irrigations (control) in 6 Variety of oats; 5 experimental lines: L-112, L-117, L-124, L-164 and L-193 and a commercial variety: chihuahua (control). The research was carried out in a plot of the Technological Institute of Roque, Celaya, Gto. A randomized complete block experimental design with 3 factor and 3 replicate strips was used; Factor 1: potassium fertilization dose, factor 2: number of risks and factor 3: genotypes. Each experimental unit consisted of 3 tracks of 3 meters in length and separated by 0.90 meters. The evaluated variables were: yield of green forage, dry and seed forage, as well as the weight of one thousand seeds and the percentage of germination within the quality of the seed.

It is observed that there is a strong relationship between the doses of potassium fertilization and the decrease of number of irrigations, that the best behaviors of the three yields, as well as the weight of the seeds, with the application of a dose of potassium fertilization against the application of the null thereof and the reduction of the number of risks against the use of the number of irrigations recommended by the crop datasheets. On the other hand, who does not reflect an effect to the increase of the

dose of fertilizer and therefore does not generate a relation with the decrease of the number of irrigations by the percentage of germination.

The results showed that the UK 30 R doses with the L-124 and 60 UK varieties with the L-164 and L-112 varieties were the ones that caused the best performance of the yields and the weight of a thousand seeds combined with the use of only 2 irrigations, but even Thus, the biggest one was the L-112 as it obtained the highest and the highest weight of thousands according to Tukey's mean comparisons ( $p \leq 0.05$ ) for the yields and according to LSD ( $P \leq 0.05$ ) for the Weight of a thousand seeds As for the percentage of germination, the results showed that with the use of 2 irrigations and the variety L-117 the highest percentage is obtained, but that there is no production between the fertilization doses and the number of irrigations Which will affect the outcome.

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la avena es importante como alternativa en la región de los Valles Altos, debido a que este se emplea con éxito como forraje verde, forraje henificado y para la producción de grano; es un cultivo con un amplio rango de adaptación, se produce en forma satisfactoria desde partes altas, frías y lluviosas hasta ambientes semiáridos. Es valioso destacar que se dispone de variedades de ciclo corto (menos de 100 días a madurez) que se ajustan a la estación de crecimiento aun cuando se trate de años con retraso en el establecimiento de la época de lluvias (temporal).

Así, la avena es una excelente opción como cultivo emergente a los cultivos tradicionales, cuando estos han sufrido daños severos en etapas tempranas de crecimiento o cuando por el retraso del temporal ya no es conveniente su siembra por los riesgos de heladas tempranas. Ante este panorama la avena es una excelente alternativa como cultivo emergente dada su manifiesta cualidad de producir de acuerdo a las condiciones climáticas, así por ejemplo, si estas son muy críticas produciría forraje verde para utilizarse en la alimentación de ganado vacuno, si estas condiciones mejoran la producción de forraje henificado tendría uso en la alimentación de ganado vacuno, ovino, caprino y equino. Si las condiciones climatológicas son todavía mejores se puede tener la producción de cantidades considerables de forraje y de grano, para la alimentación humana y animal y su paja como un excelente esquilmo para el ganado (Espitia *et al.*, 2002).

De acuerdo a datos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en el 2001, la avena ocupa el séptimo lugar entre los granos y cereales que se producen en el mundo, con el 1.2% de la producción, entre los ciclos 2000/01 y 2010/11. La producción de avena ha disminuido en el mundo desde los años 80's, debido al incremento en la producción de otros cultivos como el maíz, trigo y arroz. Entre el ciclo 1980/81 y 2010/11 la superficie cosechada de avena disminuyó en 53.8%, con la consecuente disminución en producción de 48.2%.

## **1.1 La producción de avena en un contexto nacional.**

La avena para grano es el cuarto cereal más producido en México, con una participación del 0.5% de la producción total de cereales. En los primeros lugares encontramos al maíz (81.7%), trigo (16.7%) y arroz (1.1%) (Prochile, 2011).

Chihuahua es el principal estado productor de avena grano en México, con 47,717 t del volumen de la producción en el año 2014. El Estado de México, Hidalgo, Zacatecas, Durango, Tlaxcala y Jalisco le siguen en importancia y cuentan con el 11,7974, 11,271, 6,319, 4,693, 2,273 y 1,655 t de la producción nacional respectivamente. El estado de Guanajuato cubre el 0.13% de la producción con 120 t (SIAP, 2017).

La avena forrajera es un cultivo de alta demanda en la República Mexicana. Posee amplia adaptabilidad, se cultiva en casi todo el país. En el año 2014 a nivel nacional e incluyendo condiciones de riego y temporal, se sembraron 783,782.27 ha, de las cuales se cosecharon 10,760,849 t de avena para forraje, en 53,426 ha, se cosecharon 930,120 t para grano y en 741 ha, se cosecharon 2,618 t para semilla; (siendo el estado de Chihuahua el único productor). En el mismo año en relación al máximo estado productor de avena se sembraron 229,949 ha, de las cuales se cosecharon 3,729,009 t para forraje y 27,429 ha, de las cuales se cosecharon 47,716 t para grano. Con relación al estado de Guanajuato para forraje se sembraron 27,839 ha, de las cuales se cosecharon 443,580 t en el año 2104 y para grano únicamente bajo condiciones de riego se sembraron 20 ha, de las cuales se cosecharon 120 t (SIAP, 2017).

Aproximadamente el 30% de la producción se obtiene en el ciclo Otoño-Invierno en condiciones de riego, concentrándose la cosecha en los meses de mayo a agosto. El 70% restante se obtiene en el ciclo Primavera-verano prácticamente de temporal, que se concentra en los meses de octubre a enero (FND, 2014).

## 1.2 Comercio exterior.

México es un importador neto de avena. En relación a la avena semilla, nuestro país ha importado un promedio anual de 194 toneladas de semilla entre 2005 y 2009, desde el año 2000 a 2009 las importaciones han disminuido en 80.0%, hasta llegar el último año mencionado a las 104 toneladas importadas (INEGI, 2011). En relación a la avena grano en el año 2010, México importó 74,532.449 t siendo el país de Australia el máximo importador con 33,257.662 t, abarcando el 42.49% de la participación en el mercado (Prochile, 2011).

El cultivo de la avena destaca en México como una fuente importante de alimento para el ganado; como forraje verde, o henificado y en la elaboración de alimentos balanceados. Su intervalo de adaptación es amplio, ya que se produce en forma satisfactoria desde las partes altas, frías y lluviosas hasta ambientes semiáridos. En los últimos años se ha utilizado como cultivo emergente cuando los cultivos tradicionales como el maíz, frijol, trigo o cebada, se siniestran por sequía o bajas temperaturas en el verano (SIAP, 2016).

El potasio (K) es un macro nutriente esencial requerido en grandes cantidades para el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos. Algunas de las principales funciones de las plantas donde el K está comprometido son: la osmoregulación, la síntesis de los almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el balance de cargas iónicas (Maathuis y Sanders, 1994; Marschner, 1995).

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Determinar el impacto de la aplicación de tres niveles de humedad en genotipos de avena tratados con tres dosis de fertilización potásica, en la calidad y rendimiento de semilla y forraje.

### **2.2. Objetivos específicos**

Determinar la dosis de fertilización potásica óptima de acuerdo a la tolerancia al estrés hídrico de los genotipos de avena.

Caracterizar el rendimiento de forraje y calidad de semilla, por la respuesta a distintas dosis de potasio en genotipos de avena

Identificar el genotipo que mejor comportamiento en cuanto a las variables evaluadas en las condiciones del Bajío.

### **2.3. Hipótesis**

Existen diferencias entre las dosis de fertilización potásica reflejadas en el estrés hídrico.

Las dosis de fertilización potásica permiten diferencias en los genotipos con buen potencial agronómico y calidad de semilla.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Origen del cultivo de la avena.

Después del descubrimiento del fuego, comenzó la agricultura y ello significó el asentamiento del hombre. Los primeros cultivos conocidos desde la antigüedad, fueron: trigo, cebada, “avena”, col, higos, habas, lentejas, mijo y vid. Los griegos comenzaron a llamarla “aveo” que significa “deseo”. Se sabe que porciones a base de avena verde eran recomendadas para aligerar las afectaciones del sistema nervioso central (Unión Vegetariana Internacional, IVU, 2006).

A lo largo de la historia los cereales han sido el sustento alimenticio de civilizaciones legendarias. Tanto en América, Europa, Asia y África existió algún cereal como: maíz, trigo, cebada, avena, centeno, arroz y mijo, por mencionar algunos ejemplos.

Los cereales forman un amplio grupo de plantas de consumo para el hombre que son botánicamente uniformes y todas ellas utilizadas de forma similar.

Se cree que la avena tiene su origen en Europa Occidental y se piensa que era una mala hierba de la cebada y que por ello se extendió junto con ésta. En la actualidad se cultiva en muchas partes del mundo incluyendo el Norte y Oeste de Europa, los países de la antigua Unión Soviética, Norteamérica, Canadá, Australia y China (IVU, 2006).

Desde que la avena se utilizó como cultivo alimenticio hace aproximadamente 4,000 años, se efectuó una selección de los genotipos más sobresalientes, aunque esto fue en forma empírica y no se emplearon métodos formales de mejoramiento, sino hasta el siglo pasado en que se obtuvieron algunas mejoras por métodos más precisos (Márquez, 1990, citado por Jiménez, 2009).

La avena fue la base de la alimentación de pueblos reconocidos por su vigorosidad como los Hunos, el pueblo de Atila, los Irlandeses y los Escoceses, célebres por su fuerza física. La medicina de los antiguos chinos conocía y utilizaba ya el efecto

estimulante de la avena. Más reciente en la obra de Kneipp, famoso investigador y curandero "natural", proclamaba a la avena como la mejor sustancia alimenticia que la naturaleza nos haya dado (Jiménez, 2009).

### **3.2. Generalidades del cultivo de la avena**

La avena forrajera es considerada como cultivo emergente en los Valles Altos (Hidalgo, Tlaxcala, Distrito Federal, Estado de México) y en la región semiárida del Norte-Centro de México, particularmente cuando por adversidad climática (bajas temperaturas o retraso de lluvia) se pone en riesgo la siembra de los cultivos tradicionales como el maíz y frijol. Estudios recientes demuestran que la avena forrajera es un cultivo con buen potencial para la producción de forraje y con alto valor nutricional en condiciones de temporal, aunque dichos atributos dependen de la interacción genotipo-ambiente (Espitia *et al.*, 2012).

La avena es una importante planta productora de grano en varios países, que también se utiliza como forraje para la alimentación de animales en pastoreo, heno o ensilado. Esta gramínea produce forraje de buena calidad cuando otros cultivos forrajeros de mejor calidad son escasos (Ramírez *et al.*, 2013).

Es muy reconocido el valor nutritivo de la avena, debido a su alto contenido de proteína, fibra y a la presencia de vitaminas y minerales. Un análisis elaborado por la Universidad de Wisconsin demuestra que la avena es el cereal con mayor contenido proteínico y de aminoácidos esenciales.

Asimismo, ayuda a reducir el nivel de colesterol por su alto contenido de fibra soluble y contiene más calcio, hierro, fósforo, magnesio, manganeso, cobre y zinc que cualquier otro grano de cereal.

Se le considera como cultivo alternativo en los Valles Altos y en la región semiárida del Norte-Centro de México, particularmente cuando el inicio del período de lluvias se



retrasa o se presentan bajas temperaturas que ponen en riesgo la siembra de los cultivos tradicionales de maíz y frijol.

Si bien el uso de la avena como forraje se ha extendido en nuestro país, incrementándose la producción en la última década, un gran problema que afecta a la comercialización de la avena grano para consumo humano es la poca demanda de este cereal en nuestro país. Ya que la dieta del mexicano no incluye el consumo regular de la avena, entre otros factores, por falta de información de su contenido alimenticio. Esto ha ocasionado que no se le haya dado mayor importancia al cultivo y desarrollo de este cereal (Jurado *et al.*, 2014).

### **3.3. Descripción del Cultivo de Avena**

La avena (*Avena sativa* L.) es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas. Los géneros de avena comprenden alrededor de 70 especies, aunque las más cultivadas son *Avena sativa* L. y *Avena byzantina* K., a veces conocidas como avena blanca y avena roja, las cuales son hexaploides de  $2n = 42$  cromosomas (FAO, 2004).

La avena es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas. Tiene raíces más abundantes y profundas que las de otros cereales, lo que le permite absorber mejor los nutrientes del suelo y por ello requiere menos fertilizantes. Sus tallos son gruesos y rectos. Pueden medir medio metro y hasta un metro. Están formados de varios entrenudos que terminan en gruesos nudos, la parte donde nacen las hojas. Éstas son planas y alargadas. Su borde libre es dentado, el limbo es estrecho y largo, de color verde oscuro, áspero al tacto y en la base lleva numerosos pelos. Los nervios de la hoja son paralelos y muy marcados. La avena es una planta de climas fríos, muy sensible a las altas temperaturas sobre todo durante la floración y la formación del grano. Exige mucha agua para su desarrollo porque presenta gran transpiración. De todos los cereales de invierno, es de los que más agua necesita, por eso se adapta mejor a los climas frescos y húmedos. Es poco exigente en suelos, pues

se adapta a terrenos muy diversos. Prefiere los profundos y arcillo-arenosos, ricos en cal, pero sin exceso, y que retengan la humedad. La avena está más adaptada que los demás cereales a los suelos ácidos, por tanto, suele sembrarse en tierras ricas en materias orgánicas (SIAP, 2015).

El cultivo de avena se desarrolla en altitudes de arriba de 1,500 msnm en zonas tropicales y de 1,000 a 3,000 msnm en zonas templadas. Los requerimientos de precipitación son de 250 a 800 mm/ciclo, con un óptimo de 500 mm, mientras que el rango de temperatura donde se puede desarrollar la avena es de 5 a 30 °C, con un óptimo de 17.5 °C. La avena prefiere suelos arcillo-limosos y franco-arcillosos, no calcáreos, con una textura limosa como la óptima para su crecimiento y desarrollo. Se adapta mejor a suelos profundos de entre 40 y 60 cm y con pH de 4.5 a 7.5, con un óptimo entre 5 y 6. Además, la avena se desarrolla en suelos planos con baja pendiente hasta un máximo de 8% (FAO, 1994).

### **3.4. Fisiología del cultivo**

Para conseguir un manejo agronómico adecuado de las plantas de avena, es necesario conocer sus características botánicas y morfológicas (González-Rojo, 2008, citado por Jiménez, 2009).

Existen muchas escalas diferentes para la evaluación de las etapas de desarrollo de una planta ('etapas de crecimiento' o GS, acrónimo del inglés growth scale), siendo la escala Zadoks 'código decimal' –basada sobre las diez etapas más importantes– la más comúnmente usada por ser rápida y no destructiva (Pask *et al.*, 2013).

#### **3.4.1. Etapas de desarrollo de la planta.**

Etapas clave de desarrollo: emergencia, espiguilla terminal / primer nudo a 1 cm por encima del nudo de la base del tallo, espigamiento, floración, mediados de llenado de grano y madurez, son las más informativas.

Etapas sensibles clave: La fecha de espigamiento es particularmente útil bajo condiciones de estrés, ya que es claramente observable. Bajo sequía extrema, la floración puede ocurrir antes de que la espiga emerja, y la polinización puede ocurrir cuando la espiga está aún en bota (embuche); y, bajo calor, la espiga emergerá pero la extrusión de anteras podría no ocurrir (Pask *et al.*, 2013).

Se asigna una etapa de desarrollo cuando un 50% de los tallos principales en una parcela están en una etapa, incluyendo GS31, y el 50% de todos los tallos posteriormente. Los datos son presentados usualmente como 'días después de siembra' (DAS; 1 DAS es el día de siembra) para emergencia, y 'días después de emergencia' (DAE; 1 DAE es el día de emergencia) para seguir las etapas de desarrollo (Pask *et al.*, 2013).

Emergencia de plántulas (GS10): Esto es cuando el 50% de las plántulas ha emergido – la emergencia es la aparición de la primera lámina foliar que sobresale sobre la superficie del suelo (la primera hoja puede reconocerse por su punta redondeada).

Espiguilla terminal (GS30) / Primer nudo a 1 cm del nudo de la base del tallo (GS31): GS30 es estimada como la fecha en la cual la espiguilla terminal puede observarse en la espiga en formación que se encuentra aún dentro del vástago del tallo principal.

Espigamiento (emergencia de la espiga) (GS55/59): Es cuando el 50% de la espiga ha emergido (por ejemplo, la mitad de la espiga está a nivel de la lígula de la hoja bandera) sobre un 50% de los tallos totales de la parcela (GS55); sin embargo, a menudo se registra como el momento cuando la base del 50% de las espigas ha emergido de la vaina de la hoja bandera (equivalente a "espigamiento completo o total"; GS59).

Antesis (floración) (GS61/65): Esta etapa lleva alrededor de 3-5 días desde la aparición de la primera antera hasta la finalización para cada espiga individual, dependiendo de la temperatura del ambiente. El inicio de antesis (GS61) es definido como la fecha en la cual el 50% de las espigas han extruido por lo menos una antera.

Llenado de grano (GS71-85): El desarrollo del grano pasa a través de las etapas de acuoso, lechoso, masa blanda y masa dura.

Madurez fisiológica (GS87): Esta ocurre cuando el grano alcanza su máximo peso seco y llega a ser viable. Es determinado más fácilmente en campo cuando el 50% de los pedúnculos están maduros (es decir, de color amarillo), y en este punto las glumas (las cuales son frecuentemente la última parte de la planta en fenecer) también estarán perdiendo su color (Pask *et al.*, 2013).

**Tabla 3.1.** La escala de etapas fenológicas de Zadocks (*Zadocks et al., 1974, citado por Pask et al., 2013*).

GS	Descripción	GS	Descripción
<b>Geminación</b>		<b>Embuche</b>	
D0	Semilla seca	41	Extensión de la vaina de la hoja bandera
D1	Inicio de consumo de agua (imbibición)	43	Embuche-hinchazón del tallo apenas visible
D3	Imbibición completa	45	Embuche- tallo completamente hinchado
D5	Radícula emergida desde la semilla	47	Apertura de la vaina de la hoja bandera
D7	Coleoptilo emergido desde la semilla	49	Primeras aristas visibles
D9	Hoja visible en el ápice del Coleoptilo	<b>Espigamiento</b>	
<b>Desarrollo de la plántula</b>		51	Primera espiguilla de la espiga visible
10	Primera hoja emergida	53	1/4 de la espiga ha emergido
11	Primera hoja desplegada	55	1/2 de la espiga ha emergido
12	Dos hojas desplegadas	57	3/4 de la espiga ha emergido
13	Tres hojas desplegadas	59	Emergencia total de la espiga
14	Cuatro hojas desplegadas	<b>Floración o antesis</b>	
15	Cinco hojas desplegadas	61	Inicio de floración
16	Seis hojas desplegadas	65	Mitad de floración
17	Siete hojas desplegadas	69	Floración completa
18	Ocho hojas desplegadas	Grano y desarrollo lechoso	
19	Nueve o más hojas desplegadas	71	Maduración acuosa del grano (líquido claro)
<b>Macollaje</b>		73	Lechoso inicial (líquido blanquizco)
20	Únicamente el tallo principal	75	Lechoso medio (líquido lechoso)
21	Tallo principal y primer macollo (hijuelo)	77	Lechoso final (lechoso pastoso, más sólidos en el líquido lechoso)
22	Tallo Principal y dos macollos	<b>Desarrollo de la masa</b>	
23	Tallo principal y tres macollos	81	Masa muy temprana (resbala al presionar)
24	Tallo principal y cuatro macollos	83	Masa temprana (elástica, seca y brillante)
25	Tallo principal y cinco macollos	85	Masa suave (firme, marca de la uña no impresa)
26	Tallo principal y seis macollos	87	Masa dura (marca de la uña impresa)
27	Tallo principal y siete macollos	89	Masa dura tardía (difícil de mellar)
28	Tallo principal y ocho macollos	<b>Maduración</b>	
29	Tallo principal y nueve macollos	91	Grano duro (difícil de dividir; 16% de humedad)
<b>Elongación de tallo o producción de nudos (encañado)</b>		92	Grano duro (imposible de mellar con la uña)
30	Erección del pseudo tallo	93	Aflojamiento del grano durante el día
31	Primer nudo detectable	94	Sobre maduro, paja muerta y en colapso
32	Segundo nudo detectable	95	Semilla inactiva, latente
33	Tercer nudo detectable	96	50% de la semilla viable germina
34	Cuarto nudo detectable	97	Semilla no inactiva, no latente
35	Quinto nudo detectable	98	Latencia secundaria
36	Sexto nudo detectable	99	Perdida de latencia secundaria
37	Hoja bandera apenas visible		
39	Lígula/collar de la hoja bandera apenas visible		

### **3.5. Manejo Agronómico.**

#### **3.5.1. Preparación de terreno.**

El terreno debe prepararse con barbecho y rastreo con el fin de obtener un suelo adecuado para la germinación y crecimiento del cultivo. En la planeación de estas actividades, es importante considerar la cantidad y distribución de la precipitación, así como la capacidad de los suelos para retener la humedad.

**Barbecho.** El barbecho se efectúa mediante arado de discos y sirve para voltear la tierra con el fin de incrementar la capacidad de almacenamiento de agua.

**Rastreo.** El objetivo es crear una cama fina para la germinación de las semillas. Esta labor se realiza con rastra de discos o de dientes y uno o dos pasos de rastra, según el problema de malezas y la textura del suelo (Chávez y Gómez, 1999, citado por Jurado y Lara, 2014).

#### **3.5.2. Método y densidad de siembra.**

Se puede utilizar diferentes métodos de siembra, dependiendo de la disponibilidad de maquinaria y pendiente del terreno. Cuando el terreno es plano, se recomienda sembrar en hileras utilizando la “drilla”, sembradora triguera ó de granos pequeños. La distancia entre hileras puede variar según las condiciones y la marca de la sembradora. Lo más común es sembrar a una distancia de 11 a 25 centímetros entre hileras y a una profundidad de 6 cm.

Para el caso de terrenos con pendiente baja, se recomienda el uso de corrugaciones o surcos. En el primer caso, posterior a la siembra se levanta un surcado de aproximadamente 15 cm de profundidad con una separación entre surcos de 30 a 40 cm. Para la siembra en surcos, después de preparar el terreno, se forman los surcos de 70-80 cm de separación, luego se siembra y se fertiliza al mismo tiempo, utilizando la sembradora convencional de grano pequeño

Otro método de siembra es al voleo, utilizando la “voleadora” que distribuye la semilla en un ancho de 8 a 12 metros. La semilla se tapa con un paso de rastra ligero o usando una rastra de dientes, cuidando que la semilla no quede a una profundidad mayor de 5 a 8 centímetros (Chávez y Gómez, 1999, citado por Jurado y Lara, 2014).

### **3.5.3. Cantidad de semilla para la siembra.**

Se recomienda utilizar de 80 a 110 kilogramos de semilla por hectárea, con un porcentaje mínimo de germinación del 85%, para asegurar una buena población de plantas. Se siembra mayor cantidad de semilla para siembras al voleo, cuando el terreno presenta una alta infestación de malezas, o cuando se esperan buenas condiciones de crecimiento (precipitaciones superiores a 300 mm durante el ciclo) (Chávez y Gómez, 1999, citado por Jurado y Lara, 2014).

### **3.5.4. Fertilización**

La aplicación de fertilizante debe ser de 100-70-00, es decir, 100 t ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y 70 t ha<sup>-1</sup> de fósforo para condiciones de riego. La fertilización de avena forrajera de temporal depende de la precipitación recibida durante el desarrollo del cultivo. El nitrógeno es el elemento más importante, y generalmente se aplican de 30 a 60 t ha<sup>-1</sup>. El fósforo es el segundo nutriente en importancia y es necesario para el buen desarrollo de las raíces, especialmente en las primeras etapas de su desarrollo. Se recomienda aplicar de 40 t ha<sup>-1</sup> a la siembra, tirando el fertilizante junto con la semilla. El potasio es de menor importancia en el cultivo de los cereales, porque en los suelos de la región se encuentran normalmente en suficiente cantidad (Chávez y Gómez, 1999, citado por Jurado y Lara, 2014).

### **3.5.5. Riegos.**

Se sugiere aplicar el primer riego al momento de la siembra, y cinco riegos de auxilio durante las etapas de amacollamiento 30-45 días, encañe entre 45-60 días, embuche entre 70-85 días, floración entre 75-90 días y llenado de grano entre 95-110 días (Chávez y Gómez, 1999, citado por Jurado y Lara, 2014).

### **3.5.6. Control de malezas.**

En la región se presentan problemas de malezas que pueden afectar el rendimiento y la calidad del forraje, además de que pueden ser huéspedes de plagas y enfermedades. Las malezas que predominan durante el desarrollo del cultivo son de tipo anual: de hoja angosta como avena silvestre y de hoja ancha como mostacilla, rabanillo y mostaza. El control de malezas es esencial durante las primeras etapas del crecimiento. El efecto en el rendimiento es mayor cuando las malezas se establecen antes del amacollamiento, pero si la población es pobre, las malezas que emergen después del amacollamiento pueden ser un problema. El control de malezas requiere tanto de labores culturales como de la aplicación cuidadosa de herbicidas específicos (Chávez y Gómez, 1999, citado por Jurado y Lara, 2014).

### **3.5.7. Plagas.**

Las plagas que se pueden presentar en forma esporádica son los pulgones del cogollo y del follaje, pero estos causan un daño mínimo y por lo tanto no se recomienda su control (Chávez y Gómez, 1999, citado por Jurado y Lara, 2014).



### **3.5.8. Enfermedades.**

Los cereales como la avena y la cebada presentan enfermedades que pueden ser importantes bajo ciertas condiciones ambientales. A continuación, se mencionan algunas de las más importantes que se han observado en la zona.

Royas. Pueden atacar las hojas y tallos de cebadas y en menor proporción de avenas, disminuyendo la producción y calidad del forraje. Se caracterizan por presentar lesiones redondas u ovaladas de color amarillo naranja a café rojizo. La medida de control más importante es la utilización de variedades resistentes.

Carbones. Hay dos tipos de carbón, el carbón volador o descubierto, que se presenta en la región y el carbón cubierto. Los síntomas aparecen hasta después del espigamiento y consisten en la aparición de una masa de esporas de color negro olivo que reemplaza el lugar de los granos. El carbón descubierto es controlado usando semilla certificada y con tratamiento de las semillas con fungicidas sistémicos.

También se pueden presentar problemas de cenicilla, escaldadura y helmintosporiosis, pero sin llegar a ser un problema económico (Chávez y Gómez, 1999, citado por Jurado y Lara, 2014).

### **3.6. Demanda de agua del cultivo de avena (Déficit hídrico).**

La relación entre la producción de los cultivos y el régimen de humedad del suelo conocida como función de producción del agua de riego, es fundamental para la planificación integral del agua en la agricultura. Esta función de producción es resultado de un análisis empírico que permite maximizar el rendimiento de los cultivos con la aplicación óptima del agua de riego (Izunza-Ibarra *et al.*, 2010). Cuando no es posible aplicar la lámina de riego óptima se maximiza la productividad media del agua con una lámina de riego restringida (Kirkegaard *et al.*, 2007).

### **3.6.1. Procesos fisiológicos involucrados en el déficit hídrico.**

#### **3.6.1.1. Conductancia estomática.**

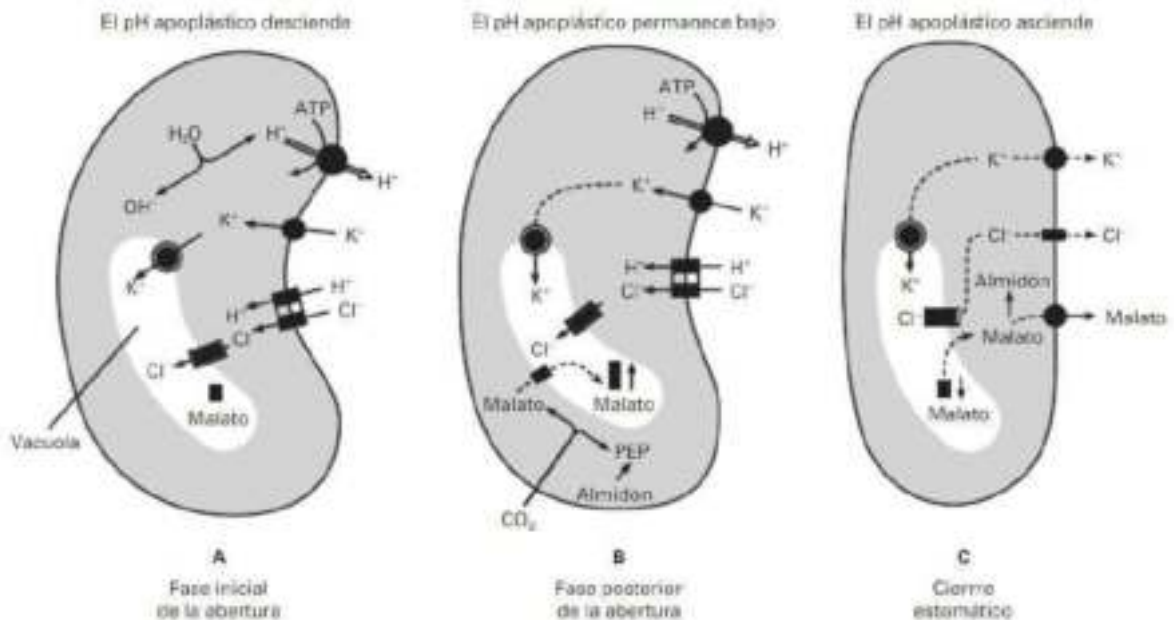
La conductancia estomática estima la tasa de intercambio gaseoso (es decir, consumo de dióxido de carbono) y la transpiración (es decir, pérdida de agua) a través de los estomas de la hoja, determinadas por el grado de apertura estomática (y por lo tanto de la resistencia física al movimiento de gases entre el aire y el interior de la hoja). Por consiguiente, la conductancia estomática es una función de la densidad, tamaño y grado de apertura de los estomas; al tener mayor cantidad de estomas abiertos se obtiene una mayor conductancia, lo cual indica, subsecuentemente, que las tasas de fotosíntesis y transpiración son potencialmente más altas (Pask, 2013).

#### **3.6.1.2. Ajuste osmótico.**

El ajuste osmótico (AO) se refiere al incremento neto de la concentración de solutos en la célula para poder mantener la turgencia celular (y por lo tanto la hidratación) conforme el déficit hídrico incrementa (es decir, disminución del potencial hídrico, PH). La concentración de solutos en la célula se incrementa por la acumulación de solutos compatibles (es decir, aminoácidos, azúcares, polioles, iones de aminos cuaternarios y ácidos orgánicos) en vez que por una disminución del volumen celular o una reducción del contenido de agua en la célula bajo un déficit hídrico. Estos solutos pueden estabilizar y proteger macromoléculas, enzimas y membranas (por ejemplo, azúcares y alcoholes que pueden actuar como buscadores de oxígeno activado, reduciendo el daño a la célula), permitir procesos dependientes de la turgencia (por ejemplo, crecimiento y actividad estomática) y sobre todo, pueden proteger al sistema fotosintético complejo durante el estrés por déficit hídrico. El AO ha sido, por lo tanto, identificado como un mecanismo que mantiene las funciones fisiológicas bajo condiciones de estrés por sequía (Pask, 2013).

### 3.6.2 La intervención del potasio en el déficit hídrico.

De acuerdo a lo que mencionan (Marschner, 1995; Jones, 2003), el K es un elemento involucrado en el mantenimiento del estado hídrico de la planta, presión de turgencia de las células, apertura y cierre estomático, balance de iones y regulación del pH. Como se muestra en la figura 3.1 ya que, cuando el estoma se abre se produce un aumento masivo de solutos en las células guarda. Esto provoca un descenso del potencial osmótico y una entrada de iones, sobre todo  $K^+$  y  $Cl^-$  hacia las células guarda u oclusivas. La entrada de  $K^+$  se produce por el bombeo activo de  $H^+$  fuera de las células oclusivas por acción de una  $H^+$ -ATPasa de membrana. La entrada de  $K^+$  se equilibra con una entrada de  $Cl^-$  y sobre todo con la acumulación del ion malato (Sanchez y Aguirreolea, 2013).



**Figura 3.1** Resumen del movimiento de iones y metabolismo de las células oclusivas durante la apertura (A,B) y cierre (C) estomático dependiente de  $K^+$ . (Según Ridge, 2002.)

El potasio mantiene el balance hídrico, ya que regula el contenido hídrico y se ajusta a las condiciones climáticas (resistencia a sequía). Como se muestra en la figura 3.2, que muestra como al aplicar diferentes concentraciones de potasio en una solución nutritiva para el cultivo de remolacha azucarera; esta aumenta el peso de raíz y disminuye el consumo de agua por la planta y así poder arrojar una eficiencia alta del uso de agua, al consumir menos agua y aumentar el peso de raíz en una concentración mayor aplicada a la solución nutritiva en el cultivo de la remolacha azucarera (Melgar *et al.*, S/f).

**Tabla 3.2** El potasio mejora la eficiencia del uso del agua.

<b>Concentración de K en la solución nutritiva (meq K /litro)</b>		
0.2	1	5
<b>Peso raíces de remolacha azucarera (g/planta)</b>		
392	602	647
<b>Agua total consumida por el cultivo (litros)</b>		
27.8	27.7	27.2
<b>Eficiencia de uso (g agua/g de raíz)</b>		
71	46	42

### 3.7 El potasio en las plantas.

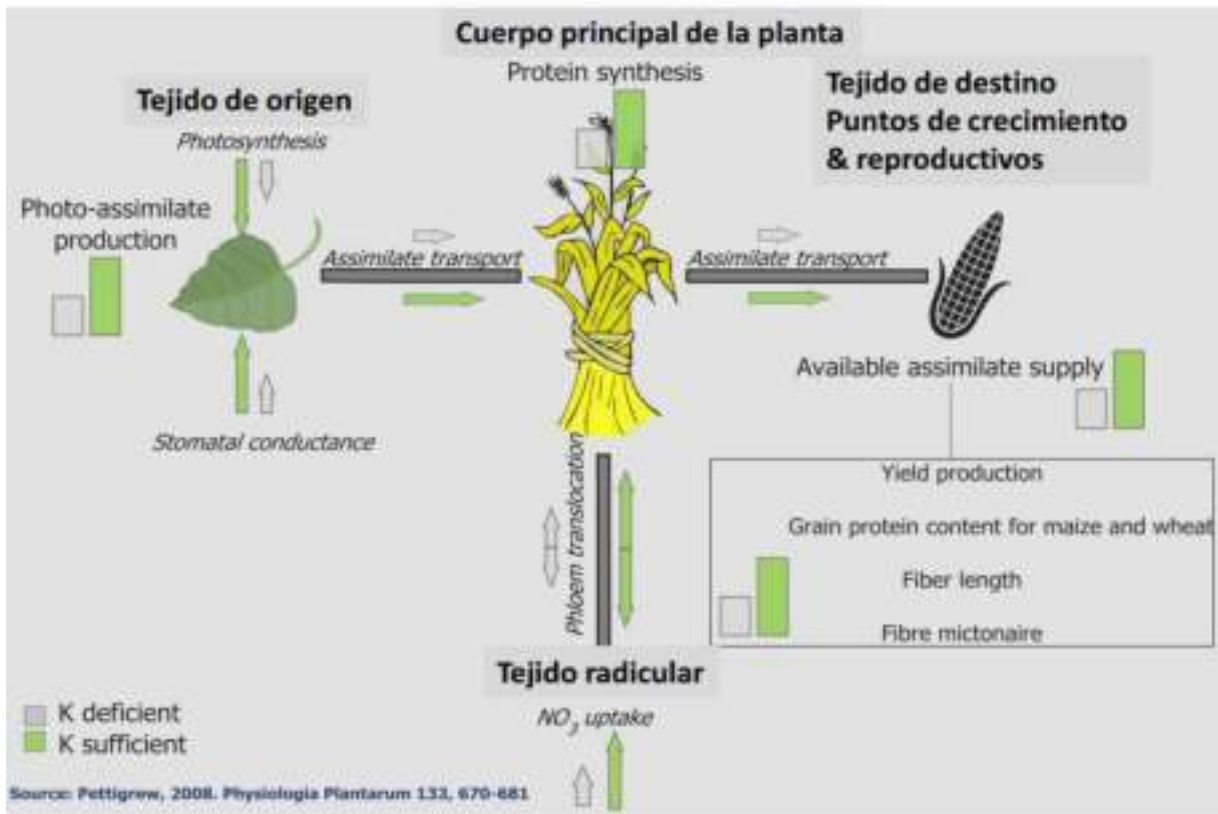
Martin Heinrich Klaproth (1743–1817) fue la primera persona en identificar el potasio en la savia de las plantas (Ostwald, 1984). El potasio es el catión absorbido en mayor cantidad por las plantas. Contienen de 1.0 a 5.0 % del peso seco en tejidos de hoja. Sin embargo, en contraste con otros nutrimentos como el N, P y S, casi no hay compuestos orgánicos con K como elemento constituyente. Las concentraciones más altas se encuentran en las hojas nuevas, pecíolos y tallo de la planta. Altas concentraciones de K conducen a deficiencias de N, Ca y Mg. Los cationes amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) juegan un papel importante en el balance de los cationes  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . La forma disponible para la raíz es el catión  $\text{K}^+$ . La absorción de K no es afectada de

manera significativa por los niveles de Ca en el suelo, debido a que éste último se mueve en el suelo principalmente por flujo de masas; mientras que el K se mueve por difusión, cuya tasa es dependiente de la temperatura. El oxígeno del suelo tiene un gran efecto sobre la absorción de K (Jones, 2003).

### **3.7.1. Función del Potasio.**

Rehm y Schmitt, 2002, señalan que la función exacta del potasio en el crecimiento de las plantas no se ha definido claramente. Pero de acuerdo a lo que señalan Nitsos y Evans, (1969), el ión  $K^+$  es cofactor de más de 40 enzimas; algunas de ellas esenciales para la respiración y fotosíntesis, que también podrían ser activadas por otras especies de cationes univalentes con un tamaño similar, como el amonio ( $NH_4^+$ ), rubidio ( $Rb^+$ ) y cesio ( $Cs^+$ ), estos, sin embargo, no juegan un rol mayor bajo condiciones naturales, ya que sus concentraciones en los tejidos son bajas y no alcanzan la concentración de activación requerida. La activación de las enzimas *in vivo* puede ocurrir a una concentración de K tan alta como se ve en experimentos *in vitro*, como se ha demostrado para la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa/oxigenasa (Demmig y Gimmler, 1983).

El potasio es un elemento de vital importancia para el desarrollo vegetal, ya que activa más de setenta enzimas. Por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y proteínas. Mejora el régimen hídrico de la planta, regula el cierre y apertura de estomas y aumenta la tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas sufren menos enfermedades, participa en el potencial osmótico celular, regulando su contenido de agua. Participa en la síntesis de azúcar, almidón y proteínas (dentro de sus uniones peptídicas). Interviene en la fosforilación oxidativa que se produce en las membranas de las mitocondrias (Moreno, 2007). Como lo muestra Pettigrew, (2008), en la figura 3.2, donde señala cuanto y donde afecta la intervención del potasio dentro de la planta en diferentes estadios y procesos fisiológicos de la planta.



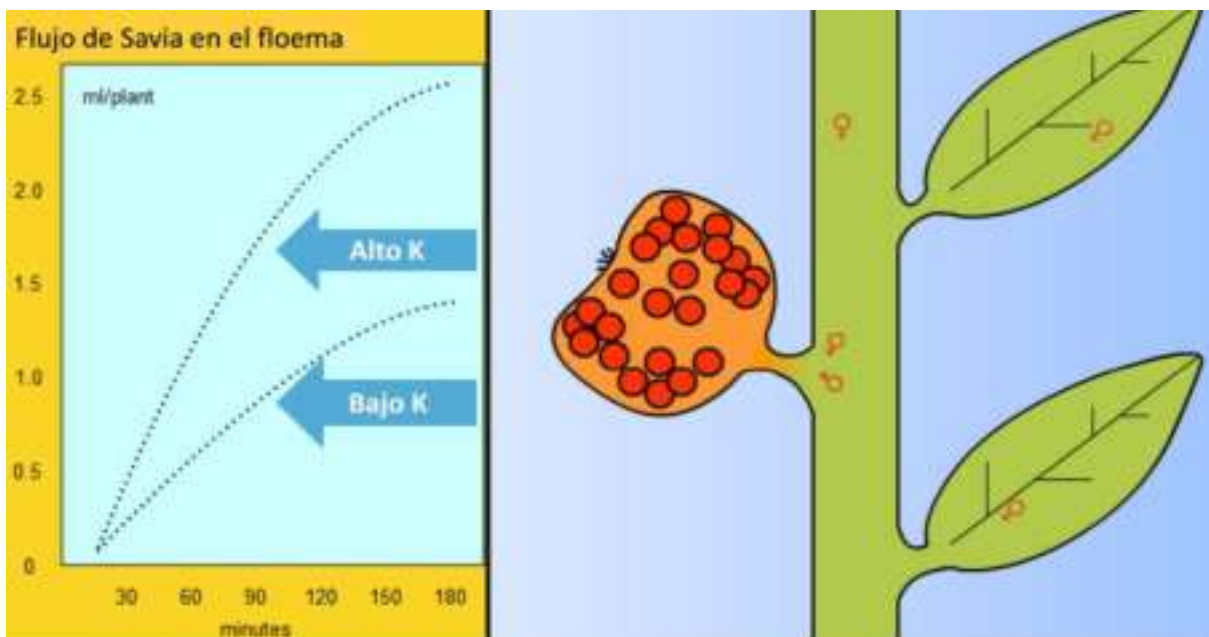
**Figura 3.2** Diagrama esquemático que demuestra el efecto que tiene el K en varios procesos fisiológicos y que conecta los procesos afectados con el rendimiento y Desarrollo de calidad (plantas suficientes en K versus plantas deficientes en K).

El potasio se asocia con el movimiento del agua, los nutrientes y carbohidratos en el tejido vegetal. Si el potasio es deficiente o no se suministra en cantidades adecuadas, se impide el crecimiento y los rendimientos se reducen. Varios esfuerzos de investigación han demostrado que el potasio

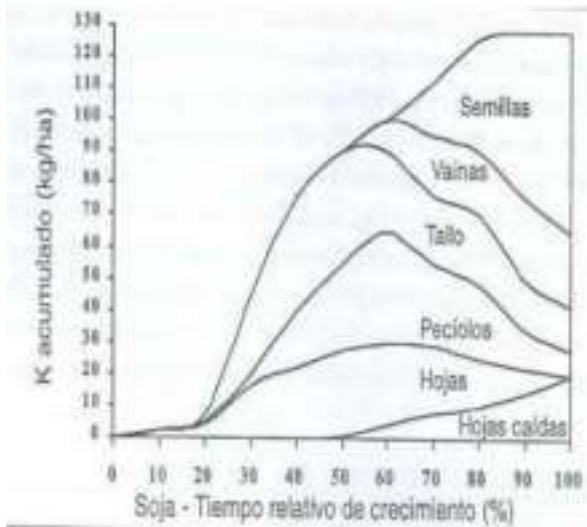
- Mejora la eficiencia del uso del agua
- Estimula el crecimiento temprano
- Aumenta la producción de proteínas
- Es vital para el soporte de la persistencia, la longevidad y la resistencia al frío de la alfalfa
- Mejora la resistencia a enfermedades e insectos

Estos roles o funciones son de carácter general; pero todos son importantes para la producción de cultivos rentables (Rehm y Schmitt, 2002).

El K es requerido para la acumulación y translocación de carbohidratos producto de la fotosíntesis (Marschner, 1995; Jones, 2003), esto se ve representado en la figura 3.3, donde muestra como el contenido de K en la planta aumenta el flujo de asimilados producto de la fotosíntesis y de esta manera elevar la calidad en los frutos; en el lado izquierdo de la figura, la gráfica muestra como con un alto contenido de K se eleva el flujo de savia elaborada a través del floema para ser llevada a los frutos, en comparación con un bajo contenido de K que arroja un flujo bajo de savia (Melgar *et al.*, S/f). La acumulación de K en hojas y tallos aumenta hasta la floración después continua disminuyendo y luego empieza a aumentar en la semilla, esta tendencia se representa en la figura 3.4 (Kant y Kafkali, S/f).



**Figura 3.3** El potasio acelera y aumenta el flujo de los asimilados.



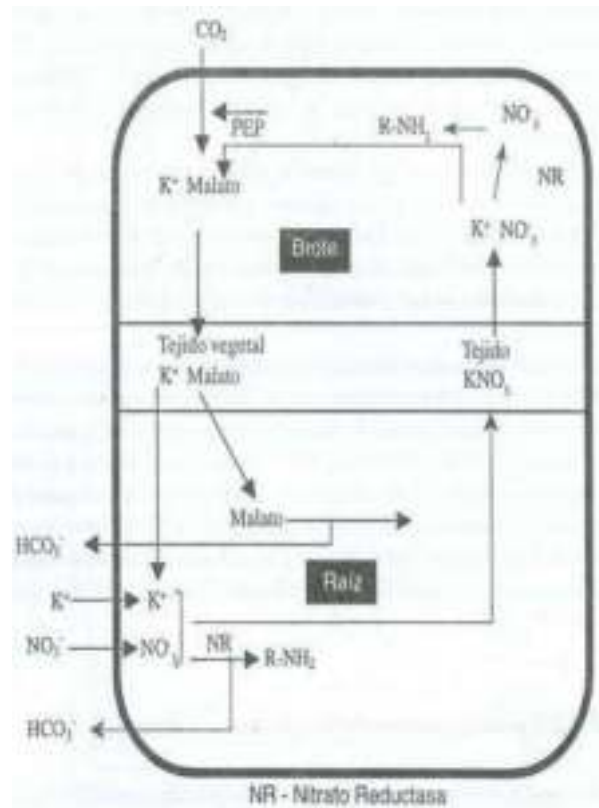
**Figura 3.4** Acumulación de K en los diferentes estadios de la planta de soja con relación al tiempo relativo de crecimiento representado en porcentaje.

### 3.7.2 Movimiento del potasio en la planta.

La translocación y redistribución del K ocurre desde las partes más maduras de la planta a las partes más nuevas que se van formando. Durante el crecimiento vegetativo, el máximo transporte del K se observa desde el tallo hacia las ramas en plantas de soja, mientras que durante el periodo reproductivo es más alto desde los tallos hacia las vainas. El desplazamiento de K hacia las semillas de soja es especialmente evidente durante la formación de las semillas; y la mayor parte proviene del tallo, de hojas y de la raíz (Hanway y Johnson, 1985; Sallam *et al.*, 1985).

Se conoce que el potasio es muy móvil dentro de las plantas; moviéndose hacia arriba y hacia abajo por el xilema y el floema como se muestra en la figura 3.4, en dirección hacia tejidos meristemáticos (Ben- Zioni *et al.*, 1971; Kirkby y Knight, 1977), el K se absorbe selectivamente por los vasos cribados y puede desplazarse fácilmente desde las partes superiores hacia los órganos basales de la planta, frutos y raíces (Kant y Kafkali, S/f).





**Figura 3.5** Modelo de transporte y movimiento del Potasio entre las raíces y tallos a través del metabolismo del nitrato y malato.

### 3.7.3 Síntomas de deficiencia por potasio.

Cuando el potasio está ausente, las hojas de la parte más baja de las plantas se queman en los bordes y puntas, y tienden a enrollarse; generalmente, las venas centrales de las hojas conservan el color verde. Debido al pobre desarrollo de las raíces, las plantas se degeneran antes de llegar a la etapa de producción.

En las leguminosas se generan semillas arrugadas y desfiguradas que no germinan o que originan plántulas débiles. Se reduce el traslado de azúcares hacia la raíz y la fotosíntesis, y se incrementa la respiración. En las células se promueve la formación de sustancias catabólicas "putresceina", iniciándose los procesos de muerte celular y

de tejidos o necrosis. Las plantas son más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades.

Adicionalmente, se retrasa el desarrollo y crecimiento de la planta, ya que la velocidad relativa de crecimiento está relacionada con el transporte del potasio de la raíz al tallo y a las hojas. Esto repercute en la presión de la turgencia y en la apertura y cierre de estomas.

Se reduce la eficiencia del uso del agua, por lo que hay pérdida de turgencia en hojas, células y tejidos de las plantas, los cuales se encuentran bajo estrés hídrico, que detiene su crecimiento, lo que ocasiona hojas flácidas y plantas más pequeñas (a la larga) (Moreno, 2007)

### 3.8 Fuentes de potasio

Hay un número limitado de materiales fertilizantes que se pueden utilizar para suministrar potasio cuando sea necesario (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3** Fuentes de potasio (*Rehm y Schmitt, 2002*).

Nombre del producto	Formula Química	Contenido % K <sub>2</sub> O
cloruro de potasio	KCl	60
sulfato potasio-magnesio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -2MgSO <sub>4</sub>	20
nitrate de potasio	KNO <sub>3</sub>	44
sulfato de potasio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	50
Monofosfato de potasio	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	34

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización del experimento.

La presente investigación se llevó a cabo en el campo experimental y laboratorio de análisis de semillas de Instituto Tecnológico de Roque (ITR), ubicado en Celaya, Gto., en el km 8 de la carretera Celaya - J. Rosas. El clima del sitio experimental es semicálido BS1Hw (e) con una precipitación pluvial de 600 a 1000 mm anuales, presentando un promedio anual de 670.3 mm y temperatura media anual de 18.4 °C, las heladas inician en los últimos días de septiembre, se establecen de manera franca en el mes de octubre y en ocasiones se manifiestan hasta el mes de abril. Las mayores frecuencias de estas se dan normalmente en enero, ya que alcanzan un promedio que varía de 10 a 16 días. Los suelos predominantes en la región son del tipo vertisol pélico y crómicos, con predominancia de los primeros, que se caracterizan por ser arcillosos de coloración oscura que presentan retracción y expansión, lo que ocasiona se formen grietas profundas en épocas de sequía. Son de textura arcillosa, planos, de reacción ligeramente alcalina, fértiles y aptos para una gran variedad de cultivos. El sitio se localiza en las coordenadas 20°31' LN y 100°45' LO, a una altura de 1765 msnm.

### 4.2 Material genético

Para el establecimiento de este experimento se emplearon cinco genotipos experimentales de avena; L-112, L-117, L-124, L-164 Y L-193, provenientes de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y el testigo; la variedad chihuahua.

### **4.3 Manejo Agronómico del campo experimental**

#### **4.3.1 Preparación del terreno (Rastreo).**

Se dieron dos pasos de rastra, una a lo largo del terreno y la otra de forma cruzada; para desmenuzar los terrones del terreno y paja del cultivo anterior, y tener un terreno ligero para un surcado adecuado.

#### **4.3.2 Surcado**

Debido a que el experimento se estableció en surcos, se surco de manera mecánica a una distancia de 0.90 m entre surcos.

#### **4.3.3 Siembra del experimento**

La siembra se realizó el 11 de diciembre del 2015. La siembra se realizó de manera manual, estableciendo una densidad de siembra de 80 kg/ha, en doble hilera por surco, separada cada hilera a 20 cm. La siembra fue en seco.

#### **4.3.4 Riegos**

Para la franja testigo que llevó los cuatro riegos; se aplicó un riego a la siembra, un riego a los 39 dds (días después de siembra) (amacollamiento-encañe), un riego a los 72 dds (floración) y un último riego a los 89 dds (llenado de grano). Para la franja de 3 riegos; se aplicó un riego en la siembra, un riego a los 39 dds (amacollamiento-encañe) y el último riego a los 72 dds (floración). Y para la franja con 2 riegos; se aplicó un riego en la siembra y el último riego a los 72 dds (floración).

#### **4.3.5 Escarda**

Se realizó una escarda de forma mecánica antes del primer riego para la reformación del surco o cama, y una segunda escarda cuando el cultivo se encontraba en etapa de encañe a los 55 dds, esta con el fin de eliminar la maleza existente y para el mantenimiento de la humedad al borrar las grietas que permiten la evaporación.

#### **4.3.6 Fertilización**

Se aplicó como base la dosis recomendada por Chávez y Gómez, (1999), citado por Jurado y Lara, (2014), 100-70-00, aplicando el 100% a la siembra.

Las dosis utilizadas de potasio para el factor de fertilización fueron; 0 (testigo), 30, 60 y 90 unidades de potasio por hectárea respectivamente. Como fuentes de fertilizante se emplearon Urea (46-00-00), DAP (18-46-00) y KCl (00-00-60).

#### **4.3.7 Control de malezas**

Se realizó un deshierbe en forma manual, además de la escarda.

#### **4.3.8 Cosecha**

Se realizó de forma manual, se colectaron las plantas y espigas de cada unidad experimental, considerando un metro lineal por parcela útil. Cada tratamiento fue separado y etiquetado.

Para la cosecha de forraje verde, se realizó el corte de toda la planta considerándose un metro lineal por surco, el cual se pesó para obtener el rendimiento de materia verde, para la obtención del peso seco; se colectó una muestra de 100 gramos de forraje verde después de pesarlo, para meterla en una estufa a 60 °C para eliminar el agua en la muestra por 48 horas, se pesaron las muestras, se dejaron fuera de la estufa por 24 horas, se volvieron a pesar para obtener un peso constante y así determinar si la muestra había perdido el 100% de la humedad, posteriormente con ayuda del peso verde y con el peso seco de la muestra de 100 gramos obtener el rendimiento de materia seca de cada unidad experimental.

Para el rendimiento de semilla, con máquina mecánica para cosecha de plantas individuales. Se colectaron las espigas de cada unidad experimental, considerando un metro lineal y así obtener el dato de rendimiento de semilla, se extrapolo a kilogramos por hectarea.

#### 4.4. Diseño experimental de campo

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en franjas, con 3 factores y 3 repeticiones; factor 1: dosis de fertilizante potásico, factor 2: número de riegos y factor 3: genotipos. Cada unidad experimental estuvo constituida por 3 surcos de 3 metros de longitud y separados a 0.90 metros.

#### 4.5 Modelo lineal estadístico para el diseño de campo

El modelo del arreglo en parcelas divididas es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + D_j + e_{ij}(a) + H_k + e_{ik}(b) + V_l + e_{il}(c) + (DH)_{jk} + (DV)_{jl} + (HV)_{kl} + (DHV)_{jkl} + e_{ijkl}(d)$$

$$i = 1, 2, \dots, r \quad j = 1, 2, \dots, a \quad k = 1, 2, \dots, b \quad l = 1, 2, \dots, c$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  es la observación del tratamiento fertilizante  $j$ , en el régimen de humedad  $k$ , en la variedad  $l$ , en el bloque  $i$ .

$\mu$  es la media verdadera general

$\beta_i$  es el efecto del bloque  $i$

$D_j$  es el efecto del nivel  $j$  de la dosis fertilizante

$e_{ij}(a)$  es el error experimental de la  $i$ -ésima parcela grande BxD

$H_k$  es el efecto del nivel  $k$  del régimen de riego

$e_{ik}(b)$  es el error experimental de la  $i$ -ésima parcela grande BxH

$V_l$  es el efecto del nivel  $l$  de variedades

$e_{il}(c)$  es el error experimental de la  $l$ -ésima parcela grande BxV

$DH_{jk}$  es el efecto de la interacción de la dosis  $j$  y humedad  $k$

$DV_{jl}$  es el efecto de la interacción de la dosis  $j$  y variedad  $l$

$HV_{kl}$  es el efecto de la interacción de la humedad  $k$  y variedad  $l$

$DHV_{jkl}$  es el efecto de la interacción de la dosis  $j$ , humedad  $k$  y variedad  $l$

$e_{ijkl}(d)$  es el error experimental de la  $ijkl$ -ésima subparcela

#### 4.6 Diseño experimental de laboratorio

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cuatro repeticiones, con un arreglo factorial, considerando como factores: dosis de fertilizantes, número de riegos y genotipos. Cada unidad experimental estuvo constituida por un taco con 50 semillas por taco.

#### 4.7 Modelo lineal estadístico para el diseño de laboratorio

El modelo del arreglo en parcelas divididas es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + H_j + V_k + e_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, r \quad j = 1, 2, \dots, a \quad k = 1, 2, \dots, b \quad l = 1, 2, \dots, c$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  es la observación en la dosis  $i$ , en la humedad  $j$  y en la variedad  $k$

$\mu$  es la media verdadera general

$D_i$  es el efecto del nivel  $i$  de dosis

$D_j$  es el efecto del nivel  $j$  de humedad

$D_k$  es el efecto del nivel  $k$  de variedad

$e_{ijk}$  es el error experimental

#### 4.8. Caracteres registrados

##### 4.8.1. Caracteres de rendimiento

##### 4.8.1.1 Rendimiento de forraje verde

Se realizó el corte de cada parcela útil (un surco de un metro lineal de longitud), en etapa de floración. Con los datos obtenidos se estimó el rendimiento en kg/ha.

El rendimiento se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (((PC) * (10000)) / (0.90))$$

Donde:

PC = Peso de campo (peso del forraje de un metro lineal)

10000 = 1 ha

0.90 = Área de muestreo (parcela útil)

#### **4.8.1.2 Rendimiento de forraje seco**

Para obtener este dato; se recolectó una muestra de 100 gramos del forraje que se cortó para determinar forraje verde, se introdujeron las muestras de 100 gramos de cada unidad experimental a una estufa a 60 °C por 48 horas. Pasado el tiempo se pesaron las muestras, se tomó el dato y se dejaron fuera de la estufa por 24 horas, pasadas las 24 horas se pesaron y se tomó el dato, esto para determinar que las muestras ya tenían un peso constante (perdido toda su humedad), se pesaron las muestras para obtener el peso seco. Con los datos obtenidos se estimó el rendimiento en kg/ha. El rendimiento se calculó bajo las siguientes formulas:

Relación de área =  $(0.90 * 0.1)/(PV)$

Donde:

0.90 = Área de la parcela útil

0.1 = 100 gramos de la muestra

PV = Peso verde del corte para rendimiento de forraje verde

Rendimiento de forraje seco =  $(PS * 10000)/(RA)$

Donde:

PS = Peso seco de la muestra de 100 gramos

10000 = Una hectárea

RA = Relación de área

#### **4.8.1.3 Rendimiento de semilla**

Con ayuda de una máquina trilladora de plantas individuales se trillaron las muestras de cada unidad experimental de un metro lineal por parcela útil. Se pesaron las



muestras y con los datos obtenidos se estimó el rendimiento en kg/ha, el rendimiento se calculó bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (((\text{PC}) * (10000)) / (0.90))$$

Donde:

PC = Peso de campo (peso de la semilla de un metro lineal)

10000 = 1 ha

0.90 = Área de muestra (parcela útil)

#### **4.8.2 Caracteres de calidad**

En el laboratorio de análisis de semillas del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) se realizó la evaluación de calidad física y fisiológica de semilla en los tratamientos. Estos caracteres fueron evaluados en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

##### **4.8.2.1 Peso de 1000 semillas**

Se efectuó un conteo y se pesaron en una báscula analítica ocho repeticiones de 100 semillas para cada unidad experimental, se promedió para obtener el peso de 100 semillas.

Para obtener el peso de 1000 semillas, se multiplica el peso medio de 100 semillas por 10.

##### **4.8.2.2 Porcentaje de germinación**

La semilla de avena antes de ser sometida a pruebas de germinación estándar es necesario que lleven un pretratamiento como lo menciona Moreno (1996), en avena es un preenfriamiento a 5 ó 10 °C por 5 días. Ya que recibieron el pretratamiento sobre una hoja de papel adsorbente previamente humedecido, se colocaron las 50 semillas correspondientes a la unidad experimental (taco) con 3 repeticiones, ya colocadas las semillas, se sobrepuso otra hoja de papel para cubrir las semillas, se humedeció y se enrolló en forma de taco; este procedimiento se realizó para todos los tratamientos y sus repeticiones; después se metieron a la cámara de germinación a una temperatura

de 15 – 20 °C. Se realizaron 2 conteos, el primero a los 5 días, donde se registraron las plántulas normales (PN) aquellas que tenían raíz y plúmula bien desarrollada, sanas y sin malformaciones; el segundo conteo se realizó a los 10 días donde se registraron plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA) aquellas con malformaciones en raíz y plúmula, semillas no germinadas o muertas (SM) y semillas enfermas (SE) las que presentaron presencia de hongos o putrefacciones. La determinación del porcentaje de germinación estándar (GE) se realizó en base al promedio de plántulas normales.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Análisis de varianza de los rendimientos de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena.

En la tabla 5.1 se muestran los resultados del análisis de varianza combinado a través de dosis de fertilización potásica, la humedad (número de riegos) y variedades, con las respectivas interacciones entre los factores de estudio, para rendimiento de Forraje verde (ensilado), Peso seco de forraje y semilla (rendimiento de grano). Se observa que existen diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre las dosis de fertilización para el rendimiento de forraje verde y diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para los rendimientos de forraje seco y de semilla. Con respecto a los factores humedad, variedad y la interacción humedad x variedad, se observa una diferencia alta significativa ( $p \leq 0.01$ ) para las tres variables y únicamente en el factor interacción dosis x humedad existe diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) para el rendimiento de semilla.

**Tabla 5.1** Cuadrados medios del análisis de varianza en variables de rendimiento de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena. Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Forraje verde (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Forraje seco (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Semilla (t ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>Rep</b>	2	207.15*	9.96	1.21**
<b>Fertilización K</b>	3	624.51**	26.25*	0.35**
<b>Error A</b>	6	85.13	13.93	0.18
<b>Riegos</b>	2	1226.13**	128.79**	0.77**
<b>Error B</b>	4	442.36**	25.52*	0.24*
<b>Dosis* hum</b>	6	95.01	17.07	0.43**
<b>Variedades</b>	5	449.69**	47.55**	1.83**
<b>Error C</b>	10	67.39	16.000	0.13
<b>Dosis* var</b>	15	64.82	7.30	0.08
<b>Hum*Var</b>	10	430.56**	26.4**	0.28**
<b>Dosis*Hum*Var</b>	30	42.03	10.57	0.07
<b>Error Total</b>	122	68.21	9.13	0.09
<b>C.V. (%)</b>	---	24.04	30.80	23.36

FV: Factor de variación; GL: Grados de libertad. \*,\*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente.

Los resultados muestran que al aplicar una mayor dosis de fertilizante potásico, combinado con la aplicación de un número menor de riegos, se aumentó el rendimiento de forraje verde y seco, así como el de semilla y vuelve más eficientes los procesos fisiológicos dentro de la planta al tener un óptimo control del agua dentro de esta, por la perfecta apertura y cierre de estomas, administrando correctamente el flujo de agua dentro de la planta y evitando la deshidratación que provoca el estrés hídrico, como lo menciona Moreno, (2009); en el ensayo se redujo el número de riegos aplicados drásticamente; de cuatro riegos por ciclo, los cuales son recomendados por el INIFAP en su ficha tecnológica para la producción de avena (2007), a tan solo dos riegos y se obtuvo un mayor rendimiento, como se muestra en la tabla 5.2, y se observa que con 30, 60 y 90 unidades de potasio se obtienen los mayores rendimientos; siendo la aplicación de 60 unidades de potasio para el rendimiento de forraje verde y de semilla los más altos (36.90 t ha<sup>-1</sup> y 1.38 t ha<sup>-1</sup> respectivamente) y con 30 unidades para rendimiento de forraje seco con 10.45 t ha<sup>-1</sup>, en comparación con la nula aplicación de

fertilizante potásico que arroja los rendimientos más bajos para las tres variables ( $29.36 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $8.33 \text{ t ha}^{-1}$  y  $1.20 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente), como lo señalan Barbazan *et al.*, (2011) quienes observaron aumento de rendimiento en cultivos de secano por el agregado de potasio en la fertilización. Y con relación al número de riegos aplicados, como se muestra en la tabla 5.2 se observa que con dos riegos se obtienen los mayores rendimientos para las tres variables ( $37.96 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $10.77 \text{ t ha}^{-1}$  y  $1.43 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente), contra la aplicación de cuatro riegos y tres riegos que producen los menores rendimientos, estos resultados coinciden con lo que señalan Melgar *et al.*, (S/f), que señalan que en concentraciones mayores de potasio se obtiene el mayor peso de raíz en remolacha azucarera y el menor consumo de agua, elevando la eficiencia del uso de agua en este cultivo, como se mostró en la tabla 3.2.

Con respecto a la evaluación de las variedades experimentales comparándose con la testigo (Chihuahua), en la tabla 5.2 se observa que las dos variedades más sobresalientes y con mayor rendimiento de forraje verde y seco así como de semilla, fueron la variedad L-112 ( $38.33 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $11.13 \text{ t ha}^{-1}$  y  $1.65 \text{ t ha}^{-1}$  para las tres variables de rendimiento respectivamente) y la variedad L-124 ( $36.71 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $11.23 \text{ t ha}^{-1}$  y  $1.53 \text{ t ha}^{-1}$  respectivamente); contra el testigo (Chihuahua) que su comportamiento fue  $31.21 \text{ t ha}^{-1}$  para forraje verde,  $8.54 \text{ t ha}^{-1}$  para forraje seco y  $1.11 \text{ t ha}^{-1}$  para semilla y fueron estos los rendimientos más bajos.

## 5.2 Comparación de medias de los rendimientos de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena.

En la tabla 5.2 se muestra la comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $p \leq 0.05$ ), donde se muestran los grupos de medias para rendimiento de forraje verde, forraje seco y rendimiento de semilla a través de las dosis de fertilización potásica, número de riegos aplicados y la evaluación de variedades experimentales de avena.

**Tabla 5.2.** Comparación de medias en variables de rendimiento de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena. Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.

Factor	Forraje verde (t ha <sup>-1</sup> )	Forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )	Peso semilla (t ha <sup>-1</sup> )
<b>Dosis</b>			
1 (0UK)	29.36 b	8.83 b	1.20 b
2 (30UK)	35.14 a	10.45 a	1.35 ab
3 (60UK)	36.90 a	9.87 ab	1.38 a
4 (90UK)	36.00 a	10.09 ab	1.32 ab
DMS	4.14	1.51	0.15
<b>Humedad</b>			
1 (2 riegos)	37.96 a	10.77 a	1.43 a
2 (3 riegos)	29.85 b	8.28 b	1.25 b
3 (4 riegos)	35.23 a	10.38 a	1.25 b
DMS	3.26	1.19	0.12
<b>Variedad</b>			
1 (112)	38.33 a	11.13 a	1.65 a
2 (117)	32.41 bcd	8.76 b	1.12 b
3 (124)	36.71 abc	11.23 a	1.53 a
4 (164)	31.07 c	9.47 ab	1.20 b
5 (193)	37.38 ab	9.71 ab	1.26 b
6 (chihuahua)	31.21 cd	8.54 b	1.11 b
DMS	5.63	2.06	0.21

UK: Unidades de potasio; DMS: Diferencia mínima significativa. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

### 5.3 Análisis de varianza de las variables de calidad de semilla en avena.

En la tabla 5.3 se muestran los resultados del análisis de varianza combinado a través de dosis de fertilización potásica, la humedad (número de riegos) y variedades, con las respectivas interacciones entre los factores de estudio, para peso de mil semillas y porcentaje de germinación estándar. Se observa que entre los factores de estudio; dosis, humedad, variedad y sus respectivas interacciones, existe diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) para el peso de mil semillas y únicamente en el factor variedad existe una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ); y para el porcentaje de germinación. en el factor humedad, así como las interacciones humedad por variedad y la triple interacción dosis por humedad por variedad existe una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ).

**Tabla 5.3** Cuadrados medios del análisis de varianza en variables de calidad de semilla en avena (peso de mil semillas y germinación). Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Peso 1000 semillas (gr)</b>	<b>Germinación (%)</b>
<b>Dosis</b>	3	7.14**	34.36
<b>Error A</b>	8	0.35	283.69**
<b>Hum</b>	2	27.71**	160.65**
<b>Error B</b>	4	0.15	261.30**
<b>Var</b>	5	82.84**	61.62*
<b>Error C</b>	10	0.83**	37.44
<b>Dosis*Hum</b>	6	1.74**	37.44
<b>Dosis*Var</b>	15	2.9**	45.89
<b>Hum*Var</b>	10	33.55**	90.81**
<b>Dosis*Hum* hum</b>	30	2.46**	52.85**
<b>Error Total</b>	122	0.25	26.61
<b>C.V. (%)</b>	---	2.88	7.48

FV: Factor de variación; GL: Grados de libertad. \*,\*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente.

Los resultados muestran que, al aplicar una mayor dosis de fertilizante potásico combinado con la reducción del número de riegos, se aumentó la calidad física de la semilla de avena para el peso de mil semillas a través de la dosis de fertilización potásica y el número de riegos aplicados, que coincide con lo que señalan Kant y Kafkali, (S/f), que son necesarias altas concentraciones de potasio durante los estadios tempranos de crecimiento para alcanzar máximos rendimientos, con frutos de tamaño apropiado y óptima calidad exigidas por los mercados; (Hanway y Johnson, 1985; Sallam *et al.*, 1985), señalan que el desplazamiento de K hacia las semillas en el cultivo de soja es especialmente evidente durante la formación de las semillas, de tal manera que aporta en la calidad física de la semilla, y respecto a la calidad fisiológica en el porcentaje de germinación a través del número de riegos, que se relaciona con lo que mencionan Marschner, 1995; Jones, (2003), que el K es requerido para la acumulación y translocación de carbohidratos producto de la fotosíntesis y con lo que señalan Melgar *et al.*, (S/f), con respecto al flujo de savia elaborada en cantidades elevadas a través del floema llevado a los frutos para aumentar la calidad del fruto, a causa de las concentraciones altas de K, como se mostró en la figura 3.3. De tal manera que para el peso de mil semillas como se muestra en la tabla 5.4, con la aplicación de 90 unidades de potasio se obtuvo el mayor peso de 18.12 gr, en comparación con la nula aplicación que arrojó un peso de 17.63 gr; con la aplicación de dos riegos se obtuvo un peso de 18.20 gr contra la aplicación de cuatro riegos que arrojó el menor peso de 16.98 gr, y para el porcentaje de germinación que solo se vio afectado por el número de riegos, donde, con la aplicación de 2 riegos se obtuvo el mayor porcentaje de germinación con un 85.34% de germinación, en comparación con la aplicación de 4 riegos que arrojó un 82.38% de germinación que es el más bajo.

Con respecto a la evaluación de variedades experimentales se muestra que para el peso de mil semillas la más alta fue de nueva cuenta la variedad experimental L-124 en comparación con la más baja que fue la L-117 y para el porcentaje de germinación no se muestra diferencia significativa según Tukey ( $p \leq 0.05$ ).



#### 5.4 Comparación de medias en variables de calidad de semilla en avena.

En la tabla 5.2 se muestra la comparación de medias de acuerdo con DMS ( $p \leq 0.05$ ), donde se muestran los grupos de medias para las pruebas de calidad de semilla: el peso de mil semillas y el porcentaje de germinación de semilla, a través de las dosis de fertilización potásica, número de riegos aplicados y la evaluación de variedades experimentales de avena.

**Tabla 5.4** Comparación de medias en variables de calidad de semilla en avena (peso de mil semillas y germinación). Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.

<b>Factor</b>	<b>Peso 1000 semillas (gr)</b>	<b>Germinación (%)</b>
<b>Dosis</b>		
1 (0U)	17.63 b	83.68 a
2 (30U)	17.62 b	85.07 a
3 (60U)	17.23 c	83.18 a
4 (90U)	18.12 a	83.92 a
DMS	0.19	1.96
<b>Humedad</b>		
1 (2 riegos)	18.20 a	85.34 a
2 (3 riegos)	17.72 b	84.17 a
3 (4 riegos)	16.98 c	82.38 b
DMS	0.16	1.77
<b>Variedad</b>		
1 (112)	17.18 d	84.02 ab
2 (117)	15.18 e	85.62 a
3 (124)	19.80 a	83.38 ab
4 (164)	17.93 c	81.76 b
5 (193)	18.31 b	84.60 a
6 (chihuahua)	17.49 d	84.38 a
DMS	0.27	2.4

UK: unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea; DMS: Diferencia mínima significativa. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, según DMS ( $p \leq 0.05$ ).

### 5.5 Interacción de factores para las variables de rendimiento en avena.

En la tabla 5.5 se muestran los resultados de las pruebas de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para la interacción de los factores de estudio: Dosis de fertilización potásica, Hum (número de riegos) y variedades, para las variables de rendimiento de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena, en donde se observa que para el rendimiento de forraje verde, la mejor conducta se logró con la interacción de aplicar 30 UK, la aplicación de dos riegos y la variedad 124, con un rendimiento medio de  $54.56 \text{ t ha}^{-1}$ . En contraste el menor rendimiento lo observó la interacción con la nula aplicación 0 UK, 2 riegos y la variedad chihuahua con una media de  $18.07 \text{ t ha}^{-1}$ .

Para el rendimiento de forraje seco, la mayor ganancia se logró con la interacción de la aplicación de 60 UK, 2 riegos y la variedad 164 con un rendimiento de  $16.66 \text{ t ha}^{-1}$  en comparación con la interacción 0 UK, 2 riegos y la variedad chihuahua que arrojó la menor actuación con un rendimiento de  $5.26 \text{ t ha}^{-1}$  y este resultado coincide con el rendimiento observado por la misma interacción para el rendimiento de forraje, indicando que para forraje verde y forraje seco es la interacción con valor más bajo.

Para el rendimiento de semilla, el mejor comportamiento se logró con la interacción 60 UK, 2 riegos y la variedad 112 con un rendimiento de  $2.16 \text{ t ha}^{-1}$  en comparación con el menor rendimiento que se obtuvo con la interacción 0 UK, 2 riegos y la variedad 193 con un rendimiento de  $0.82 \text{ t ha}^{-1}$ .

Por otra parte, cabe resaltar que el valor promedio en cuanto al rendimiento de forraje verde es de  $34.42 \text{ t ha}^{-1}$ , de forraje seco de  $9.79 \text{ t ha}^{-1}$  y de semilla de  $1.31 \text{ t ha}^{-1}$  y por la tanto, las medias de las interacciones que rondan estos promedios respectivamente se encuentran en los valores intermedios de rendimiento para cada variable.

Estos resultados demuestran que el cultivo de la avena en cuanto al rendimiento de forraje verde, forraje seco y rendimiento de semilla, está fuertemente relacionado con

la aplicación de fertilizante potásico y la disminución del número de riegos, ya que es necesaria la aplicación de potasio para poder disminuir el impacto de restricción del riego y obtener el mejor rendimiento para las tres variables mencionadas, y esto coincide con lo que señalan Marschner, (1995) y Jones, (2003) quienes señalan que el K es un elemento involucrado en el mantenimiento del estado hídrico de la planta, la presión de turgencia de las células, la apertura y cierre estomático, como se mostró en la figura 3.1 y se apoyan con lo que menciona Pettigrew, (2008), figura 3.2.

**Tabla 5.5** Interacciones entre los factores de estudio: Dosis UK de fertilización potásica, Hum (número de riegos) y variedades, para las variables de rendimiento de forraje verde y seco y rendimiento de semilla en avena. Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.

Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Forraje verde (t ha <sup>-1</sup> )	Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )	Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Peso semilla (t ha <sup>-1</sup> )
0/2/112	46.03	0/2/112	12.44	0/2/112	1.82
0/2/117	28.43	0/2/117	8.45	0/2/117	1
0/2/124	32.28	0/2/124	10.24	0/2/124	1.12
0/2/164	33.51	0/2/164	8.67	0/2/164	1.19
0/2/193	35.86	0/2/193	9.86 $\mu$	0/2/193	0.82 $\nu$
0/2/Chihuahua	18.07 $\nu$	0/2/Chihuahua	5.26 $\nu$	0/2/Chihuahua	0.95
0/3/112	26.35	0/3/112	6.97	0/3/112	1.42
0/3/117	23.33	0/3/117	6.97	0/3/117	1.02
0/3/124	31.58	0/3/124	9.56 $\mu$	0/3/124	0.92
0/3/164	26.14	0/3/164	8.23	0/3/164	1.2 $\mu$
0/3/193	26.66	0/3/193	7.96	0/3/193	0.91
0/3/Chihuahua	20.35	0/3/Chihuahua	6.02	0/3/Chihuahua	0.97
0/4/112	32.63	0/4/112	9.84 $\mu$	0/4/112	1.52
0/4/117	30.87	0/4/117	10.66	0/4/117	1.19
0/4/124	19.33	0/4/124	8.49	0/4/124	1.87
0/4/164	26.31	0/4/164	9.58 $\mu$	0/4/164	1.4
0/4/193	38.59	0/4/193	8.53	0/4/193	1.2 $\mu$
0/4/Chihuahua	32.28	0/4/Chihuahua	10.18	0/4/Chihuahua	1.06

UK,  $\Lambda$ ,  $\nu$  y  $\mu$ : unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea, valor mas alto, valor mas bajo y valor promedio respectivamente.

Continuación de la tabla 5.5

Interacción de los factores	Forraje verde	Interacción de los factores	Forraje seco	Interacción de los factores	Peso semilla
Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	(t ha <sup>-1</sup> )	Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	(t ha <sup>-1</sup> )	Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	(t ha <sup>-1</sup> )
30/2/112	49.08	30/2/112	13.25	30/2/112	1.68
30/2/117	39.73	30/2/117	7.94	30/2/117	0.97
30/2/124	54.56 <sup>^</sup>	30/2/124	16.62	30/2/124	1.96
30/2/164	37.19	30/2/164	9.87 <sub>μ</sub>	30/2/164	1.34 <sub>μ</sub>
30/2/193	41.44	30/2/193	12.27	30/2/193	1.45
30/2/Chihuahua	28.91	30/2/Chihuahua	8.2	30/2/Chihuahua	1.21
30/3/112	34.38 <sub>μ</sub>	30/3/112	9.06	30/3/112	1.66
30/3/117	28.24	30/3/117	8.96	30/3/117	1.39
30/3/124	37.01	30/3/124	11.17	30/3/124	1.41
30/3/164	21.05	30/3/164	6.54	30/3/164	1.27 <sub>μ</sub>
30/3/193	37.08	30/3/193	10	30/3/193	1.18
30/3/Chihuahua	25.96	30/3/Chihuahua	7.75	30/3/Chihuahua	1.27 <sub>μ</sub>
30/4/112	37.26	30/4/112	12.24	30/4/112	1.46
30/4/117	34.73 <sub>μ</sub>	30/4/117	11.14	30/4/117	1.02
30/4/124	22.81	30/4/124	10.86	30/4/124	1.59
30/4/164	29.82	30/4/164	12.89	30/4/164	1.07
30/4/193	38.95	30/4/193	7.6	30/4/193	1.25 <sub>μ</sub>
30/4/Chihuahua	39.29	30/4/Chihuahua	11.76	30/4/Chihuahua	1.11

UK, <sup>^</sup>, <sub>v</sub> y <sub>μ</sub>: unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea, valor más alto, valor más bajo y valor promedio respectivamente.

Continuación de la tabla 5.5

Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Forraje verde (t ha <sup>-1</sup> )	Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )	Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Peso semilla (t ha <sup>-1</sup> )
60/2/112	49.64	60/2/112	13.69	60/2/112	2.16 <sup>^</sup>
60/2/117	40.52	60/2/117	8.06	60/2/117	1.27 <sup>μ</sup>
60/2/124	52.2	60/2/124	14.08	60/2/124	1.84
60/2/164	35.79	60/2/164	16.66 <sup>^</sup>	60/2/164	1.43
60/2/193	39.37	60/2/193	12.56	60/2/193	1.58
60/2/Chihuahua	29.29	60/2/Chihuahua	8.06	60/2/Chihuahua	1.22 <sup>μ</sup>
60/3/112	38.35	60/3/112	9.02	60/3/112	1.62
60/3/117	32.63	60/3/117	5.7	60/3/117	1.09
60/3/124	40.21	60/3/124	12.28	60/3/124	1.49
60/3/164	24.38	60/3/164	6.86	60/3/164	1.28 <sup>μ</sup>
60/3/193	35.33	60/3/193	9.85 <sup>μ</sup>	60/3/193	1.51
60/3/Chihuahua	26.14	60/3/Chihuahua	6.19	60/3/Chihuahua	1.26 <sup>μ</sup>
60/4/112	34.73 <sup>μ</sup>	60/4/112	11.9	60/4/112	1.59
60/4/117	28.82	60/4/117	9.08	60/4/117	1.08
60/4/124	40.28	60/4/124	6.51	60/4/124	1.56
60/4/164	30.87	60/4/164	10.32	60/4/164	0.86
60/4/193	41.75	60/4/193	5.44	60/4/193	1.17
60/4/Chihuahua	43.9	60/4/Chihuahua	11.37	60/4/Chihuahua	0.92

UK, <sup>^</sup>, <sup>v</sup> y <sup>μ</sup>: unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea, valor más alto, valor más bajo y valor promedio respectivamente.

Continuación de la tabla 5.5

Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Forraje verde (t ha <sup>-1</sup> )	Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )	Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var	Peso semilla (t ha <sup>-1</sup> )
90/2/112	44.42	90/2/112	10.02	90/2/112	2.14
90/2/117	37.72	90/2/117	10.84	90/2/117	1.39 $\mu$
90/2/124	43.43	90/2/124	13.09	90/2/124	2.09
90/2/164	33.86	90/2/164	9.15	90/2/164	1.39 $\mu$
90/2/193	34.7 $\mu$	90/2/193	10.43	90/2/193	1.22
90/2/Chihuahua	30.17	90/2/Chihuahua	8.74	90/2/Chihuahua	1.16
90/3/112	36	90/3/112	9.56 $\mu$	90/3/112	1.3 $\mu$
90/3/117	29.64	90/3/117	7.24	90/3/117	1.24 $\mu$
90/3/124	31.26	90/3/124	8.86	90/3/124	1.01
90/3/164	27.19	90/3/164	7.68	90/3/164	1.04
90/3/193	30.42	90/3/193	8.69	90/3/193	1.39 $\mu$
90/3/Chihuahua	26.84	90/3/Chihuahua	7.68	90/3/Chihuahua	1.25 $\mu$
90/4/112	31.05	90/4/112	15.6	90/4/112	1.44
90/4/117	39.3	90/4/117	10.08	90/4/117	0.87
90/4/124	35.54	90/4/124	12.05	90/4/124	1.53
90/4/164	34.74 $\mu$	90/4/164	7.17	90/4/164	0.92
90/4/193	48.36	90/4/193	13.52	90/4/193	1.46
90/4/Chihuahua	53.33	90/4/Chihuahua	11.34	90/4/Chihuahua	0.93

UK,  $\wedge$ ,  $\vee$  y  $\mu$ : unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea, valor más alto, valor más bajo y valor promedio respectivamente.

### **5.6 Interacción de factores para las variables de rendimiento en avena.**

En la tabla 5.6 se muestran los resultados de las pruebas de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para la interacción de los factores de estudio: Dosis de fertilización potásica, Hum (número de riegos) y variedades, para las variables de peso de mil semillas y porcentaje de germinación en semilla en avena, en donde se observa que para el peso de mil semillas, la mejor conducta se logró con la interacción de aplicar 30 UK, la aplicación de dos riegos y la variedad 124, con un peso medio de 22.78 gr. En contraste el menor peso lo observó la interacción con la aplicación de 60 UK, 2 riegos y la variedad chihuahua con una media de 13.53gr.

Esta conducta es apoyada con lo que mencionan Kant y Kafkali, (S/f), al demostrar como el aumento de acumulación de potasio, se vuelve a elevar en el momento del llenado de fruto o de semilla en el cultivo de soya (figura 3.4).

Para el porcentaje de germinación, el mayor alcance se logró con la interacción de la aplicación de 0 UK, 2 riegos y la variedad 112 con una media de 93.42%, en contraste con la interacción 60 UK, 4 riegos y la variedad 164 que arrojó la menor conducta con una media de 75.76%, este resultado demuestra que la interacción entre las dosis de fertilización potásica y los números de riego aplicados no beneficia al porcentaje de germinación, ya que es más alto el porcentaje de germinación con un número menor de riegos y una nula aplicación de fertilizante potásico, como se muestra en la tabla 5.6, es contraproducente para el porcentaje de germinación el aumento de fertilizante potásico a 90 UK combinado con la aplicación de 4 riegos, ya que arroja los menores porcentajes de germinación, para la variedad 112.

Para estas variables también es necesario destacar que el valor promedio en cuanto al peso de mil semillas es de 17.65 gr y del porcentaje de germinación de 83.97%, por la tanto, las medias de las interacciones que se acercan a estos promedios respectivamente se encuentran en los valores intermedios de calidad para cada variable.

**Tabla 5.6** Interacciones entre los factores de estudio: Dosis UK de fertilización potásica, Hum (número de riegos) y variedades, para las variables de peso de mil semillas y porcentaje de germinación en semilla de avena. Celaya, Gto. Ciclo agrícola O-I 2015/2016.

<b>Interacción de los factores</b> <b>Dosis/Hum/Var</b> <b>UK/No. riegos/var</b>	<b>Peso 1000 semillas</b> <b>(gr)</b>	<b>Interacción de los factores</b> <b>Dosis/Hum/Var</b> <b>UK/No. riegos/var</b>	<b>Germinación</b> <b>(%)</b>
0/2/112	18.78	0/2/112	93.43 $\wedge$
0/2/117	13.37	0/2/117	86.20
0/2/124	22.23	0/2/124	82.53
0/2/164	18.85	0/2/164	82.68
0/2/193	20.34	0/2/193	89.53
0/2/Chihuahua	19.22	0/2/Chihuahua	85.60
0/3/112	16.60	0/3/112	84.02 $\mu$
0/3/117	16.20	0/3/117	88.50
0/3/124	18.79	0/3/124	79.40
0/3/164	19.80	0/3/164	81.27
0/3/193	18.18	0/3/193	74.11
0/3/Chihuahua	19.42	0/3/Chihuahua	86.22
0/4/112	16.87	0/4/112	78.85
0/4/117	18.75	0/4/117	80.51
0/4/124	18.45	0/4/124	87.21
0/4/164	16.08	0/4/164	75.77
0/4/193	16.34	0/4/193	92.38
0/4/Chihuahua	17.93 $\mu$	0/4/Chihuahua	78.09

UK,  $\wedge$ ,  $\nu$  y  $\mu$ : unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea, valor más alto, valor más bajo y valor promedio respectivamente.



Continuación de la tabla 5.6

<b>Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var</b>	<b>Peso 1000 semillas (gr)</b>	<b>Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var</b>	<b>Germinación (%)</b>
<b>30/2/112</b>	18.36	<b>30/2/112</b>	81.84
<b>30/2/117</b>	13.82	<b>30/2/117</b>	81.92
<b>30/2/124</b>	22.78 $\wedge$	<b>30/2/124</b>	80.41
<b>30/2/164</b>	16.43	<b>30/2/164</b>	87.60
<b>30/2/193</b>	19.98	<b>30/2/193</b>	87.77
<b>30/2/Chihuahua</b>	15.94	<b>30/2/Chihuahua</b>	87.64
<b>30/3/112</b>	17.10 $\mu$	<b>30/3/112</b>	80.96
<b>30/3/117</b>	15.60	<b>30/3/117</b>	89.22
<b>30/3/124</b>	20.09	<b>30/3/124</b>	86.81
<b>30/3/164</b>	19.46	<b>30/3/164</b>	90.36
<b>30/3/193</b>	18.39	<b>30/3/193</b>	84.96
<b>30/3/Chihuahua</b>	18.01	<b>30/3/Chihuahua</b>	86.53
<b>30/4/112</b>	15.83	<b>30/4/112</b>	87.52
<b>30/4/117</b>	16.49	<b>30/4/117</b>	78.06
<b>30/4/124</b>	18.92	<b>30/4/124</b>	81.72
<b>30/4/164</b>	16.36	<b>30/4/164</b>	83.13 $\mu$
<b>30/4/193</b>	15.88	<b>30/4/193</b>	92.09
<b>30/4/Chihuahua</b>	17.77 $\mu$	<b>30/4/Chihuahua</b>	82.74

UK,  $\wedge$ ,  $\nu$  y  $\mu$ : unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea, valor más alto, valor más bajo y valor promedio respectivamente.

Continuación de la tabla 5.6

<b>Interacción de los factores</b> <b>Dosis/Hum/Var</b> <b>UK/No. riegos/var</b>	<b>Peso 1000 semillas</b> <b>(gr)</b>	<b>Interacción de los factores</b> <b>Dosis/Hum/Var</b> <b>UK/No. riegos/var</b>	<b>Germinación</b> <b>(%)</b>
60/2/112	18.60	60/2/112	88.92
60/2/117	13.53	60/2/117	92.68
60/2/124	21.72	60/2/124	87.46
60/2/164	15.96	60/2/164	78.58
60/2/193	20.80	60/2/193	77.71
60/2/Chihuahua	14.88	60/2/Chihuahua	84.02 $\mu$
60/3/112	15.56	60/3/112	78.09
60/3/117	14.10	60/3/117	87.37
60/3/124	18.74	60/3/124	83.56 $\mu$
60/3/164	19.57	60/3/164	81.83
60/3/193	18.75	60/3/193	84.45
60/3/Chihuahua	16.80	60/3/Chihuahua	82.73
60/4/112	16.85	60/4/112	83.96
60/4/117	14.80 $\nu$	60/4/117	79.78
60/4/124	18.27	60/4/124	83.70 $\mu$
60/4/164	18.53	60/4/164	75.76 $\nu$
60/4/193	15.88	60/4/193	83.84 $\mu$
60/4/Chihuahua	16.88	60/4/Chihuahua	82.91

UK,  $\nu$ ,  $\mu$  y  $\mu$ : unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea, valor mas alto, valor mas bajo y valor promedio respectivamente.

Continuación de la tabla 5.6

<b>Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var</b>	<b>Peso 1000 semillas (gr)</b>	<b>Interacción de los factores Dosis/Hum/Var UK/No. riegos/var</b>	<b>Germinación (%)</b>
90/2/112	19.30	90/2/112	85.84
90/2/117	14.07	90/2/117	88.93
90/2/124	22.52	90/2/124	83.25 $\mu$
90/2/164	16.70	90/2/164	83.68 $\mu$
90/2/193	21.43	90/2/193	78.86
90/2/Chihuahua	17.23 $\mu$	90/2/Chihuahua	91.24
90/3/112	15.69	90/3/112	87.16
90/3/117	16.96	90/3/117	91.15
90/3/124	17.16	90/3/124	81.59
90/3/164	19.90	90/3/164	78.11
90/3/193	17.72 $\mu$	90/3/193	87.62
90/3/Chihuahua	18.08	90/3/Chihuahua	84.09 $\mu$
90/4/112	16.65	90/4/112	77.72
90/4/117	14.48	90/4/117	83.22 $\mu$
90/4/124	17.97 $\mu$	90/4/124	83.00
90/4/164	17.58	90/4/164	82.36
90/4/193	16.13	90/4/193	81.97
90/4/Chihuahua	17.84 $\mu$	90/4/Chihuahua	80.82

UK,  $\mu$ ,  $\nu$  y  $\rho$ : unidades de fertilizante potásico aplicados por hectárea, valor mas alto, valor mas bajo y valor promedio respectivamente.

## VI. CONCLUSIONES

La dosis de fertilización potásica que permitió amortiguar el efecto de la disminución de riegos, mejorando el rendimiento de forraje verde, forraje seco y de semilla de avena fue la dosis de 30 UK para el rendimiento de forraje seco y de 60 UK para el rendimiento de forraje verde y de semilla.

En relación a las interacciones; las dosis óptimas son de 30 UK con la variedad 124 para el rendimiento de forraje verde y el peso de mil semillas; y de 60 UK con las variedades 164 y 112 para el rendimiento de forraje seco y de semilla respectivamente, estas combinadas con el menor número de riegos (2 riegos) que presentaron los rendimientos más altos, No ay consistencia en el comportamiento observado en el porcentaje de germinación en cuanto al impacto en la disminución de riego, la fertilización potásica y las variedades como se observó en las variables de rendimiento y peso de mil semillas.

Los valores más sobresalientes en cuanto al rendimiento de forraje verde, forraje seco y de semilla, peso de mil semillas y porcentaje de germinación fueron los siguientes: 36.90 t ha<sup>-1</sup>, 10.45 t ha<sup>-1</sup>, 1.38 t ha<sup>-1</sup>, 18.12 gr con la aplicación de 60 UK, 30 UK, 60 UK y 90 UK respectivamente de acuerdo a la comparación de medias, en cuanto al porcentaje de germinación no presento diferencia significativa y por lo tanto, no hubo efecto de la fertilización potásica.

De acuerdo a las interacciones de los tres factores, los rendimientos más altos fueron: 54.86 t ha<sup>-1</sup>, 16.66 t ha<sup>-1</sup> y 2.16 t ha<sup>-1</sup> con la aplicación de 30 UK, 2 riegos y con la variedad 124 y de 60 UK, 2 riegos y con la variedad 164 y de 60 UK, 2 riegos y con la variedad 112, para rendimiento de forraje verde, forraje seco y de semilla respectivamente y para el porcentaje de germinación fue el 93.42 % con la nula aplicación de fertilizante potásico, 2 riegos y con la variedad L-112.

En cuanto al factor variedades, las que alcanzaron el mejor comportamiento fueron: la variedad 112 para el rendimiento de forraje verde, las variedades 112 y 124 para el rendimiento de forraje seco y rendimiento de semilla. Entonces de acuerdo a los resultados, la variedad 112 es la que mantiene la mejor conducta en cuanto a las variables de rendimiento. Sobre las variables de calidad; para el peso de mil semillas la más sobresaliente fue la variedad L-124 y para el porcentaje de germinación las variedades L-117, L-93 y la testigo (chihuahua).

**VII. LITERATURA CITADA**

- Alcántar G.G. and Trejo T.L.I. 2007. Nutrición de Cultivos. Mundi–Prensa. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.438 p.
- Barbazán M., Bautes C., Beux L., Bordoli M, Cano J. D., Ernst O., García A., García F., Quincke A. Fertilización potásica en cultivos de secano sin laboreo en Uruguay rendimiento según análisis de suelos. *Agrociencia Uruguay - Volumen 15 2:93-99*
- Ben-Zioni A., Vaadia Y. and Lips S.H. 1971. Nitrate uptake by roots as regulated by nitrate reduction products of the shoot. *Physiol. Plant.* 24: 288-290.
- Demmig B. and Gimmler H. 1983. Properties of the isolated intact chloroplast at cytoplasmic K concentrations. I. Light-induced cation uptake into intact chloroplasts is driven by an electrical potential difference. *Plant Physiol.* 73:169–173
- Espitia R. E., H. E Villaseñor M., R. Tovar, P. Pérez y A. Limón. 2002. Momento óptimo de corte y comparación de genotipos de avena forrajera. In: *Memoria del XIX Congreso Nacional de Fitogenética.* Saltillo, Coah., México.
- Fageria N.K., Baligar V.C. and Jones C. A.(eds.). 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Oekker Inc., New York, USA.
- FND. 2014. Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. Dirección general adjunta de planeación estratégica, análisis sectorial y tecnologías de la información. *Panorama de la Avena.*
- Hanway, J. J. and Johnson, J.W. 1985. Potassium nutrition of soybean. pp. 753-764. In: R.O. Munson (ed.) *Potassium in agriculture.* ASA, Madison, WI.

INEGI. 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Izunza-Ibarra M.A., Catalán-Valencia E.A., Sánchez-Cohen I., Villa-Castorena M., y Román-López A. 2010. Modelo de producción de trigo bajo déficit hídrico en dos períodos de crecimiento. *Terra Latinoamericana*, vol. 28, núm. 4, octubre-diciembre, 2010, pp. 335-344, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México.

Jiménez-Valle J.I. 2009. Descriptores varietales de avena (*Avena sp.*) cultivadas en México. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

Jones, J. B. Jr. 2003. *Agronomic Handbook. Management of Crops, Soils, and Their Fertility*. CRC Press. Boca Raton. FLA. 450 p.

Jurado-Guerra P., y Lara-Macías C.R. 2014. Paquete Tecnológico para la Producción de Avena Forrajera en Chihuahua. Folleto Técnico Núm. 51 ISBN: 978-607-37-0275-1

Kirkby, EA and Knight, A.H. 1977. Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation, and cation-anion balance in whole tomato plants. *Plant Physiol.* 60: 349-353.

Kirkegaard J.A., Lilley J.M., Howe G.N., and Graham J.M. 2007 Impact of subsoil water use on wheat yield. *Australian Journal of agricultural Research.* 58, 303-315.

Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Ed. Academic Press Inc. San Diego, CA. 889 p.

Maathuis F. J. M., and Sanders D. 1994. Mechanism of high affinity potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 9272-9276.

- Melgar R., Magen H., e Imas P. (S/f). El rol del potasio en la producción agrícola. [http://www.fertilizando.com/articulos/melgar\\_magen\\_imas-rol-potasio-en-produccion-agricola.pdf](http://www.fertilizando.com/articulos/melgar_magen_imas-rol-potasio-en-produccion-agricola.pdf) consultado: 22 de junio de 2017.
- Moreno F, L. P. 2009. Respuestas de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía colombiana* vol. 27, núm. 2, agosto, 2009, pp. 179-191 Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia.
- Moreno M. E. Analisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de biología. Universidad Nacional Autonoma de México. Ciudad Universitaria, D.F. México. pag 125
- Moreno-Reséndez A. 2007. Elementos nutritivos: Asimilación, funciones, toxicidad e indisponibilidad en suelos. Colección: Ecología y Medioambiente, Libros en red., pag. 18
- Nitsos, R.E. and Evans, H.J. 1969. Effects of univalent cations on the activity of particulate starch synthetase. *Plant Physiol.* 44:1260–1266.
- Ostwald, W. 1984. In: G. Bugge, ed. *Das Buch der grossen Chemiker*: Weinheim Verlag Chemie, pp. 405–416.
- ProChile. 2011. Oficina Comercial de ProChile en Ciudad de México. Estudio de Mercado Avena en México., pag. 28.
- Ramírez-Ordoñez S., Domínguez-Díaz D., Salmerón-Zamora J.J., Villalobos-Villalobos G., y Ortega-Gutiérrez J.A. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 36 (4): 395 – 403.



- Rehm G and Schmitt M. 2002. Potassium for crop production. Nutrient Management. University of Minnesota Extension. pp. 612-624-1222.
- Ridge I. Plants. Oxford, Oxford University Press, 2002. 352 pp.
- Sánchez-Díaz M. y Aguirre Olea J. 2013. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª Edición. Azcon-Bieto J. y Talón M. McGraw-Hill Interamericana de España p. 48.
- SIAP. 2017. Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. SAGARPA. México.
- Swya Kant y Uzi Kafkafi (S/f). La absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. International Potash Institute.
- Unión Vegetariana Internacional (IVU) 2006. <http://www.ivu.org/spanish/recipes/>
- Pask AJD., Pietragalla J., Mullan DM., Chávez-Dulanto PN. y Reynolds MP. (Eds.) 2013. Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo. México, D.F.: CIMMYT.
- Pettgrew W.T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Review. *Physiologia Plantarum* 133: 670–681.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CLONACIÓN DEL GEN DEL INHIBIDOR DE PROTEASAS DE SEMILLAS DE  
CHAN (*Hyptis suaveolens*)**

**QUE PRESENTA**

**CRISTINA ORTEGA GONZÁLEZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. CÉSAR LEOBARDO AGUIRRE MANCILLA**

**CO-DIRECTOR: DR. GABRIEL ITURRIAGA DE LA FUENTE**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**NOVIEMBRE DE 2017**

La tesis “CLONACIÓN DEL GEN DEL INHIBIDOR DE PROTEASAS DE SEMILLAS DE CHAN (*Hyptis suaveolens*)”, fue realizada por la alumna **Cristina Ortega González**, bajo la dirección del Dr. César Leobardo Aguirre Mancilla, Co-Director Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente y asesoría del Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. César Leobardo Aguirre Mancilla**  
**Cédula: 4798239**

**Co-Director:**

---

**Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente**  
**Cédula: 7625496**

**Asesor:**

---

**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**  
**Cédula: 4875646**

## DEDICATORIAS

Con cariño dedico este trabajo...

A mi familia, por su apoyo incondicional en cada momento, especialmente a mis padres quienes son los pilares de la educación que he recibido y ejemplo de esfuerzo y dedicación.

A mi esposo, quien ha permanecido a mi lado en cada momento de alegría y tristeza dándome la fuerza para seguir luchando por mis sueños.

A mis hermanos, que con su cariño y apoyo me motivan a ser perseverante.

## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias por la vida que tengo y puedo disfrutar con mis seres queridos...

Gracias a mi familia, la fuerza que impulsa mis sueños y me permite lograr mis metas.

Gracias a mi esposo por la paciencia, los consejos, el apoyo y comprensión durante momentos de alegría y tristeza, gracias por hacerme saber que a cada instante estas a mi lado.

Gracias...

Al Dr. César Leobardo Aguirre Mancilla por el apoyo al desarrollo de este trabajo así como los consejos y críticas constructivas a lo largo de mi estancia en el Instituto.

Al Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente por permanecer constantemente apoyándome en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Gabriel Ramírez Pimentel por la paciencia y apoyo brindado en la realización de este trabajo.

A mis compañeras Dulce, Diana y Adriana quienes me brindaron su amistad excepcional y apoyo incondicional durante el tiempo que fue posible compartir a su lado.

Agradezco a mis compañeros y maestros de posgrado y de laboratorio Anarely, Vicky, Fernando, Dr. Covarrubias, Maestro Chablé por su apoyo intelectual además de brindarme momentos de risas y bonitas experiencias.

Especialmente gracias Fer †, por que fuiste mi guía en la realización de este trabajo, fuiste testigo de triunfos y fracasos, gracias por compartir momentos de risas, por escucharme y aconsejarme, lamentablemente la vida nos ha sorprendido con tu partida pero me quedo con gratos recuerdos y buenos momentos, palabras faltan para expresarte mi gratitud así que solamente resta decir gracias por tu amistad y descansa en paz.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>SUMMARY</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	4
2.1. Objetivo general .....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
2.3. Hipótesis.....	4
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
3.1. Generalidades del <i>Hyptis suaveolens</i> .....	5
3.1.1. Origen y distribución geográfica del chan.....	5
3.1.2. Morfología del chan .....	6
3.1.3. Usos del chan.....	8
3.1.4. Estudios realizados en el género <i>Hyptis suaveolens</i> .....	9
3.2. Mecanismos de defensa de las plantas.....	10
3.2.1. Respuesta constitutiva: .....	11
3.2.1.1. Barreras estructurales o físicas: .....	11
3.2.1.2. Barreras bioquímicas preformadas:.....	11
3.2.2. Respuestas inducidas: .....	12
3.3. Inhibidores de proteasas .....	12
3.3.1. Inhibidores de proteasas en plantas.....	13

3.3.2. Síntesis de los inhibidores de proteasas .....	14
3.3.3. Clasificación de los inhibidores de proteasas .....	16
3.3.4. Familias de IPs más comunes.....	16
3.3.5. Mecanismo de inhibición enzimática de los IPs .....	22
3.3.6. Importancia de los IPs .....	24
3.3.7. Especies identificadas con inhibidores de proteasas .....	25
3.3.8. Plantas transgénicas que expresan inhibidores de proteasas.....	26
3.9. Proteasas .....	27
3.9.1. Endopeptidasas que forman complejos covalentes enzima- sustrato .....	29
3.9.2. Endopeptidasas que no forman complejos covalentes enzima- sustrato .....	31
3.10. Panorama general de la agricultura .....	32
3.11. Plaguicidas .....	34
3.11.1. Clasificación de los plaguicidas .....	35
3.11.2. Desventajas del uso de plaguicidas .....	37
3.12. Control biológico.....	40
3.12.1. Bioplaguicidas .....	41
3.13. Cultivos genéticamente modificados .....	45
3.14. Obtención de plantas genéticamente modificadas .....	45
3.14.1. Transformación mediante sistema <i>Agrobacterium</i> .....	46
3.14.2. Transformación mediante biobalística .....	47
3.14.2. Electroporación .....	47
3.14.3. Nuevas herramientas de transformación o edición de genomas .....	48
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>49</b>
4.1. Localización.....	49

4.2. Materiales y métodos .....	49
4.2.1. Material biológico: .....	49
4.2.2. Extracción RNA total .....	50
4.2.3. Determinación de la calidad de RNA.....	52
4.2.4. Cuantificación de la concentración de RNA .....	52
4.2.5. Purificación RNAm .....	53
4.2.6. Cuantificación de RNAm .....	54
4.2.7. Síntesis de cDNA .....	54
4.2.8. Biblioteca de cDNA .....	56
4.2.9. Obtención de DNA plasmídico .....	57
4.2.10. PCR.....	58
4.2.11. Primer Secuenciación.....	59
4.2.12. Digestiones con enzimas de restricción <i>EcoRI</i> y <i>HindIII</i> .....	60
4.2.13. PCR de confirmación de amplificación para seleccionar clonas para segunda secuenciación.....	61
4.2.14. Segunda Secuenciación.....	62
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>63</b>
5.1. Extracción de RNA total por método de Trizol.....	63
5.2. Obtención de RNAm .....	69
5.3. Síntesis de cDNA .....	69
5.4. Biblioteca de cDNA .....	69
5.5. PCR.....	70
5.5.1. PCR a partir de DNA plasmídico de 64 clonas.....	70
5.5.2. PCR a partir de DNA plasmídico de 462 clonas.....	79



5.6. Primera Secuenciación.....	86
5.7. Digestión con enzimas de restricción .....	87
5.7.1. Digestión con <i>EcoRI</i> .....	87
5.7.2. Digestion con <i>HindIII</i> .....	90
5.8. PCR de confirmación de amplificación para seleccionar clonas a secuenciar ...	91
5.9. Segunda secuenciación .....	92
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>93</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA</b> .....	<b>94</b>

	Pág.	
<b>Tabla 3.1</b>	Diferentes compuestos identificados en la planta de chan	8
<b>Tabla 3.2</b>	Proteínas inducidas por ácido jasmónico en plantas	16
<b>Tabla 3.3</b>	Cultivos de plantas transgénicas que expresan genes de inhibidores de proteasas	27
<b>Tabla 3.4</b>	Clasificación de los Plaguicidas de acuerdo a su Toxicidad Aguda (Clasificación de acuerdo con el Sistema global armonizado. NOM-232-SSA1-2009)	40
<b>Tabla 3.5</b>	Metabolitos secundarios de plantas que regulan a insectos plaga	44
<b>Tabla 4.5</b>	Componentes para una reacción PCR en volumen de 20 µl	59
<b>Tabla 4.6</b>	Secuencia de adaptadores diseñados a partir de la cadena N-terminal del Inhibidor de proteasas de chan.	60
<b>Tabla 4.7</b>	Orden de muestras secuenciadas en LANGEBIO-CINVESTAV	61
<b>Tabla 4.8</b>	Componentes de las reacciones de digestión con EcoRI	61
<b>Tabla 4.9</b>	Componentes de las reacciones de digestión con <i>HindIII</i>	62
<b>Tabla 5.1</b>	Orden de muestras secuenciadas en LANGEBIO-CINVESTAV	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
<b>Figura 3.1</b>	Planta de chan ( <i>Hyptis suaveolens</i> )	6
<b>Figura 3.2</b>	Morfología de la inflorescencia de chan.	7
<b>Figura 3.3</b>	Vía de la síntesis de los Inhibidores de proteasas	15
<b>Figura 4.1</b>	Ubicación del Instituto Tecnológico de Roque	50
<b>Figura 5.1</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1% de muestras de RNA de semilla madura e inmadura de chan	64
<b>Figura 5.2</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1% de muestras de RNA de semilla madura de chan variedad violeta con testa precipitado con acetato de sodio 0.3 M, pH 5.6	65
<b>Figura 5.3</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1% de 32 muestras de RNA de semilla de chan variedad violeta	66
<b>Figura 5.4</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1% de 8 muestras de RNA de cotiledones de semilla de chan variedad violeta	67
<b>Figura 5.5</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1% de 16 muestras de RNA de cotiledones de semilla de chan variedad violeta	68
<b>Figura 5.6</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1% de 16 muestras de RNA de cotiledones de semilla de chan variedad violeta	69
<b>Figura 5.7</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de reacción de PCR con adaptadores individuales	73

<b>Figura 5.8</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de reacción de PCR con adaptadores individuales	74
<b>Figura 5.9</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 11 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 del kit del vector TOPO a una Tm de 51 °C	75
<b>Figura 5.10</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 6 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 del kit del vector TOPO a una Tm de 56 °C	76
<b>Figura 5.11</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 6 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 de T4 oligo a una Tm de 57 °C	77
<b>Figura 5.12</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 9 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 de T4 oligo a una Tm de 57 °C	78
<b>Figura 5.13</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 9 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 de T4 oligo a una Tm de 55 °C	79
<b>Figura 5.14</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 20 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 de T4 oligo a una Tm de 51	82

	°C	
<b>Figura 5.15</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de PCR de 4 reacciones a diferentes T <sub>m</sub> utilizando pool de adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3, HSTIF4), adaptador T7 de T4 oligo como reverse y DNA plasmídico de pool 17	83
<b>Figura 5.16</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 8 reacciones de PCR con adaptadores Forward individualizados (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) probados cada uno con los adaptadores reverse T7 de T4 oligo y T7 del kit del vector TOPO a una T <sub>m</sub> de 55 °C	84
<b>Figura 5.17</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 8 reacciones de PCR con adaptadores Forward individualizados (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) probados cada uno con los adaptadores reverse T7 de T4 oligo y T7 del kit del vector TOPO a una T <sub>m</sub> de 57 °C	85
<b>Figura 5.18</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de las 8 reacciones de PCR, se utilizó pool de adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4), como adaptador reverse se utilizó T7 de T4, se evaluaron 2 T <sub>m</sub> diferentes: 55 °C (figura 5.18 a) y 57 °C	86
<b>Figura 5.19</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de las digestiones de DNA plasmídico de las 69 muestras secuenciadas en LANGEBIO. CINVESTAV	90
<b>Figura 5.20</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de la digestión de DNA de las clonas 61, 63, 385, 386, 388 y 398 con <i>HindIII</i> )	91

<b>Figura 5.21</b>	Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de pool preseleccionados para seleccionar clonas a secuenciar en INMEGEN	92
--------------------	---	----

## RESUMEN

El chan (*Hyptis suaveolens*) también conocido como chía gorda es una planta cuyo centro de origen se extiende desde América central hasta Sudamérica. En México se localizaron tres variedades de chan: variedad violeta, variedad blanca y variedad blanca-violeta. En tiempos prehispánicos fue ampliamente utilizada debido a sus propiedades nutricionales, medicinales e insecticidas.

Actualmente su propiedad insecticida ha sido prioridad de estudio para diversos grupos de investigación a fin de evaluar su efecto contra insectos plaga de cultivos de importancia fundamental en la alimentación humana, en estudios previos, se caracterizó una proteína responsable del efecto insecticida debido a su actividad como Inhibidor de Proteasas (IPs), esta información fue base para el desarrollo de este trabajo cuyo objetivo fue clonar y caracterizar el gen que codifica el inhibidor de proteasas de chan, para lo cual se realizó extracción de RNA total a partir de cotiledones y semilla madura (completa) de chan variedad violeta, se realizó la purificación de RNAm y posteriormente la síntesis de cDNA a partir del cual mediante electroporación se transformaron cepas de *E. coli*, se realizó la purificación de DNA plasmídico de las bacterias transformadas, la identificación de clonas transformadas se realizó mediante PCR con el uso de los adaptadores degenerados que fueron diseñados a partir de la secuencia N-terminal del inhibidor de proteasas, finalmente los fragmentos amplificados se secuenciaron para determinar la identidad del gen que codifica para el inhibidor de proteasas.

Se logró obtener RNA total de mejor calidad en muestras que se obtuvieron a partir de cotiledones en comparación con las muestras obtenidas de semilla completa de chan, la integridad y pureza del material genético fue clave fundamental para obtener cDNA necesario para los eventos de transformación, se lograron obtener 64 clonas en un primer evento de transformación y 462 clonas en un segundo evento de transformación. En los resultados de secuenciación de las clonas seleccionadas se obtuvieron secuencias correspondientes a fragmentos de vectores de clonación.

**ABSTRACT**

The chan (*Hyptis suaveolens*) also known as “chía gorda” is a plant whose center of origin extends from Central America to South America. In Mexico, three chan varieties were found: violet (wild), white (domesticated) and white-violet (semi domesticated) varieties. In prehispanic times it was widely used due to its nutritional, medicinal and insecticidal properties.

Currently, its insecticide property has been a study priority for several research groups in order to evaluate its effect against insect pests of crops of fundamental importance in human nutrition, in previous studies, a protein responsible for the insecticidal effect was characterized due to its activity as Protease Inhibitor (IPs), this information was the basis for the development of this work whose objective was to clone and characterize the gene that codes for the chan protease inhibitor, for which extraction of total RNA was carried out from cotyledons and mature seed (complete) of chan violet variety, the purification of mRNA was carried out and subsequently the cDNA synthesis from which *E. coli* strains were transformed by electroporation; purification of plasmid DNA from the transformed bacteria was performed, the identification of transformed clones was carried out by PCR with the use of degenerate primers that were designed from the N-terminal sequence of the protease inhibitor, finally the amplified fragments were sequenced to determine the identity of the gene encoding the protease inhibitor.

It was possible to obtain total RNA of better quality in samples that were obtained from cotyledons in comparison with samples in which were worked with complete seed of chan, the integrity and purity of the genetic material was fundamental key to obtain cDNA necessary for transformation events, it was possible to obtain 64 clones in a first transformation event and 462 clones in a second transformation event. Sequences corresponding to fragments of cloning vectors were obtained in the sequencing results of the selected clones.



## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades más importantes del hombre que además de cumplir con el objetivo básico de proveer la suficiente demanda de alimentos y otros productos agrícolas, juega un papel importante en la preservación de la diversidad biológica. Sin embargo, resulta ser una actividad que hace el mayor uso de los recursos naturales y contribuye de manera significativa al cambio climático a nivel mundial, al agotamiento de las aguas subterráneas y la erosión de los suelos (Banco Mundial, 2008).

La reducción de la biodiversidad de los agroecosistemas forma parte de las ya destacadas consecuencias ecológicas de la agricultura debido a la práctica del monocultivo y la contaminación por el uso irresponsable de agroquímicos causando la inestabilidad de los mismos, manifestándose principalmente en una mayor incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos (Zavaleta y Mejía, 1994) debido a que estas sustancias químicas conocidas como plaguicidas son empleadas en el control de insectos que afectan la producción, almacenamiento y transporte o comercialización de los alimentos y productos agrícolas (FAO, 2003).

Estas sustancias químicas al entrar en contacto con el ambiente se absorben y adsorben en suelos y plantas y a la vez son dispersados por el aire y agua a grandes distancias (López-Geta *et al.*, 1992) siendo de esta manera los insecticidas, como parte de estas sustancias químicas, los productos más utilizados como herramientas agrícolas asociados con el daño ambiental (Devine *et al.*, 2007).

La problemática desarrollada por la agricultura intensiva y los problemas de seguridad y salud pública relacionados a la fabricación y uso de agroquímicos ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas para tratar plagas y enfermedades (Zavaleta y Mejía, 1994).

Como consecuencia de la problemática descrita anteriormente surge el interés por el control ecológico, definido como: “cualquier forma de control que reduce la incidencia o severidad de la enfermedad, o incrementa la producción del cultivo, aun cuando no

haya aparentemente un efecto significativo en la reducción de la enfermedad o inóculo, y su impacto nocivo en el ambiente sea mínimo o nulo” (Zavaleta y Mejía, 1994).

Nuevas alternativas de control de plagas se han identificado en una amplia variedad de plantas que tienen la capacidad de producir metabolitos secundarios tóxicos contra patógenos y plagas, dicho potencial se puede aprovechar rotando o asociando este tipo de cultivos con aquellos de interés o en su caso incorporar sus residuos al suelo. Otra alternativa es aprovechar algunos tejidos vegetales para extractos o infusiones (Verduzco *et al.*, 1996).

No obstante algunas plantas interactúan con organismos benéficos y patógenos, induciendo el desarrollo de respuestas adaptativas para integrar las diferentes señales que reciben (Pozo *et al.*, 2004). La compleja resistencia a plagas y patógenos está basada en la acción combinada de varios factores debido principalmente a las características constitutivas preexistentes e inducidas en la planta (Blanco y Aguirre, 2002) cuyas vías de señalización permiten afinar el mecanismo de defensa más adecuado (Pieterse y Dicke, 2007). Algunas características constitutivas son, por ejemplo, la producción de metabolitos, proteínas y acumulación de calosa y lignina (Glazebrook, 2005) además de algunos inhibidores de proteasas que afectan a insectos (Howe, 2004) las cuales son proteínas preformadas que además de ser mecanismos constitutivos de defensa pueden formar parte de la cascada de respuesta ante patógenos (Blanco y Aguirre, 2002).

En los mecanismos de defensa inducidos que se producen al momento del ataque de alguna plaga o patógeno se encuentran las Especies Reactivas de Oxígeno (ROS) (Levine *et al.*, 1994), cambios en los polímeros de la pared celular y síntesis de compuestos de bajo peso molecular como fitoalexinas (Dixon, 1986), también se encuentra la producción de compuestos como proteínas relacionadas con patogénesis (PR) con actividad antimicrobiana (Van Poecke y Dicke, 2004).

Las proteínas protectoras constitutivas específicas de tejido más ampliamente estudiadas son los inhibidores de enzimas hidrolíticas, principalmente de tipo proteasas y amilasas. Estos inhibidores, los cuales están frecuentemente presentes en altas cantidades, se pueden encontrar como proteínas de reserva presentes en plantas, animales y microorganismos. En las plantas los inhibidores de proteasas (IPs) representan una forma de proteína de almacenamiento (Mosolov *et al.*, 2001) y se pueden encontrar en bulbos de papa o de otras plantas, en secreciones como la goma arábica, en látex y en tejido vegetativo (Xavier-Filho y Campos, 1989) de igual manera están involucrados en los mecanismos de defensa contra plagas y enfermedades (Parde *et al.*, 2010).

Los inhibidores de proteasas (IPs) son proteínas de bajo peso molecular, que se dividen en 67 familias en base a su secuencia de aminoácidos o el tipo de proteasa con la cual interactúan ya sea de tipo serín, cisteín, aspártico, metalo, glutámico y treonín proteasa (Rawlings *et al.*, 2004).

La habilidad de los IPs para interferir con el crecimiento y desarrollo de insectos se debe a su capacidad de impedir a las enzimas del insecto el acceso al substrato, reduciendo la disponibilidad de aminoácidos de las proteínas ingeridas (Parde *et al.*, 2010).

Los IPs comparten la propiedad de formar complejos reversibles proteína-proteína con proteasas animales y de algunas plantas, ocasionando la inhibición competitiva de sus funciones catalíticas (Richardson, 1991).

La mayoría de los estudios que se han realizado sobre los IPs de plantas se han llevado a cabo en plantas cultivadas, debido posiblemente a la importancia alimenticia que se tiene en estas especies de cultivos. Por esto, la mayoría de los IPs caracterizados son de las familias de plantas *Gramineae (Poaceae)*, *Leguminoceae (Fabaceae)* y *Solanaceae* (Carlini y Grossi-de-Sá, 2002).

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

- Obtener un banco de cDNA a partir de semillas de chan (*Hyptis suaveolens*) para la identificación del gen del inhibidor de proteasas (IPs).

### 2.2. Objetivos específicos

- Obtener RNA total a partir de semilla completa de chan
- Obtener RNA total a partir de cotiledones de semilla de chan
- Generar una genoteca de cDNA de semillas de chan
- Identificar en la genoteca el gen del inhibidor de proteasas

### 2.3. Hipótesis

La obtención de RNAm de calidad permitirá generar un banco de cDNA que incluya el transcrito del gen del inhibidor de proteasas de semillas de chan.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Generalidades del *Hyptis suaveolens*

##### 3.1.1. Origen y distribución geográfica del chan

El chan (*Hyptis suaveolens*), también conocido como chana ó chía gorda (Colima), chía de Colima (Jalisco y Colima) (Duno, 2010), cuyo centro de origen se extiende desde América central hasta Sudamérica (BDMTM, 2009). Es una especie perteneciente al género *Hyptis* de la familia *Lamiaceae* dentro de la cual se engloban alrededor de 236 géneros y 7137 especies en todo el mundo (Martínez-Gordillo *et al.*, 2013; Aluri, *et al.* 1997), se encuentra distribuida en los trópicos, subtrópicos y lugares templados del mundo en climas cálidos y semicálidos (BDMTM, 2009; INIFAP,



**Figura 3.1** Planta de chan (*Hyptis suaveolens*) (1995). En México, la familia *Lamiaceae* comprende aproximadamente 32 géneros y 591 especies de las cuales los géneros más destacados y abundantes son el género *Salvia* e *Hyptis*, a los cuales corresponden la chía y el chan (Figura 3.1) (Harley y Pastore, 2012), esté último se encuentra distribuido en los estados de Chiapas, Colima, Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Sonora, Sinaloa, Veracruz y Yucatán principalmente (CONABIO, 2017; Villaseñor y Espinosa, 1998).

En el estado de Colima se localizaron tres formas biológicas de *H. suaveolens* (Harlan, 1992): la que crece dentro de la vegetación natural o forma silvestre (variedad violeta), una forma arvense (variedad híbrida) sembrada por el agricultor aunque también se le encuentra poco frecuente en vegetación natural, y la variedad domesticada (variedad blanca) sólo presente en campos cultivados (Pool, 2009).

### 3.1.2. Morfología del chan

El chan como comúnmente se conoce, es una planta que puede llegar hasta 2 metros de altura, de hojas simples y opuestas de aproximadamente 2.5 a 10 cm de largo y 1.36 a 6.5 cm de ancho, el haz es verde oscuro y el envés verde claro, ambas superficies son libres de tricomas y rugosas. Se caracterizan por tener flores blancas (cultivada) o púrpura (silvestre). El pecíolo mide 1.5 a 8.5 cm de largo. Las semillas inmaduras son verdes, al madurar cambian a color blanco o café oscuro (variedad blanca o variedad violeta respectivamente)



**Figura 3.2.** Morfología de la inflorescencia de chan

de 0.4-0.7 cm de largo, normalmente se producen de 1-2 semillas por fruto (Pool, 2009). En el Estado de Colima, México, se cultiva una variedad que produce una flor blanca (variedad “Blanca”) cuyas semillas maduras son color blanco; es única en la región originaria del municipio de Ixtlahuacán y es necesario llevar un control en el cultivo de la misma, dado que esta no crece de manera silvestre como las otras variedades del género *Hyptis* tal es el caso de la variedad que produce una flor azulada (Figura 3.2) y cuya semilla es de color negra (Beltrán y Romero, 2003), la mayoría de las especies del género *Hyptis* se caracterizan por ser altamente aromáticas (Malele, 2003).

Es una planta que requiere fotoperiodos largos y temperaturas que oscilan entre 20 y 45 °C para poder germinar (CONABIO, 2017).

**Tabla 3.1.** Diferentes compuestos identificados en la planta de chan (BDMTM, 2009)

<b>ESTRUCTURA</b>	<b>TIPO DE COMPUESTO</b>	<b>NOMBRE DEL COMPUESTO IDENTIFICADO</b>
Ramas	Monoterpenos	Borneol
		camfeno
		alcanfor
		1-8-cineol
		ciclohexenol
		alfa-cimeno
		alfa felandreno
		limoneno
		linalol
		mirceno
		cis y trans-beta-ocimeno
		alfa-pineno
		terpinén-4-ol
		alfa y gama-terpineno
		alfa-terpineol
	alfa-terpinoleno y tujano;	
	octahidro-dimetil-azuleno	
	sesquiterpenos	beta-bourboneno
		alfa-cadinoll
		alfa cariofileno
decahidro-trimetil-ciclopropil (E),		
azuleno		
elemeno		
germacreno C		
alfa-guaieno		
alfa-humuleno		
Raiz	triterpenos	alfa y beta-amirina
		ácido betulínico
		friedelín
		ácido 3-beta-hidroxi-lup-12-en-28-oico
		lupeol
		ácidos oleanólico
		alfa-pelto-boykinólico
		3-beta-hidroxi-upenólico

		ursólico
	esteroles	campesterol
		daucosterol y beta-sitosterol
hojas	monoterpenos	1-8-cineol, felandreno
		alfa y beta-pineno
	esteroles	campesterol
		fucosterol

### 3.1.3. Usos del chan

El chan actualmente es catalogado como un “pseudocereal”, se encuentra entre las plantas silvestres sometidas a proceso de domesticación ya que desde tiempos prehispánicos se le ha dado importancia al cultivo por las propiedades atribuidas a su uso y consumo (Harlan, 1992), la semilla ha sido objeto de estudio debido a que se le atribuye la propiedad de tener resistencia contra insectos y hongos, así como un elevado contenido nutricional y medicinal (Fatope *et al.*, 1995).

El chan se consume tradicionalmente como una bebida refrescante edulcorada con piloncillo conocida como “bate”; también se consume como agua fresca y en paletas, en algunos lugares se agrega al maíz para hacer pinole al cual le proporciona un mejor sabor y no causa problemas de acidez en el estómago, también se usa como alimento para bajar de peso (Malele, 2003). La harina de la semilla mezclada con sorgo o harina de trigo es usada para hacer pastelillos horneados, galletas y otras preparaciones (Vergara-Santana y Madrigal-Ambriz, 2008).

En el Estado de Oaxaca a esta planta se le emplea como desinfectante, en el estado de Michoacán se consume la infusión de raíz para el tratamiento de la diarrea al igual que en los estados de Yucatán y Veracruz en donde se consume la infusión de hoja para dicho fin (BDMTM, 2009).



### 3.1.4. Estudios realizados en el género *Hyptis suaveolens*

Diversos estudios se han realizado para conocer científicamente las propiedades del chan incluyendo sus propiedades insecticidas, Vázquez-Galindo *et al.* (2010) realizaron un estudio de análisis químico en semilla de dos variedades de chan que son la variedad de flor blanca y la variedad de flor violeta, en la composición química de las dos variedades resaltan el contenido de extracto etéreo (17%), fibra cruda (29 y 28%) y los carbohidratos cuantificados como extracto libre de nitrógeno (34%), la determinación del porcentaje de mucilago por el método de Gowda (1984) indicó que la variedad violeta tuvo un valor de 15.94% menor a la cantidad encontrada en la variedad blanca que fue de 19.51% (Vázquez-Galindo *et al.*, 2010).

Witayapan *et al.*, (2007) reportaron que los componentes principales del aceite de chan son el abineno,  $\alpha$ -terpinoleno y 1-8 (Tabla 3.1) también encontraron que posee actividad antioxidante, midieron actividad antifúngica comparando su actividad contra la actividad del ácido bórico, ácido benzoico, ácido salicílico y fenol ante el crecimiento del hongo *Trichophyton mentagrophytes*, observaron que el aceite de chan inhibió hasta un 20% el crecimiento del hongo en comparación con el 6% de inhibición del ácido bórico y 2% del ácido benzoico, observaron que cuando se incrementó la concentración de aceite a un 30% no hubo crecimiento del microorganismo.

Otros trabajos realizados en base a los extractos de hoja fresca se han reportado por Iloba y Ekrakene (2006) quienes usaron concentraciones de alimento para insectos de 1.5 g, 2.5 g y 3.5 g/ 80 g de extractos de hojas de *Hyptis suaveolens*, *Ocimum gratissimum* y *Azadiracta indica* para evaluar su efecto insecticida contra *Callosobruchus maculatus* y *Sitophilus zeamais*, obtuvieron una mortalidad promedio de 94.3 % cuando se usó la concentración más baja de *H. suaveolens*, siendo éste el mejor de los tres extractos evaluados para control de los insectos plaga del estudio.

Otro trabajo para evaluar el efecto insecticida del chan fue realizado por Keita *et al.* (2006), trabajaron con concentraciones de 1.25, 2.5, 5 y 10 % v/v de la semilla de chan contra larvas del segundo instar de *Plutella xylostella*, encontrando que a la concentración más alta (10%) evaluada a las 24 y 48 horas había mortalidad del 63 y 82% de las larvas respectivamente.

En cuanto a las semillas de chan, se ha caracterizado el inhibidor de proteasas en un trabajo previo realizado por Aguirre *et al.* (2004), donde se encontró que la proteína tiene estabilidad térmica a la desnaturalización hasta los 80 °C y estabilidad a un pH de 3.4 a 7. La actividad inhibitoria se evaluó contra enzimas digestivas del insecto plaga de maíz *Prostephanus truncatus* en donde se observó casi el 90% de actividad, además, se obtuvo la secuencia aminoacídica del extremo N-terminal del inhibidor, (RGWGSDEKKDREEXEQQ).

### **3.2. Mecanismos de defensa de las plantas**

Las plantas durante su desarrollo están obligadas a responder a las diferentes condiciones de su entorno cambiante de manera constante emitiendo respuestas a su ambiente biótico y abiótico lo cual, les permite realizar una mejor y eficiente distribución de sus recursos para crecer, reproducirse y defenderse (Vivanco *et al.*, 2005).

Algunos de los factores más importantes que influyen de manera considerable a la capacidad de respuesta de las plantas ante las condiciones presentes principalmente al ataque de patógenos pueden clasificarse en factores intrínsecos y extrínsecos; dentro de los factores intrínsecos encontramos la constitución genotípica y fenotípica de la especie, y dentro de los factores extrínsecos encontramos factores como tiempo de exposición al ataque o condiciones de desarrollo de la planta (Rouached *et al.*, 2014).

De manera general, la capacidad de respuesta se debe principalmente a la producción de metabolitos secundarios tóxicos permitiéndoles actuar como antagonistas de diversas plagas y enfermedades que las asechan, dichos metabolitos han sido blanco de aprovechamiento y explotación por el hombre ya sea para producir infusiones o extractos a partir de los tejidos en que se producen en mayor cantidad, dichos metabolitos son empleados en el control de plagas en especies diferentes a las que son sintetizados (Montes *et al.*, 1997).

La producción de los metabolitos como mecanismo de defensa en las plantas se ve mediado por respuestas constitutivas o inducidas (Zavala, 2010).

**3.2.1. Respuesta constitutiva:** también llamada defensa pasiva, preformada o preexistente, es un mecanismo de defensa que se encuentra activo en todo momento de desarrollo de la planta por lo que comprenden la adaptadora línea de defensa que el patógeno debe vencer para causar infección, sin embargo, este mecanismo de defensa resulta costoso ya que los recursos invertidos en este tipo de defensas podrían ser aprovechados y destinados para otras funciones vitales como por ejemplo el crecimiento y la reproducción (Pdipas, 2003), dentro de este mecanismo de defensa encontramos:

**3.2.1.1. Barreras estructurales o físicas:** dentro de las cuales se engloban el desarrollo de estructuras como lo son tricomas o espinas, cera cuticular, grosor de la pared celular, suberificación, tamaño y comportamiento de los estomas, etc. (Zavala, 2010).

**3.2.1.2. Barreras bioquímicas preformadas:** Las barreras bioquímicas preformadas como se mencionó involucran la síntesis de aquellos compuestos químicos que son liberados de la célula vegetal durante los procesos de invasión por el patógeno como pueden ser inhibidores enzimáticos secretados por la planta, exudados radiculares,

inhibidores de enzimas presentes en las células, deficiencia en nutrientes esenciales para el parásito, secreción de toxinas, etc. (Pdipas, 2003).

**3.2.2. Respuestas inducidas:** Se presentan cuando se detecta el ataque de algún insecto y los recursos son invertidos y dirigidos más eficientemente iniciando su síntesis, ya que las barreras preexistentes fueron vencidas por el patógeno. En este caso la resistencia de la planta se basa en la formación de uno o más tipos de estructuras que tienen más o menos una cierta efectividad para contrarrestar las invasiones posteriores de los patógenos (Pdipas, 2003).

**3.2.2.1. Mecanismos de defensa físicos:** puede ser la inducción de formación de estructuras físicas en el sitio de daño como es la formación de capas de corcho, formación de capas de abscisión, obstrucción de los tejidos vasculares (evitar flujo de nutrientes), depósito de sustancias gomosas, etc. (Cruz, Hernández y Rivas, 2006).

**3.2.2.2. Mecanismos de defensa bioquímicos:** comprende la síntesis de compuestos fenólicos, fitoalexinas, síntesis de proteínas y enzimas en la periferia del daño, inhibidores de las proteasas digestivas del insecto, etc. (Cruz, Hernández y Rivas, 2006), si bien la síntesis de dichos compuestos no afecta al atacante pueden ser empleados como atrayentes de otros insectos que parasitan a los depredadores y de esta manera disminuir el efecto del ataque (Zavala, 2010).

### **3.3. Inhibidores de proteasas**

Los IP son “proteínas con gran afinidad por enzimas proteolíticas, capaces de inhibir fuerte y específicamente su actividad enzimática” (Richardson, 1991). Los inhibidores de proteasas (IPs) se encuentran en múltiples formas, en numerosos tejidos, plantas y microorganismos constituyendo una herramienta proteica importante para el control de la actividad proteolítica de sus proteasas blanco (Valueva y Mosolov, 2004). Los IPs se encuentran involucrados en la mayoría de los procesos fisiológicos tanto normales como patológicos debido a la regulación de la activación proteolítica que

median así como a la activación de coenzimas y liberación de polipéptidos biológicamente activos (Laskowski, 1986), debido a ello se ha sugerido que pueden ser empleados en el área médica para el tratamiento de algunos padecimientos como coagulación sanguínea, hemorragias, inflamación y cáncer (Oliva *et al.*, 2000; García *et al.*, 2002).

La nomenclatura empleada para el nombramiento de los IPs se basa en la clasificación realizada por Rawling y Barret (2004) incluida en la base de datos MEROPS, la cual contiene información sobre la clasificación de peptidasas, basada en la similitud de secuencias de aminoácidos, en dicha base de datos actualmente se considera que son 48 familias, en base a su estructura tridimensional de las cuales 31 familias se asignaron a 26 clanes, con esta clasificación se permite que la mayoría de los IPs pertenezca una sola familia y aun clan único, actualmente en la base de datos se tiene un registro de 53 familias y 32 clanes de IPs (Rawlings, 2016).

Los IPs presentan una gran variedad de aminoácidos en sus sitio reactivo impidiendo distinguir aquellos supuestos IP que no presenten actividad inhibitoria (Forsyth *et al.*, 2003).

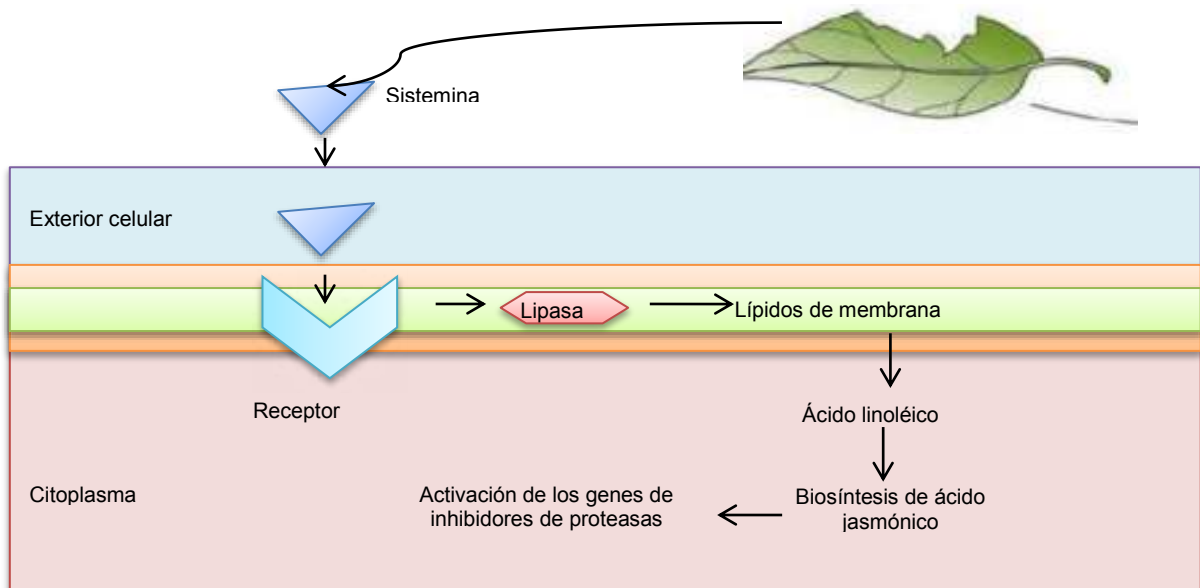
### **3.3.1. Inhibidores de proteasas en plantas**

Las plantas han podido evolucionar a tal grado que tienen la capacidad de responder al ataque de insectos que al momento de enfocar su alimentación a un cultivo en específico se convierten en plaga ocasionando la reducción en el rendimiento del mismo, dicha capacidad consiste en poder sintetizar compuestos tóxicos o proteínas que reducen o detienen el ataque de los insectos como la síntesis de inhibidores de proteasas digestivas, la cual está regulada por la síntesis de ácido jasmónico (Zavala, 2010), estos inhibidores reducen la actividad de las enzimas digestivas de los insectos, como las proteasas, interfiriendo en la unión al sustrato evitando así la disponibilidad de aminoácidos de las proteínas ingeridas repercutiendo en el

crecimiento y desarrollo de los insectos (Voet *et al.*, 2007). En plantas, los IPs se encuentran como proteínas de reserva en estructuras de almacenamiento como tubérculos y semillas (Mosolov *et al.*, 2001), se han reportado más de 100 especies de plantas en las cuales se han identificado los IPs (Kessler *et al.*, 2002), los cuales se encuentran en las partes aéreas y tejidos de reserva en los que constituyen entre 1 a 10% del total de las proteínas de almacenamiento (De Leo *et al.*, 2002; Ryan, 1990).

### 3.3.2. Síntesis de los inhibidores de proteasas

La inducción de los inhibidores de proteasas por consecuencia de heridas ha sido estudiada cada vez más a detalle (Ryan 1990) y se ha propuesto que, en la ruta de señalización para producir estos componentes, la herida activa una fosfolipólisis específica en la membrana plasmática liberando al citoplasma los ácidos linoléico y linolénico llevando así la activación de la ruta del ácido jasmónico que a su vez conduce a la activación y síntesis de dichos inhibidores (Figura 3.3) (Farmer y Ryan 1992).



**Figura 3.3.** Vía de la síntesis de los Inhibidores de proteasas

Esta hormona vegetal está relacionada con señales químicas que inducen el mecanismo de defensa en las plantas como respuesta al ataque de insectos y al daño mecánico (Tabla 3.2), también se encuentran involucradas en otras defensas como resistencia a pulgones y desarrollo de tricomas al igual que de desarrolla otras respuestas en la planta como floración y senescencia, la síntesis de ácido jasmónico se lleva a cabo en distintos lugares de la célula mediante la ruta de los octadecanoides y distintos proceso enzimáticos (Zavala, 2010).

**Tabla 3.2.** Proteínas inducidas por ácido jasmónico en plantas (Camarena-Gutierrez, 2002).

**Funciones relacionadas a la defensa.**

Inhibidores I y II de la serina proteasa  
 Inhibidor de la cisteina proteasa  
 Inhibidor del aspártico proteasa  
 Fenol oxidasaThioninas  
 Proteína inactivante de ribosomas (JIP60)  
 Enzima berberina  
 Citocromo P450s en la vía de la sanguinarina  
 Lipasas  
 Chalcona sintetasa, dehidroflavonol reductasa  
 HMG-CoA reductasa

**Funciones asociadas como señales de vías metabólicas**

Prosistemina  
 Lipoxigenasas  
 Calmodulina  
 Nucleotido difosfato kinasa  
 Proteínas con funciones degradativas  
 Leucina aminopeptidasa  
 Carboxipeptidasa Aspartico proteasa  
 Cisteina proteasa  
 Proteína similar a ubiquitina

**Otras funciones**

Proteína ligadora de acil-CoA  
 Treonina deaminasa

Proteínas de almacenamiento  
 Pared celular invertasa  
 Proteínas de almacenamiento en semillas (napina, cruciferina)  
 Similar a nodulina, proteínas asociadas a mirosinasa

### 3.3.3. Clasificación de los inhibidores de proteasas

Los IPs han sido clasificados en base al tipo de proteasa que inhiben: serin, cistein, aspártico, metalo, glutámico y treonín proteasa (Laskowski *et al.*, 2003). Actualmente los IP se han agrupado en familias, subfamilias y en diferentes clanes en base a la relación de secuencia y en base a la relación de proteasas inhibidas con el plegamiento de los dominios estructurales, ya que éstos pueden también contener inhibidores activos contra otras clases de proteasas (Rawlings *et al.*, 2004). Se han clasificado 48 familias de IP de las cuales 31 han sido asignadas a 36 clanes en base a su estructura terciaria (Trexler *et al.*, 2002).

### 3.3.4. Familias de IPs más comunes

**3.3.4.1. Familia serpin (SERine Proteinase INhibitors):** Es la más grande y extendida familia de IPs, tienen un peso molecular de entre 39-43 kDa. Los genes de serpinas han sido identificados en casi todos los tipos de microorganismos, incluidos los virus, bacterias (Law *et al.*, 2006) así como en plantas y animales, en *Arabidopsis thaliana* se identificaron 29 genes de serpinas (Silverman *et al.*, 2001), también se ha demostrado que la serpina 1 de *Arabidopsis* actúa *in vivo* sobre metacaspasas jugando así un rol importante en los mecanismos de defensa de las plantas (Vercammen *et al.*, 2006), se han purificado y caracterizado serpinas a partir de semillas y cereales (Tsybina *et al.*, 2004), así como de polen y exudados de floema de *Cucurbita máxima* (Wieczorek *et al.*, 1985; Tsybina *et al.*, 2004). Serpinas de cebada pueden inhibir tripsina y quimotripsina en el mismo sitio activo (Huntington *et al.*, 2000), también se ha reportado su actividad en cisteín proteasas como la papaína (Irving *et al.*, 2002).



Las serpinas de plantas pueden tener un papel en las complejas vías involucradas en la regulación de la respuesta de defensa contra el organismo invasor (Ley *et al.*, 2006).

#### **3.3.4.2. Familia de inhibidores Bowman Birk (BBIs).**

La familia es nombrada después de que se identificó y caracterizó el inhibidor miembro de la misma por Bowman y Birk en semilla de soya (*Glycine max*) (Bowman, 1946), el cual se ha demostrado tiene capacidad para inhibir tripsina y quimotripsina siendo particularmente eficaz en la supresión de la carcinogénesis en una amplia gama de sistemas *in vivo* e *in vitro* (Kennedy, 1998).

Los inhibidores de esta familia se encuentran generalmente en semillas, pero también se induce su síntesis por heridas en hojas (Eckelkamphan, 1993), se han identificado en leguminosas y cereales (Laing y McManus, 2002).

Los inhibidores de dicotiledóneas constan de una sola cadena polipeptídica con un peso molecular de aproximadamente 8 kDa, actúan de manera independiente pero simultáneamente con dos proteasas que pueden ser iguales o diferentes (Raj *et al.*, 2002). El sitio reactivo en estos inhibidores es generalmente específico para tripsina, quimiotripsina y elastasa (Qi *et al.*, 2005). El sitio activo de estos inhibidores es estabilizado por la presencia de 7 enlaces disulfuro (Lin *et al.*, 1993).

Los inhibidores de monocotiledóneas son de dos tipos: un grupo consta de un polipéptido de cadena sencilla con peso molecular de aproximadamente 8 kDa y poseen un sitio reactivo simple, el segundo tipo tiene un peso molecular de aproximadamente 16 kDa con dos sitios reactivos (Prakash *et al.*, 1996), en el caso de los inhibidores de 16 kDa se ha encontrado que la afinidad relativa de unión de proteasas es alterado cuando uno de los sitios se encuentra ocupado como es el caso del inhibidor de cacahuate (*Arachis hypogoea*) que no muestra actividad

contra quimotripsina cuando ha sido previamente ocupado por tripsina y lo mismo ocurre ante tripsina cuando ha sido previamente ocupado por quimotripsina (Tur *et al.*, 1972).

Esta familia de inhibidores se caracteriza por tener puentes disulfuro únicos que se encuentran vinculados a nueve residuos adoptando así una conformación regular característica (Lee y Lin, 1995).

Se ha observado que inhibidores de esta familia causan hipertrofia e hiperplasia en roedores y pájaros, así como también aumento en la secreción de enzimas digestivas conduciendo a una pérdida de proteínas endógenas ricas en azufre como lo es la tripsina, quimotripsina reduciendo su crecimiento debido a que las proteínas de semillas de leguminosas son deficientes en aminoácidos azufrados (Lajolo y Genovese, 2002).

**3.3.4.3. Familia Kunitz:** Los miembros de esta familia son principalmente activos contra serín proteasas, pero puede también inhibir otras proteasas (Laing y McManus, 2002), suelen tener peso molecular de aproximadamente 18 - 22 kDa, estos inhibidores en su mayoría se caracterizan por tener dos puentes disulfuro y un sitio reactivo (Park *et al.*, 2005). Debido a que no todos los inhibidores de esta familia poseen estas características se propuso una clasificación nueva según el contenido de cisteínas (Oliva *et al.*, 2010) dividiéndolos en cuatro grupos que son: los que no tienen Cys, los que tienen una sola Cys, los que poseen dos (inhibidores de *Bauhinia* tipo II) y aquellos con más de dos residuos de Cys (inhibidores de *Bauhinia* tipo I), que participan en el puente disulfuro Cys-Cys (Rawlings *et al.*, 2016).

Los inhibidores de esta familia son generalizados en las plantas y han sido descritas en leguminosas, cereales y en especies de solanáceas (Ishikawa *et al.*, 1994), se ha encontrado un inhibidor de tripsina con actividad antifúngica en raíces de ginseng (*Pseudostellaria pounce heterophylla*) (Wang y Ng 2006). Los IP tipo Kunitz también

son producidos en condiciones de estrés, como se ha comprobado en los tubérculos de papa (*Solannum tuberosum*) (Ledoigt *et al.*, 2006).

Estos inhibidores son canónicos y forman un complejo de alta afinidad con la proteasa blanco, (Ritonja *et al.*, 1990).

**3.3.4.4. Familia Squash:** los inhibidores de esta familia se han descrito únicamente en plantas, esta familia es activa contra serin proteasas. Esta familia consta de cadena polipeptídica sencilla de entre 28 y 30 aminoácidos con un peso molecular de 3-3.5 kDa (Heitz *et al.*, 2001). Los miembros de esta familia han sido descritos a partir de estudios realizados en cucurbitáceas (Felizmenio *et al.*, 2001). En 2001 se reportó que siete inhibidores de serin proteasa pertenecientes a esta familia se aislaron y caracterizaron de semillas silvestres de pepino (*Cyclanthera pedata*) (Kuroda *et al.*, 2001) y en 2006 a partir de semillas de calabaza (*Benincasa hispida*) (Atiwetin *et al.*, 2006). Estos inhibidores tienen tres puentes disulfuro y se pliegan en una novedosa estructura conocida como “knottin” (Hara *et al.*, 1989).

**3.3.4.5. Familia de inhibidores de cereales tripsina/ $\alpha$ -amilasa:** Esta familia tiene actividad inhibitoria de serin proteasa y/o  $\alpha$ -amilasa, por ejemplo, los inhibidores de cebada y centeno tienen actividad contra tripsina (Odani *et al.*, 1983). La actividad en tripsina consta de una sola cadena polipeptídica que contiene cinco enlaces disulfuro con un peso molecular de aproximadamente 13 kDa (Christeller y Liang, 2005).

**3.3.4.6. Familia de inhibidores de Mostaza (Sinapis) (MSI):** Estos inhibidores presentan actividad con tripsinas, tienen un peso molecular de aproximadamente 7 kDa, se encuentran en la familia Cruciferae (Mc Manus, 2002). Estos inhibidores se expresan en semillas y además, se inducen como respuesta a una herida (De Leo *et al.*, 2001), se han aislado y caracterizado a partir de mostaza blanca (*Sinapis alba*) y canola (*Brassica napus*) (Volpicella *et al.*, 2000).

**3.3.4.7. Familia de inhibidores de papa tipo I:** Se han descrito principalmente a partir de tubérculos de papa y tomate (Ryan y Balls, 1962). Estos inhibidores tienen un peso molecular de aproximadamente 8 kDa y generalmente son monoméricos, por lo general carecen de puentes disulfuro (Cai *et al.*, 1995). Se caracterizan por ser activos contra quimotripsina y débiles contra tripsina (Plunkett *et al.*, 1982)

**3.3.4.8. Familia de inhibidores de papa tipo II:** Se han reportado a partir de miembros de familia *Solanaceae* en estructuras como hojas, flores y frutos (Christeller y Liang, 2005), los inhibidores de esta familia han sido reportados para inhibir la elastasa, tripsina, Pronasa E y subtilisina (Antcheva *et al.*, 1996). Pautot *et al.*, en 1991 mostraron que al infectar hojas de tomate susceptible y resistente a *Pseudomonas syringae* pv *tomato* se indujo la acumulación de RNAm de IPs de papa tipo I y II, sin embargo se observó que la acumulación de los inhibidores de papa tipo II fue más rápida que los de tipo I en plantas resistentes.

**3.3.4.9. Familia de inhibidores de cisteín proteasas (CYS):** También conocidos como la superfamilia de cistatínas, se compone de varias subfamilias e incluye proteínas que están relacionadas en la estructura y función de un inhibidor de cisteín proteasa descrita en la clara de huevo y se conoce como "chicken eggwhite cystatin" (Colella *et al.*, 1989). Están ampliamente distribuidos en plantas, animales y microorganismos y estos inhibidores se agrupan en cuatro subfamilias basado en similitud de secuencias, de peso molecular y ausencia de enlaces disulfuro (Turk y Bode, 1991). Algunas subfamilias son las siguientes:

- **Familia-1 (stefinas):** son una familia de aproximadamente 11 kDa, están generalmente presentes en el citosol y están desprovistos de cualquier carbohidrato y grupos disulfuro (Stato *et al.*, 1990).

- **Familia -2 (cistatínas):** Estos inhibidores consisten de proteínas con 120 a 126 aminoácidos y el peso molecular es de aproximadamente de 13.4 – 14.4 kDa, estos inhibidores contienen dos puentes disulfuro y están desprovistos de grupo carbohidrato (Grzonka *et al.*, 2001).

Esta familia contiene una secuencia conservada del tripeptido (Phe-Ala-Val) cerca del extremo C-terminal y una secuencia conservada dipeptido (Phe-Tyr) cerca del N-terminal siendo secuencias importantes para su actividad ante proteasas (Turk *et al.*, 1997).

- **Familia-3 (kininogeno):** Estos inhibidores son glicoproteínas y son de tres tipos diferentes: Kininogenos de alto peso molecular (HPW) de aproximadamente 120 kDa, kininogenos de bajo peso molecular (LMW) con peso molecular de aproximadamente 60 a 80 kDa y un tercer tipo de kininogenos con peso molecular aproximado de 68 kDa. Estos inhibidores son secretados, por lo que su interés médico se enfoca en su rol clave en la coagulación de la sangre (Otto y Schirmeister, 1997).
- **Familia-4 (fitosistatinas):** Esta familia incluye casi todos los inhibidores de cisteín proteasa descrito en plantas, no contienen residuos de cisteína libre (Zhao *et al.*, 1996), se caracteriza por tener una región altamente conservada de los residuos glu-val-val-ala-gly (QVVAG) (Arai *et al.*, 1991), también poseen una secuencia conservada en el extremo N- terminal (LARFAVDEHN) que permite diferenciarlas de las cistatínas de origen animal ya que estas últimas carecen de dicha región (Fabienne *et al.*, 2002).

Las cistatinas son codificadas por familias de genes cuya expresión generalmente se limita a determinados órganos o fases específicas durante el desarrollo tales como la germinación, inicios de la senescencia foliar (Huang *et al.*, 2001), frío y estrés salino (Vander- Vyver *et al.*, 2003).

**3.3.4.10. Familia de inhibidores aspartil metalocarboxipeptidasas:** Estos inhibidores son pequeños péptidos inhibidores compuesto de 38 a 39 residuos de aminoácidos y tienen peso molecular cerca de 4.2 kDa (Hass y Hermodson, 1981). Tienden a acumularse en los tejidos de almacenamiento como el tubérculo de papa durante el desarrollo junto con los inhibidores pertenecientes a las familias de papa I y II. Este inhibidor también se acumula en tejido foliar de papa junto con los inhibidores de otras familias como reacción a herida (Ryan, 1990).

### **3.3.5. Mecanismo de inhibición enzimática de los IPs**

Existen inhibidores irreversibles o inactivadores que se unen fuertemente a la enzima bloqueando su actividad permanentemente, contrariamente los inhibidores enzimáticos reversibles disminuyen la actividad de la enzima mediante interacción reversible con ella ya sea asemejando los sustratos o reaccionando con la enzima a gran lentitud, los cuales se clasifican de la siguiente manera (Voet *et al*, 2007).

La parte del inhibidor que entra en contacto directo con el centro activo de la proteasa a la cual es afín se conoce como sitio reactivo, la unión de ambos forma el complejo inhibidor-proteasa, cerca del sitio reactivo se ubica un residuo de aminoácido denominado como P1, el cuál específicamente reconoce el sitio de unión de la proteasa, adyacente a P1 se encuentra un residuo conocido como P'1, la unión de ambos residuos forma el enlace peptídico del sitio reactivo (Laskowski y Kato, 1980).

El acoplamiento del inhibidor a la enzima que inhibe trae como consecuencia la inhibición del sitio activo de la proteasa, esto se logra debido a la exposición ya sea de un enlace o un extremo terminal del inhibidor con dos o más de estas estructuras (Otlewski *et al*, 2005), los mecanismo de inhibición del complejo enzima-inhibidor son:

- **Inhibidores que incluyen el bloqueo del sitio activo de la enzima igual que lo hace el sustrato):** El enlace peptídico escindible P1-P1' puede ser hidrolizado y posteriormente re-sintetizado, se produce la formación de un complejo proteasa-inhibidor no covalente y estable, no ocurren cambios conformacionales en la molécula del inhibidor (inhibidores canónicos de serín proteasas tipo tripsina).
- **La inhibición a través de un complejo estable enzima-producto:** se presenta cierta analogía con los inhibidores canónicos de serín proteasas pues puede ocurrir un corte lento del enlace peptídico P1-P1' y el producto de esta reacción es activo como un inhibidor (PCI (Inhibidor de Carboxipeptidasas de papa) y LCI (Inhibidor de carboxipeptidasas de sanguijuela) en las metalo carboxipeptidasas).
- **Inhibidores que bloquean estéricamente el sitio activo:** la cadena polipeptídica del inhibidor bloquea el sitio activo de la proteasa. En el caso de los inhibidores no canónicos el extremo amino del inhibidor se inserta en el sitio activo de la enzima y pueden presentarse interacciones secundarias que pueden incrementar el área de contacto generando una inhibición fuerte y específica (Inhibición de las cistatínas en las cisteín proteasas tipo papaína e inhibidores no canónicos como la ornitodorina).
- **Inhibidores irreversibles que forman intermediarios acil-enzima:** se produce una deformación del sitio activo de la enzima y ocurren cambios conformacionales en el inhibidor (inhibidores de serín proteasas, serpinas) e intermediarios tioacil enzima (inhibidores de cisteín proteasas).
- **Inhibición alostérica:** Es un mecanismo con el cual, una enzima puede activarse o inactivarse temporalmente. Estas interacciones sólo ocurren cuando las enzimas poseen al menos dos sitios de unión. Uno sería el centro

activo y el otro, conocido como centro regulador, sería el sitio donde se une el efector alostérico (Lehninger *et al.*, 2006).

### **3.3.6. Importancia de los IPs**

En estudios donde se han medido los niveles de inhibidores de proteasas en el tejido de plantas resistentes a insectos, se ha encontrado una correlación entre la resistencia, la muerte o disuasión de los insectos y la presencia de los inhibidores de proteasas (Broadway *et al.* 1986; Ryan 1990).

Los IPs se han convertido en una herramienta muy importante para el control de la actividad proteolítica de sus proteasas blanco, así como su bloqueo en casos de emergencia (Bode y Huber, 1992). La habilidad de los IPs para interferir con el crecimiento y desarrollo de insectos se debe a su capacidad de reducir la disponibilidad de aminoácidos de las proteínas ingeridas debido a que impide el acceso al sustrato (Ryan 1990); y en algunos casos ocasionando la muerte, como el inhibidor de tripsina Kunitz de soya sobre el coleóptero *Anthonomus grandis* (Franco *et al.* 2004).

Naturalmente los IPs son proteínas esenciales para la regulación de la actividad de sus correspondientes proteasas ya que desempeñan funciones clave en procesos biológicos importantes. Además de impedir la actividad de proteasas se han encontrado otras funciones como receptor del factor de crecimiento de actividades de señalización o de participación en la carcinogénesis (Qi *et al.*, 2005). Su función es tan importante que estudios han demostrado que la presencia de anomalías en los IP desencadena diversas enfermedades como enfisema y epilepsia (Ritchie, 2003).



### 3.3.7. Especies identificadas con inhibidores de proteasas

Se ha logrado aislar y caracterizar gran diversidad de IP de diversos organismos, incluyendo plantas, animales y microorganismos (Valueva Mosolov, 2004), en cuanto al enfoque en plantas es importante identificar las especies que naturalmente sintetizan IPs siendo uno de los pasos básicos en la búsqueda de proteínas de aplicaciones biotecnológicas potenciales (Joshi *et al.*, 1999).

La mayoría de los estudios de IPs de plantas se han realizado en plantas cultivadas, debido posiblemente al gran número de especies en estas familias importantes para la alimentación. Por esto, la mayoría de los IPs caracterizados son de las familias *Gramineae (Poaceae)*, *Leguminoceae (Fabaceae)* y *Solanaceae* (Carlini y Grossi-de-Sá, 2002), por lo que es necesario ampliar la investigación de IPs de plantas en especies que no tienen importancia económica, que hasta el momento han sido poco estudiadas y que pueden tener potencial en cuanto a la efectividad de los IPs que sintetizan (Konarev *et al.*, 2004).

Las semillas son ricas fuentes de muchas otras proteínas que tienen funciones protectoras. Por ejemplo: la cebada, la cual se ha estudiado en particular detalle, contiene tioninas, endoquitinasas, proteínas que inactivan ribosomas (RIP),  $\beta$ -glucanasas, LTP, lectinas, peroxidasa, proteínas tipo taumatina, además, al menos tres familias de inhibidores de enzimas (Shewry, 1999). Se han estudiado las semillas de *Amaranthus hypochondriacus*, *Phaseolus acutifolius*, *Phaseolus coccineus* e *Hyptis suaveolens* porque se ha probado que los IPs de estas especies inhiben *in vitro* la actividad proteolítica de coleópteros como *Callosobruchus maculatus*, *Zobrotes subfasciatus*, *Prostephanus truncatus*, *Tribolium castaneum* y *Acanthoscelides obtectus* (Campos *et al.*, 1994).

### 3.3.8. Plantas transgénicas que expresan inhibidores de proteasas.

La importancia insecticida de los IPs aunado a la importancia de controlar las distintas especies que afectan los cultivos obliga a desarrollar estrategias que permitan conjuntar dichas herramientas a fin de disminuir la incidencia de plagas dotando genéticamente a los cultivos más susceptibles e incapaces por si mismos de sintetizar metabolitos como mecanismos de defensa para obtener lo que comúnmente se conoce como transgénicos, desde que se obtuvieron las primeras plantas transgénicas resistentes a insectos (tomate y tabaco) en 1987 (Barton *et al.*, 1987; Fischhoff *et al.*, 1987) se ha dado continuidad a la obtención de nuevas especies transformadas genéticamente (Tabla 3.3), sin embargo un punto clave en el proceso es considerar la especificidad de los IPs ya que de ello depende el éxito o fracaso que se tenga en el control de plaga objetivo (Graham *et al.*, 1997).

**Tabla 3.3.** Cultivos de plantas transgénicas que expresan genes de inhibidores de proteasas. Tomado de Lawrence (2002).

Inhibidor	Cultivo	Plaga	Referencia
Inhibidor de tripsina de caupí (CpTi)	Tabaco Arroz Papa Fresa Algodón Trigo Garbanzo	<i>Heliothis virescens</i> <i>Chilo suppressalis</i> <i>Sesamia inferens</i> <i>Lacanobia oleraceae</i> <i>Otiorynchus suscatus</i> <i>Spodoptera litura</i> <i>H.armigera</i> <i>Sitotroga cerealla</i> <i>H. armigera</i>	Hilder <i>et al.</i> 1987 Xu <i>et al.</i> 1996 Gatehouse <i>et al.</i> 1997 Graham <i>et al.</i> 1997 Sane <i>et al.</i> 1997 Li <i>et al.</i> 1998 Alpteter <i>et al.</i> 1999 Lawrence <i>et al.</i> 2001
Inhibidor de papa II	Camote Tabaco Arroz	<i>Cyclas formicarius</i> <i>Manduca sexta</i> <i>Chrysodeisus eriosoma</i> <i>Sesamia inferens</i>	Newell <i>et al.</i> 1995 Johnson <i>et al.</i> 1989 Mc Manus <i>et al.</i> 1994 Duan <i>et al.</i> 1996
Inhibidor de tomate I y II	Tabaco	<i>M.sexata</i>	Johnson <i>et al.</i> 1989

Inhibidor de tripsina de camote (TI)	Tabaco	<i>M.sexta</i>	Yeh <i>et al.</i> 1997
Kunitz de soya TI	Arroz	<i>Nilaparvata lugens</i>	Lee <i>et al.</i> 1999
Cebada TI	Tabaco	<i>Agrotis ipsilon</i> <i>Spodoptera lituralis</i>	Carbonero <i>et al.</i> 1993
Inhibidor de proteasa de <i>Nicotiana alata</i> (PI)	Tabaco Chícharos	<i>Helicoverpa punctigera</i> <i>Plutella xylostella</i>	Heath <i>et al.</i> 1997 Charity <i>et al.</i> 1999
Serpina (Orycistatina tipo serina)	Tobacco Rapeseed	<i>Bemisia tabaci</i> <i>Ceutorynchus assimilis</i>	Thomas <i>et al.</i> 1995 Girard <i>et al.</i> 1998

Otro trabajo realizado al respecto es el de Pujol *et al.* (2005) quienes obtuvieron plantas de tabaco que sintetizan inhibidores de tripsina de chícharo efectivas para inhibir el ataque de las larvas del insecto *Heliothis virescens*.

### 3.9. Proteasas

Las enzimas desde sus descubrimientos han jugado un papel importante en diversos sistemas biológicos debido a la capacidad de acelerar reacciones químicas haciendo posible con ello su empleo en la industria (Guzmán *et al.*, 2007), por ejemplo las proteasas son empleadas para la fabricación de detergentes, industria vinícola, fabricación de quesos, pan, cerveza así como sus uso en el área médica para la producción de medicamentos como anti-inflamatorios, disolución de coágulos sanguíneos, inhibición de la transcripción (transcriptasa reversa del VIH), activación de hormonas (Saeki *et al.*, 2007), también se ha demostrado que las proteasas juegan un papel indispensable en las plantas ya que participan en el control de la calidad proteica y permiten la degradación de proteínas específicas como mecanismo de respuesta a diversos estímulos que las plantas reciben tanto del exterior como en las distintas etapas de desarrollo (Fan y Xu, 2005).

En un principio el término proteasas surgió a finales del siglo XIX generalizándose como concepto que abarcó a todas las hidrolasas que actúan sobre enlaces peptídicos, más tarde en el año de 1984 el Comité de Nomenclatura de Enzimas de la Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular (NC-IUBMB) adhirió el término peptidasas refiriéndose así a todas las hidrolasas que actúan sobre los enlaces peptídicos (Barrett, 2004).

Dependiendo de la ubicación de los enlaces hidrolizados es como se divide a las peptidasas en dos grandes grupos:

- **Exopeptidasas:** Remueven uno o más aminoácidos desde los extremos carboxilo o amino terminal.
- **Endopeptidasas:** Rompen uniones peptídicas en distintos puntos del interior de la proteína.

Debido a la complejidad de la definición de sustrato para las endopeptidasas en 1960 Hartley propuso una clasificación de las mismas basada en las características de sus respectivos mecanismos catalíticos, constituyendo siete-subgrupos en la clasificación internacional: endopeptidasas serínicas, endopeptidasas cisteínicas, endopeptidasas aspárticas, metalo-endopeptidasas, endopeptidasas treonínicas, endopeptidasas glutámicas y endopeptidasas de mecanismo catalítico desconocido (Hartley, 1960).

Cada una de las sub-subclases de endopeptidasas mencionadas posee un mecanismo catalítico distintivo, pero aun así pueden agruparse en dos grandes categorías: las que forman complejos covalentes entre la enzima y el sustrato (serínicas, cisteínicas y treonínicas) y las que no forman complejos enzima-sustrato covalentes (aspárticas, glutámicas y metalopeptidasas) (Laskowski *et al.* 2003).

Las proteasas también se clasifican de acuerdo a su sensibilidad al pH como ácidas o alcalinas. Dentro de las proteasas ácidas que han sido aisladas y caracterizadas se encuentran la pepsina, quimosina y gastricina, entre las proteasas alcalinas se encuentran la tripsina, quimotripsina y elastasa. Estas últimas, en particular la

tripsina, es la que más se ha estudiado (Klomklao *et al.*, 2007). La tripsina muestra su especificidad para romper el enlace peptídico por el lado del grupo carboxilo de los aminoácidos con cadenas laterales voluminosas y con carga positiva, como lisina y arginina, en tanto la quimotripsina tiene especificidad para hidrolizar el enlace peptídico por el lado carboxilo de los aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina y triptófano (Whitaker, 2000).

En 1967 Schechter y Berger propusieron un modelo conceptual para referirse a la afinidad de la proteasa en el cual consideran “los residuos de aminoácidos del sustrato (P) que se unen a los subsitios del sitio activo enzimático (S). Estos residuos se numeran a partir del enlace a ser fragmentado hacia el N-terminal como  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , etc., en tanto que los que se encuentran hacia el C-terminal se denominan  $P'_1$ ,  $P'_2$ ,  $P'_3$ , etc. Los subsitios de la proteasa que “acomodan” los residuos del sustrato se numeran como  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  y  $S'_1$ ,  $S'_2$ ,  $S'_3$ , respectivamente”.

### **3.9.1. Endopeptidasas que forman complejos covalentes enzima- sustrato**

#### **3.9.1.1 Cisteín proteasas.**

Dentro de esta clasificación de peptidasas se incluyen a aquellas de origen vegetal que mayormente estudiadas han sido tales como papaína, ficina, actinidina o bromelaína, varias catepsinas de mamíferos, calpaínas citosólicas y algunas proteasas de parásitos como las de *Trypanosoma*, la cisteín ha sido la primer proteasa a la que se le determinó la estructura tridimensional por lo que es considerada como el arquetipo de esta clase de peptidasas (Drenth *et al.*, 1968). La actividad óptima reportada para este tipo de proteasas va en un rango de pH de 5-7 (Murdock, 1987).

Las proteasas cisteínicas tipo papaína han sido identificadas como claves en patologías relacionadas con desórdenes degenerativos, invasivos y del sistema inmune (Lecaille *et al.*, 2002).

### **3.9.1.2. Peptidasas serínicas y treonínicas (serín-proteasas).**

Esta clase de peptidasas comprende dos familias distintas: la familia de la quimotripsina que incluye enzimas de mamíferos (quimotripsina, tripsina, elastasa), plantas y microorganismos y la familia de la subtilisina, que si bien en un principio se creyó constituida solamente por enzimas bacterianas (ejemplo: subtilisina) actualmente se han encontrado representantes en otros microorganismos, en plantas y animales superiores. La actividad de las mismas suele ser máxima a valores de pH alcalinos comprendidos entre 9-11 y no requieren activadores, aunque los iones calcio intervienen en la activación de algunas proenzimas y estabilizan a algunas enzimas (Uchikoba *et al.*, 1995).

Este grupo de enzimas proteasas se caracteriza por tener un residuo de serina muy reactivo en su sitio activo. Todas ellas son endoproteasas y además del residuo serina, también intervienen un residuo histidina y un residuo ácido aspártico en el proceso catalítico, formando la llamada triada catalítica, característica de esta familia de enzimas (Whitaker, 2000).

Aunque todas las serin-proteasas presentan el mismo mecanismo de acción catalítico, su especificidad por el sustrato es muy diferente (Klomklao *et al.*, 2007). En plantas, este tipo de enzimas no tienen un rol fundamental ya que no son empleadas para llevar a cabo la degradación de proteínas a gran escala y no se requiere regular su actividad endógena por lo que no se requiere de una cantidad significativa de IPs con especificidad hacia estas enzimas (Reeck *et al.* 1997), sin embargo en animales es el caso contrario ya que es importante bloquear la actividad endógena de dichas proteasas en tejidos en los cuales su actividad es perjudicial y efectos secundarios en tejidos importantes como el caso de inhibidores de tripsina pancreática encontrada en mamíferos (GarcíaOlmedo *et al.*, 1987).

El papel de las serin proteasas *in vivo* consiste en segmentar cadenas polipeptídicas intactas para obtener péptidos cortos los cuales son segmentados nuevamente por exopeptidasas para generar aminoácidos, en este mecanismo se distinguen tres modos de acción de las serin proteasas, los cuales se diferencian en base a su especificidad: tripsina escinde la cadena C-terminal en residuos básicos ricos en Lys y Arg, quimotripsina muestra afinidad por los aminoácidos Phe Y Tyr de la cadena lateral hidrofóbica y elastasa afinidad por cadena lateral neutra rica en aminoácidos Ala y Gly (Ryan, 1990).

### **3.9.2. Endopeptidasas que no forman complejos covalentes enzima- sustrato**

#### **3.9.2.1 Aspártico proteasas**

La mayoría de las proteasas aspárticas estudiadas pertenecen a la familia de la pepsina. Esta familia incluye enzimas digestivas tales como pepsina y quimopepsina, cathepsina D y algunas proteasas fúngicas. En base a estudios cristalográficos se observó que estas enzimas son moléculas constituidas por dos lóbulos homólogos dentro de los cuales se encuentra el sitio activo, cada lóbulo contribuye con un residuo aspártico. Estos dos residuos aspárticos están geométricamente muy próximos en la molécula activa y uno sólo de ambos aspartatos es ionizado en el rango de pH óptimo que va de 2-3, por tener un pH bajo estas proteinasas también fueron denominadas “proteinasas ácidas” (Hartley 1960), dicha característica hace que estas proteasas se encuentre en el intestino medio de miembros de coleópteros y hemípteros ya que estos grupos de insectos poseen un pH de 3-5 el cual se asemeja al pH óptimo de actividad de la enzima y a diferencia de otros grupos de insectos en donde el pH es más alcalino entre 8-11 en donde estas enzimas no son activas (Houseman *et al.*, 1987).

#### **3.9.2.2. Metallo proteasas**

Las metaloproteinasas se encuentran entre las hidrolasas en las cuales el reconocimiento nucleofílico sobre el enlace peptídico es mediado por una molécula de agua. Esta es una característica compartida con las aspártico proteasas pero en las metaloproteasas se lleva a cabo por un catión metálico divalente, usualmente

zinc, aunque algunas veces cobalto, níquel o manganeso, activan la molécula de agua. El ión metálico es generalmente sostenido por tres aminoácidos ligandos (Hara y Matsubara, 1980).

### **3.10. Panorama general de la agricultura**

A nivel mundial la población se duplicó entre los años 1960 y 2000 trayendo consigo una mayor demanda de alimentos, tan solo en el año 2015 la población en el mundo alcanzó un promedio de 7 207 millones de personas representando una demanda de 1.6% de productos agropecuarios anuales para alimentación los cuales fueron producidos en 1 017 millones de ha de tierras de labranza, basándose principalmente en el cultivo de cereales cuya demanda se estimó en 1 227 millones de toneladas para alimentación humana, y 911 millones de toneladas para piensos, sin embargo para este mismo año el crecimiento de la producción agrícola reportado fue de 1.6% siendo una cifra no sostenible en cuanto a la demanda promedio de productos agropecuarios ya que únicamente se produce lo que se consume dejando fuera situaciones en las cuales se demande mayor alimento del estimado (FAO, 2016).

Se estima que para el 2050 la población mundial presentará cambios en cuanto a su tamaño, grupos de edades y distribución geográfica repercutiendo en la demanda de productos y servicios que respondan a los nuevos patrones de consumo, características y necesidades de cada grupo poblacional estimándose que la producción de alimento en ese año a nivel mundial debe de incrementarse hasta un 70%, los países en desarrollo albergarán el 87% de la población mundial representando un reto en cuanto al abasto de alimentos pues se estima que la producción de alimentos de estos países se debe incrementar hasta un 100% para cubrir la demanda de la población, panorama en el que se encuentra México (FAO, 2016).



En México en 2015 se estimó que la población es de aproximadamente 119 millones de personas (INEGI, 2015) y la producción de alimentos se basó en una superficie de 22 millones 148 mil ha de las cuales aproximadamente 5 millones 970 mil ha corresponden a riego y 16 millones 177 mil ha corresponden a temporal. En Guanajuato se sembraron 479 964 ha de riego y 506 214 ha de temporal (SIAP-SAGARPA, 2015).

El panorama general de la producción de alimentos nos muestra que, aunque la futura demanda de alimentos y cultivos comerciales crecerá más lentamente que en el pasado debido a la disminución de la población, la satisfacción de esta demanda seguirá siendo exigente pues se requerirá de la expansión continua de tierras de labranza, junto con mejoras de rendimiento basadas en nuevas variedades vegetales y tecnologías de cultivo (FAO, 2016).

Una preocupación actual sobre la mejora de la producción aunada a necesidad de alimentos para satisfacer la demanda mundial se basa en el impacto de la agricultura al medio ambiente por el aumento en el uso de fertilizantes y otros productos químicos teniendo como resultado graves problemas de contaminación del agua y del aire (FAO, 2016). Como se ha mencionado las actividades agrícolas emiten entre 13 y 15 mil millones de toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a la atmósfera, representando una tercera parte del total de emisiones asociadas a actividades humanas. En términos generales, la agricultura es responsable del 25% del dióxido de carbono (especialmente por la deforestación), el 50% del metano (fermentación del arroz y entérica) y más del 75% de dióxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ), este último principalmente por la utilización de fertilizantes, emitidos al año por las actividades humanas (ONU, 2008).

### 3.11. Plaguicidas

Los plaguicidas son “sustancias o mezcla de sustancias que se usan de manera intensiva para controlar plagas agrícolas e insectos vectores de enfermedades en humanos y animales, así como, para el control de insectos y ácaros que afectan la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y alimento para animales”. También se refiere a sustancias que se utilizan como reguladoras de crecimiento, defoliantes, desecantes, agentes para evitar la caída prematura de la fruta y aquellas sustancias aplicadas pre y post cosecha para proteger el producto durante el transporte (WHO, 1990; FAO, 2003).

En México la CICOPALFEST (Comisión Intersecretarial Para el Control y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas) los define como “cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destinan a controlar plagas, incluidos los vectores de enfermedades humanas y de animales así como las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, almacenamiento o transporte de los alimentos u otros bienes materiales, así como los que interfieran con el bienestar del hombre y de animales. También se incluyen sustancias defoliantes, desecantes y coadyuvantes” (CICOPALFEST, 2016).

A su vez, se entiende por plaga a “cualquier organismo que interfiera con la conveniencia o bienestar del hombre u otra especie de su interés” (Vega 1985).

En el año 1939 comenzó la generación de plaguicidas más exitosa para el control de plagas agrícolas y transmisores de enfermedades de importancia de salud pública con el descubrimiento del DDT (Dicloro- Difenil-Tricloroetano) durante la segunda guerra mundial. Después surgieron otras clases de plaguicidas como los organoclorados (endosulfan) para erradicar plagas de café y algodónero (Casadei, 2003). En los años 50's surgieron los plaguicidas organofosforados (OP) empleados como insecticidas, nematocidas, fungicidas y herbicidas (Lagunes-Tejeda y Villanueva-Jiménez, 1994).

### 3.11.1. Clasificación de los plaguicidas

Los plaguicidas pueden clasificarse en base a los siguientes criterios (Vega, 1985; CICOPLAFEST, 2016).

#### 3.11.1.1. Concentración:

a) Plaguicida técnico: Aquél en el cual el ingrediente activo se encuentra a su máxima concentración, obtenida como resultado de su síntesis y de sus compuestos relacionados, y es utilizado exclusivamente como materia prima en la formulación de plaguicidas.

b) Plaguicida formulado: Mezcla de uno o más plaguicidas técnicos, con uno o más ingredientes inertes o diluyentes, cuyo objeto es dar estabilidad al ingrediente activo o hacerlo útil y eficaz.

#### 3.11.1.2. En base al microorganismo blanco:

Insecticida (Control de insectos), Acaricida (Control de ácaros), Fungicida (Control de hongos y levaduras), Bactericida (Control de bacterias), Antibiótico (Control de bacterias), Herbicida (Control de hierba y maleza), Rodenticida (Control de roedores) y Molusquicida (Control de moluscos).

#### 3.11.1.3. Clases químicas y características generales de algunos insecticidas sintéticos.

- **Organofosforados:** la mayoría se caracterizan por tener poca persistencia en el ambiente, su toxicidad depende de su estructura química, se absorben bien por inhalación, ingestión y vía cutánea, su efecto principal se refleja sobre la acetilcolinesterasa, enzima implicada en las señales neurotransmisoras teniendo consecuencias sobre el sistema nervioso, sin embargo algunos de estos compuestos no induce alguna manifestación clínica inmediata.
- **Carbamatos:** Se caracterizan por absorberse bien por ingestión, inhalación, y algunos por vía cutánea, al igual que los organofosforados actúan sobre la

acetilcolinesterasa pero difiriendo que se este es un efecto reversible por lo que no se tiene efectos secundarios sobre el sistema nervioso central.

- **Organoclorados:** son compuestos que tienden a acumularse en tejidos en donde se presenta mayor acumulación de grasas, además de pulmón e intestino. Los efectos de estos compuestos a largo plazo se consideran graves por lo que su uso está restringido o prohibido en muchos países ya que su efecto se refleja en alteraciones sensoriales, coordinación principalmente.
- **Piretroides:** Su origen botánico principalmente además de que ya se ha logrado sintetizar permite que sean de baja toxicidad aunque si son alérgenos irritantes ligeros, los cuales e absorben a través del intestino, membrana pulmonar y muy poco a través de la piel.

**3.11.1.4. Por su persistencia en el medio ambiente:** Persistentes, poco persistentes y no persistentes

**3.11.1.5. Según su toxicidad aguda (OMS):** Esta se basa principalmente en la toxicidad por vía oral evaluada en ratas y ratones. Usualmente la dosis se registra como el valor DL50 (Dosis Letal Media) que es la dosis requerida para matar al 50% de la población de animales de prueba y se expresa en términos de mg/kg del peso del cuerpo del animal.

**3.11.1.6. Modo de acción**

a) De contacto: Actúa principalmente al ser absorbido por los tejidos externos de la plaga

b) De ingestión: Debe ser ingerido por la plaga para su acción efectiva.

c) Sistémico: Al aplicarse en plantas o animales, se absorbe y traslada por su sistema vascular a puntos remotos del lugar en que se aplica y en los cuales actúa.

- d) Fumigante: Se difunde en estado gaseoso o de vapor y penetra por todas las vías de absorción.
- e) Repelente: Impide que las plagas ataquen.
- f) Defoliante: Causa la caída del follaje de las plantas.

### **3.11.2. Desventajas del uso de plaguicidas**

A pesar de la problemática del uso de plaguicidas, como se mencionó anteriormente no existe una regulación controlada de su uso y por ello el mercado de estas sustancias se encuentra monopolizado, esto es preocupante, ya que se reporta que aproximadamente el 97.8% del mercado de agroquímicos está controlado por un oligopolio de once compañías, del cual, las seis adaptadoras (Bayer, Syngenta, BASF, Dow AgroSciences, Monsanto y DuPont) son empresas semilleras.

Datos de la FAO informan que tan solo en México entre 2009 y 2010 se usaron en promedio 4.55 toneladas de plaguicidas (fungicidas, herbicidas e insecticidas) por cada 1000 hectáreas, y para 2013 se emplearon 37 455 toneladas de insecticidas (FAO, 2013). De manera general los estados donde se usan más los plaguicidas, son: Campeche, Chiapas, Chihuahua, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz (SSA, 2012).

El estado de Sinaloa cuenta con poco más de 1 millón de hectáreas sembradas ya que es el principal productor de maíz y principal exportador de alimentos como el jitomate, por ello la demanda de plaguicidas es elevada, tan solo en 2009 se estimó un promedio de 700 toneladas de plaguicidas aplicados, de los cuales la OMS clasifica al menos 17 de estos desde moderada a fuertemente tóxicos (OMS, 2009).

Si bien el uso de plaguicidas químicos ha permitido obtener una mayor protección de los cultivos contra plagas y enfermedades, por otra parte el uso intensivo y desmedido de los mismos ha tenido graves consecuencias ambientales y en la salud

humana además de que se reduce su eficacia al momento en que las plagas logran crear resistencia ante el efecto del plaguicida, también otra consecuencia es el impacto que tienen sobre otros organismos que pueden actuar como antagonistas de las plagas blanco provocando la muerte y por ende un impacto en la reducción de su población (Serrano y Galindo, 2007). También pueden inducir la aparición de nuevas plagas, acumulación en la cadena trófica (bioacumulación), movilidad en el ambiente, riesgos para la salud humana, etc. (Enriquez, 2003). Por ello es necesario buscar nuevas alternativas en el control de plagas con menor impacto en el ambiente y la salud humana.

#### **3.11.2.1. Impacto ambiental de los plaguicidas**

En la totalidad de las actividades agrícolas, la utilización de plaguicidas también llamados agrotóxicos o fitosanitarios tiene distinto grado de impacto sobre la forma en que éstos se utilicen y sus efectos al utilizarlos en la agricultura y la industria han tomado importancia por su impacto en el medio ambiente y en la salud humana (Nuñez, *et al.*, 2007).

El daño ambiental ocasionado por estos productos se ve reflejado en el impacto sobre los polinizadores, la vida silvestre y peces además de afectar la calidad del agua y suelo (Pimentel y Lehman, 1993). El incremento en el uso de insecticidas se debe principalmente a la intensificación de los cultivos (Liebman, 1997).

Los plaguicidas tienen diferentes fuentes de dispersión en el medio ambiente principalmente en sitios en donde se aplican ya sea por escurrimiento, infiltración y erosión de los suelos o mediante escurrimiento del agua durante riego agrícola o lluvias provocando que estas sustancias lleguen a los cuerpos de agua superficiales y/o subterráneos (Ongley, 1996).

En peces algunos plaguicidas pueden ocasionar hipoxia y hasta modificar el metabolismo, en aves se ha observado el desarrollo anormal de órganos reproductivos, reacciones autoinmunes e incluso daños hormonales, en mamíferos

de igual manera se ha observado daño en los órganos reproductivos, efectos en el sistema nervioso e incluso mortalidad, su efecto desmedido se ha observado en insectos polinizadores incrementando su tasa de mortalidad descontroladamente como el caso de las abejas (COFEPRIS, 2016).

### **3.11.2.2. Impacto de los insecticidas en la salud**

Si bien el uso de plaguicidas en la agricultura ha permitido asegurar una mayor producción agrícola y a la vez rentable también su utilización ha traído consecuencias en la salud de quienes de manera directa o indirecta se exponen a dichas sustancias ya que su aplicación entraña riesgos tóxicos para la salud, ya sea en forma accidental o por manejo inapropiado de productos (EPA, 2003).

Según la FAO y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (FAO-PNUMA, 2004), todos los años se registran entre 1 y 5 millones de casos de intoxicación por plaguicidas, con varios miles de muertes, entre ellos niños. Casi todos los casos de intoxicación se presentan en las zonas rurales de los países en desarrollo, donde la protección y el correcto manejo de estas sustancias suelen ser inadecuados o inexistentes. Aunque estos países utilizan sólo el 25% de la producción mundial de plaguicidas, es en ellos donde se da el 99% de las muertes por intoxicación con estas sustancias (FAO-PNUMA, 2010).

Actualmente en nuestro país no se cuenta con una regulación y monitoreo detallada y actualizada sobre el uso de plaguicidas pues el único documento es el catálogo oficial de plaguicidas, el cual lleva más de una década sin ser actualizado por lo que se pasa por alto información sobre la peligrosidad de algunas sustancias y que se siguen utilizando, claro ejemplo de ello es el glifosato que en el año 2015 fue catalogado como probable cancerígeno por la Agencia de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), razón por la cual ha sido prohibido en al menos seis países como Francia, Holanda, El Salvador, Dinamarca, Bélgica y Sri Lanka (OMS-IARC, 2015).

**Tabla 3.4.** Clasificación de los Plaguicidas de acuerdo a su Toxicidad Aguda (Clasificación de acuerdo con el Sistema global armonizado. NOM-232-SSA1-2009). Tomado de COFEPRIS, 2015.

Vía de exposición	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
Oral (mg/kg)	5	50	300	2000	5000
Dérmica (mg/kg)	50	200	1000	2000	
Inhalatoria Gases (ppmV)	100	500	2500	5000	
Inhalatoria Vapores (mg/l)	0,5	2	10	20	
Inhalatoria Polvos y nieblas (mg/l)	0,05	0,5	1	5	

A partir de experimentos hechos en animales de laboratorio o sistemas *in vitro* y extrapolados a seres humanos, se ha observado que son los causantes de efectos como la carcinogénesis, teratogénesis y mutagénesis además de reacciones alérgicas, alteraciones del sistema nervioso, reproductor, respiratorio, inmune, etc. (CICOPLAFEST, 2015).

### 3.12. Control biológico

Considerando las desventajas que trae consigo el uso de insecticidas químicos y a la vez resaltar la nueva perspectiva agrícola cuyo objetivo se centra en modelos agrícolas sustentables inclinados al manejo agroecológico de plagas surge el denominado control biológico que se define como una “técnica empleada en control de plagas de cultivos de manera sustentable empleando enemigos naturales, antagonistas o competidores vivos u otras entidades bióticas inocuas con capacidad de mantener la densidad de población de un organismo plaga a un nivel que no cause daños relevantes y mantenga la sustentabilidad de los agroecosistemas”



(Arredondo y Sánchez, 2009). Dicho termino se refiere a las nuevas alternativas de control de plagas, ya que en las últimas décadas el control de plagas principalmente de insectos se ha realizado empleando algún tipo de compuesto químico, lo cual como se menciona trae consigo diversas consecuencias tanto ecológicas como en la salud además de que muchas plagas cada vez son más resistentes a los compuestos de los productos lo que hace se dificulte cada vez más erradicarlas (Martínez y Gómez, 2007).

### **3.12.1. Bioplaguicidas**

También llamados biopesticidas comprenden aquellos compuestos derivados de animales, plantas, microorganismos y minerales siendo una característica importante su especificidad contra plagas objetivo y a la vez con bajo o nulo impacto en el medio ambiente a diferencia de los plaguicidas sintéticos o químicos que como se ha mencionado afectan además de la plaga objetivo a insectos benéficos y vegetación circundante al sitio de aplicación (EPA, 2010).

La investigación realizada en base al desarrollo de bioplaguicidas para su aplicación en campo se ha enfocado a reducir o mitigar la contaminación ambiental ocasionada por los plaguicidas químicos promoviendo el desarrollo sustentable de la agricultura y a la vez estimular la modernización de la agricultura sustituyendo de manera paulatina el uso de los plaguicidas sintéticos y evitar su uso en sitios libres de contaminación por estos mismos (Leng *et al.*, 2011).

Los bioplaguicidas pueden ser divididos en dos grupos importantes que son:

a) **Agentes o plaguicidas microbianos:** La mayoría de estos compuestos son degradados fácilmente después de acción enfocados principalmente a combatir plagas de manera específica sin tener consecuencias secundarias sobre un número generalizado de las mismas, comprende bacterias, hongos, virus y protozoos. Por

ejemplo *Bacillus thuringiensis* segrega proteínas que pueden provocar la muerte a algunas larvas de insectos (Ramírez J. V., 2012).

El tipo de bioinsecticida de origen bacteriano más explotado han sido las proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis*, las cuales ha sido ampliamente estudiadas y explotadas para combatir plagas de insectos en agricultura (Nava-Pérez *et al.*, 2012). Una característica importante de las proteínas Cry producidas por Bt es que son altamente específicas e inocuas para vertebrados y otros insectos no blanco, los síntomas que presentan las larvas de insectos al ingerir los cristales y esporas se reflejan adaptadoramente en un cese de la ingesta de alimentos, posteriormente una parálisis intestinal seguida de diarrea que lleva a una parálisis total y por último la muerte. Este tipo de proteínas se caracterizan por ser protoxinas que requieren de la actividad de proteasas que se encuentran presentes en el intestino de los insectos blanco para que puedan liberar los fragmentos tóxicos, los cuales son los encargados de interactuar con proteínas receptoras que se encuentran presentes en las microvellosidades del intestino, dicha interacción permite que las proteínas formen poros en la membrana intestinal (Soberón y Bravo, 2007).

En el caso de los microinsecticidas se caracterizan por ser hongos capaces de infectar insectos chupadores como áfidos, mosquita blanca, chicharritas y chinches (Alatorre, 2007). Si bien los hongos constituyen uno de los grupos más pequeños pertenecientes a este grupo de bioinsecticidas no significa que sean menos importantes ya que para seleccionar o aislar una raza se requiere considerar tanto la susceptibilidad del insecto, así como su estado de desarrollo (Rodríguez del Bosque, 2007). Algunos hongos son más específicos mientras que otros tiene un rango más amplio de hospederos como por ejemplo *Beauveria bassian* y *Metarhizum anisopliae* entre otros (Alatorre, 2007).

Dentro de los virus la familia *Baculoviridae* es la más estudiada, se caracteriza por agrupar virus de ADN de doble cadena cuyos viriones se encuentran envueltos por

una matriz proteica llamada cuerpo de inclusión (Theilmann *et al.*, 2005), este grupo de virus se caracteriza por ser altamente específicos por lo que son seguros tanto para el medio ambiente como para la salud así como para los enemigos naturales (Ahmad *et al.*, 2011).

**b) Agentes o plaguicidas botánicos:** Comprende hormonas, reguladores de crecimiento de plantas, enzimas y sustancias de señalización química como mecanismo de defensa e importantes en la relación planta-insecto (Alfonso, 2002).

Su uso se ha explotado recientemente a partir de que surgió el interés por estudiar los mecanismos de defensa de las plantas como alternativas para ser aprovechadas en el control de insectos plaga a fin de disminuir el efecto de los productos químicos que se emplean para dicho fin (Regnault-Roger *et al.*, 2005). De manera general se definen cinco tipos de sustancias de origen vegetal, según su efecto en el comportamiento de los insectos (Montesino *et al.*, 2009):

- a) repelentes, las cuales alejan a los insectos de la planta
- b) supresores, que inhiben la iniciación de la alimentación o la oviposición del insecto en el hospedante
- c) disuasivos, que interrumpen la continuación de la alimentación o la oviposición del insecto
- d) antibióticos, que interfieren metabólicamente en el crecimiento y desarrollo normales
- e) anorexigénicos, que producen pérdida del apetito.

**Tabla 3.5.** Metabolitos secundarios de plantas que regulan a insectos plaga (Montesino *et al.*, 2009).

COMPUESTO ACTIVO	PRINCIPAL FUENTE VEGETAL	TIPO DE EFECTO
Rotenona	Raíces de Derris ( <i>Derris elliptica</i> ) y Guamá ( <i>Lonchocarpus utilis</i> ); Fam. <i>Leguminosae</i>	Insecticida de contacto Insecticida de ingestión Repelente
Piretrinas	Flores de Crisantemo o Piretro ( <i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i> ), <i>C. balsamita</i> , <i>C. coronarium</i> , <i>C. vulgare</i> , <i>C. indicum</i> . Fam. <i>Compositae</i>	Insecticidas de contacto Atacan Sistema Nervioso Central y periférico
Nicotina (Neonicotinoides)	Hojas, tallos y raíces de Tabaco ( <i>Nicotiana tabacum</i> , <i>Nicotiana rustica</i> ; Fam. <i>Solanaceae</i> )	Insecticida de contacto no persistente Insecticida respiratorio Insecticida de ingestión Ovicida
Artemisina	Partes aéreas del Ajenjo dulce ( <i>Artemisia annua</i> ; Fam. <i>Asteraceae</i> )	Insecticida de alta mortalidad y cambios en el desarrollo larval Inhibición de la alimentación
Azadiractina	Corteza, hojas, frutos y principalmente semillas de las meliáceas, especialmente del Árbol del Nim ( <i>Azadirachta indica</i> ; Fam. <i>Meliaceae</i> )	Insecticida Inhibición de la alimentación Regulación del crecimiento Inhibición de la oviposición Esterilizante
Meliartenin	Hojas, tallos, semillas y principalmente frutos del Árbol del Paraíso ( <i>Melia azedarach</i> ; Fam. <i>Meliaceae</i> )	Insecticida Inhibición de la alimentación Disminución del crecimiento y desarrollo Emergencia de adultos deformes Inhibición de la oviposición

### **3.13. Cultivos genéticamente modificados**

Las plantas juegan un papel crítico en el desarrollo de la civilización humana, la cual actualmente ha mostrado un incremento desmedido de su población trayendo como consecuencia el que día a día halla más demanda de alimentos y por tanto sea necesario buscar alternativas que permitan mejorar el rendimiento de los cultivos (Ahmad y Mukhtar, 2017), dicho objetivo se ha logrado mediante mejoramiento convencional así como con el desarrollo de herramientas biotecnológicas (Christou, 2013), tal es el caso de la manipulación genética, con la cual se ha logrado dotar a los cultivos de mecanismos de defensa que no poseen de manera innata permitiéndoles contrarrestar los efectos ambientales tanto de estrés biótico como abiótico puesto que mediante mejoramiento convencional tarda años en adaptarse ya sea desde resistencia a frío, calor, salinidad, herbicidas o resistencia a plagas como insectos y enfermedades ocasionadas por hongos y bacterias (Ahmad *et al.*, 2017).

Las técnicas de transformación vegetal ofrecen la posibilidad de acceder a un ilimitado número de genes que con anterioridad no eran accesibles a los fitomejoradores para el mejoramiento convencional, específicamente en el caso de transferencia de genes provenientes de especies no compatibles sexualmente, aumentando en gran medida las opciones de mejoramiento genético (Basu *et al.*, 2010).

### **3.14. Obtención de plantas genéticamente modificadas**

La transformación genética de plantas se realiza por diversas técnicas cuyo objetivo fundamental se basa en realizar la transferencia de algún gen de interés al genoma de otro organismo para conferir la característica deseada ya sea resistencia a salinidad, sequía, frío, calor o en su caso a algún herbicida o ataque por insectos, algunas de estas técnicas son:

### 3.14.1. Transformación mediante sistema *Agrobacterium*

Este sistema se basa en el uso de la bacteria de suelo gram negativa *Agrobacterium* causante de la enfermedad conocida como “agalla de la corona” mediante la inserción del plásmido Ti (inductor de tumor) en el genoma de la planta a fin de llevar a cabo la síntesis de aminoácidos y azúcar fosfato para obtener las proteínas opinas usadas como fuente de energía, el sistema sensorial de la bacteria detecta uno de los componentes fenólicos liberados por la planta al momento de la herida, en este caso es la acetosiringona, se fosforila la proteína de unión a DNA conocida como VirG llevando a cabo el encendido y expresión de los genes *vir* del plásmido Ti responsables de la lectura y liberación de un fragmento de aproximadamente 15-30 kb del plásmido Ti a lo que se le conoce como transferencia de DNA (T-DNA) integrándose al DNA cromosómico de la planta mediante un mecanismo similar a una conjugación (Tzfira y Citovsky, 2002), la maquinaria de la planta lo reconoce como genoma huésped entonces los genes de T-DNA se expresan para sintetizar auxinas y citocininas ocasionando un crecimiento descontrolado de la célula vegetal formando un tumor (Gelvin, 2000).

La bacteria *Agrobacterium* carece de los elementos reguladores necesarios para expresión de los genes de T-DNA, así la bacteria se ve en la necesidad de insertar los genes en la célula vegetal para sintetizar las opinas, las cuales metabolizan moléculas energéticas (Gelvin, 2010).

Al conocer el sistema de infección de la bacteria, científicos descubrieron que al suprimir los genes implicados en la síntesis de opinas aun había transferencia e integración de T-DNA, en base a ello se observó que solo basta con sustituir dicha región por la del gen de interés para que haya integración del gen en un genoma vegetal (Chilton *et al.*, 1977).

A pesar de que ha sido una herramienta importante en la transformación de plantas tiene la desventaja de ser un sistema de transformación limitado ya que

*Agrobacterium* solo infecta a un número limitado de hospederos (Escobar y Dandekar, 2003).

### **3.14.2. Transformación mediante biobalística**

También llamada biolística es un método que surgió como alternativa a las desventajas que se presentan en transformación con *Agrobacterium* principalmente aplicado a la transformación de semillas recalcitrantes mayormente cereales y leguminosas. Esta tecnología se basa en el uso de micropartículas de oro o tungsteno recubiertas de material genético que son proyectadas a gran velocidad por una onda de choque causada por un gas principalmente helio es el más utilizado hacia un tejido blanco, con ello se logra la introducción del material genético foráneo (Taylor y Fauquet, 2002).

El éxito de esta técnica depende de diversos factores como son: el tipo de explante, tamaño de la micropartícula, distancia recorrida por el ADN así como su calidad y cantidad (Quintana, 2009).

Es una técnica utilizada para transformar diversas especies vegetales a partir de distintas estructuras como callos, embriones y hojas (Ahmad y Mukhtar, 2017).

### **3.14.2. Electroporación**

Es una técnica que se basa en hacer pasar pulsos eléctricos para crear poros en la membrana celular y con ello se permite la entrada de material genético a la célula, para el uso de esta técnica se requiere trabajar con estructuras conocida como protoplastos (células vegetales sin pared celular) haciendo laboriosa la técnica pero eficiente para la transformación de plantas (Arencibia *et al.*, 1995).

### **3.14.3. Nuevas herramientas de transformación o edición de genomas**

Los avances en el conocimiento del genoma aunado al desarrollo de tecnología se desarrollaron herramientas que permitan hacer más eficiente y precisa la transformación de plantas, estas nuevas herramientas se basan en romper la doble cadena (DSB) seguida por la inserción o delección de secuencias de ADN foráneo mientras se lleva a cabo la reparación del ADN a lo que se le conoce como edición del genoma, las técnicas descritas a continuación difieren en la forma en que se lleva a cabo la introducción de las DBS (Liu *et al.*, 2014)

Por ejemplo, el sistema CRISPR/Cas9 (sistemas de nucleasas asociados a repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente espaciadas): es mecanismo de defensa identificado en bacterias y arqueas y se compone de dos elementos: un ARN proveniente de la secuencia CRISPR, llamado «ARNcr», y la endonucleasa Cas. El ARNcr es el encargado de dirigir a Cas hacia su secuencia complementaria, donde Cas Realiza el corte, en tanto la secuencia CRISPR se compone de un líder o promotor y distintas secuencias espaciadoras (de 25 a 50 nucleótidos) flanqueadas por elementos repetidos, usualmente palindrómicos (de aproximadamente 32 nucleótidos) (Lammoglia- Cobo *et al.*, 2016).

Otras herramientas también son ZFN (Endonucleasas dedos de Zinc) y TALENS (nucleasas efectoras similares a los activadores de transcripción) (Liu *et al.*, 2014).



## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Biología Molecular de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Roque km 8, Carretera Celaya-Juventino Rosas, Apartado Postal 508, C. P. 38110. Celaya Guanajuato.



Figura 4.1. Ubicación del Instituto Tecnológico de Roque (Google maps, 2017)

### 4.2. Materiales y métodos

#### 4.2.1. Material biológico:

- Se trabajó con semillas de chan variedad violeta (negra) y semilla variedad blanca provenientes de la localidad “el Chanal” del Estado de Colima a partir de las cuales se establecieron plantas en el invernadero del Instituto Tecnológico de Roque en sustrato materia orgánica-peat moos (1:1) en el periodo agosto-noviembre 2016 y abril-julio 2017, una vez identificado el periodo de floración se monitorearon las plantas para comenzar la colecta de semilla inmadura así como de semilla madura de ambas variedades, la semilla colectada se sumergió inmediatamente de su colecta en N<sub>2</sub> líquido y posterior almacenamiento a -80 °C hasta su uso.

- Se obtuvieron cotiledones a partir de semilla negra madura, para lo cual se quebró semilla con ayuda de molino marca IKA (modelo M 20 S3) y se realizó la separación de testa y cotiledones con ayuda de pinzas de disección. Los cotiledones obtenidos se separaron en muestras de 0.1 gramos, se sumergieron en N<sub>2</sub> líquido y posterior almacenamiento a -80 °C hasta su uso.

#### **4.2.2. Extracción RNA total**

La extracción de RNA total a partir de semilla inmadura, semilla madura (con testa) y cotiledones de chan se realizó por técnica de Trizol método descrito por Chomczynski en 1993, para lo cual, se tomaron 0.1 g de muestra (semilla con testa y cotiledones), se molieron con Nitrógeno líquido, posteriormente se añadió 1 ml de Trizol y se transfirieron a tubos de 1.5 ml, se incubaron los tubos a temperatura ambiente por 5 min, posteriormente se añadieron 200 µl de cloroformo y se agitó vigorosamente, se centrifugaron a 10 000 rpm por 15 min a 4°C, la fase acuosa se recuperó en un tubo nuevo, se adicionaron 800 µl de 2-propanol y 80 µl de acetato de sodio 3M, se dejaron incubar las muestras por 1 h a -80 °C o durante toda la noche a -20° C y posteriormente se centrifugaron a 10 000 rpm por 15 min a 4°C, se decantó el sobrenadante y se adicionó 1 ml de etanol al 70% a -20 °C y se centrifugó a 10 000 rpm por 15 min a 4 °C (este paso se repitió dos veces), el tercer lavado se realizó con 1 ml de etanol al 70% y se centrifugó a 10 000 rpm por 10 min a 4°C, una vez realizado el último lavado se dejó secar la pastilla por 15 min a temperatura ambiente, después se resuspendió la pastilla en 100 µl de H<sub>2</sub>O- DEPC y finalmente se almacenaron las muestras a -80 °C hasta su uso posterior.

#### **4.2.2.1. Extracciones de RNA total de semilla con testa a partir de plantas establecidas en el invernadero del ITR y semilla del estado de Colima**

- Se realizó la extracción de RNA total por método de Trizol a partir de semillas maduras e inmaduras (almacenadas a -80 °C) de plantas de chan variedad violeta establecidas en el invernadero del Instituto Tecnológico de Roque y de semilla proveniente del estado de Colima, así como de semilla inmadura (almacenada a -80 °C) de plantas variedad blanca establecidas en invernadero del Instituto, dichas muestras se trabajaron sin retirar la testa por lo que la extracción de RNA total se realizó con la semilla completa y no se realizó la precipitación con acetato de sodio 3 M.
- Se realizó la extracción de RNA total por método de Trizol a partir de semillas maduras de variedad violeta (semilla negra), la precipitación se realizó incubando las muestras 1 hora a -20 °C con isopropanol y acetato de sodio 3 M, los pasos anteriores y posteriores al mencionado se realizaron tal cual se describe en la técnica.

#### **4.2.2.2 Extracción de RNA total a partir de semilla proveniente del estado de Colima**

- Se realizó la extracción de RNA total por método de Trizol a partir de semillas maduras de variedad violeta (semilla negra) proveniente del estado de Colima, la precipitación se realizó incubando las muestras durante toda la noche a -20 °C con isopropanol y acetato de sodio 3 M, los pasos anteriores y posteriores al mencionado se realizaron tal cual se describe en la técnica. Se realizó la cuantificación de la concentración (ng/  $\mu$ l) de cada una de las muestras a fin de determinar su pureza.

#### **4.2.2.3. Extracción de RNA total a partir de cotiledones de semilla proveniente del estado de colima**

- Extracción de RNA total por método de Trizol a partir de cotiledones de semillas maduras de variedad violeta (semilla negra), la precipitación se realizó incubando las muestras durante 1 h a -80 °C con isopropanol y acetato de sodio 3 M, los pasos anteriores y posteriores al mencionado se realizaron tal cual se describe en la técnica. Se realizó la cuantificación de la concentración (ng/  $\mu$ l) de cada una de las muestras a fin de determinar su pureza.
- Extracción de RNA total por método de Trizol a partir de cotiledones de semillas maduras de variedad violeta (semilla negra), la precipitación se realizó incubando las muestras "overnight" a -20 °C con isopropanol y acetato de sodio 3 M, los pasos anteriores y posteriores al mencionado se realizaron tal cual se describe en la técnica. Se realizó la cuantificación de la concentración (ng/  $\mu$ l) de cada una de las muestras a fin de determinar su pureza.

#### **4.2.3. Determinación de la calidad de RNA**

La determinación de la calidad de RNA para cada una de las muestras se realizó en gel de agarosa al 1% con Bromuro de etidio, el buffer de corrida empleado fue TAE (Tris, Ácido acético glacial, EDTA 0.5 M pH 8) 1X, tomando 1  $\mu$ l de muestra y 2  $\mu$ l de buffer de carga (0.25% azul de bromofenol, 0.25% xileno cianol, 40% sacarosa). Se corrió a 70 volts por 40 min. Posteriormente se visualizó en el equipo Fotodocumentador Gel Doc EZ<sup>TM</sup> Imager de Bio Rad con el programa Image Lab<sup>TM</sup> Software Versión 5.1 para RNA.

#### **4.2.4. Cuantificación de la concentración de RNA**

Para determinar la cantidad de RNA extraído se tomó 1  $\mu$ l de muestra para ser cuantificada en el equipo Nanodrop 2000, la determinación de la concentración en ng/ $\mu$ l se realizó con el programa Nano Drop 2000/2000c Thermocientific para RNA.

Antes de utilizar el equipo se realizaron de dos a tres lavados con agua mQ estéril a fin de evitar interferencia en los resultados debido a residuos de otras muestras.

El equipo se calibró con un blanco que fue H<sub>2</sub>O-DEPC estéril y posteriormente se realizó la lectura de las muestras.

#### **4.2.5. Purificación RNAm**

La purificación de RNAm a partir de RNA total extraído por método de Trizol se realizó con columna oligo dT, la cual se lavó previo a su uso con 3 ml de H<sub>2</sub>O-DEPC estéril seguido de 3 ml de solución NaOH 0.1 M - EDTA 5mM, posteriormente se adicionaron nuevamente 3 ml de H<sub>2</sub>O-DEPC estéril verificando que el pH de la columna fuera menor a 8, cuando se llegó a pH menor a 8, se lavó la columna con 1 ml de buffer 1X (20 mM Tris-HCl pH 7.6, 0.5 M NaCl, 1mM EDTA, 0.1% SDS), el RNA total se calentó a 65°C por 5 min llevándolo a hielo inmediatamente por 2-3 min adicionando al mismo tubo buffer 2X (20 mM Tris-HCl pH 7.6, 0.5M NaCl, 1mM EDTA, 0.1% SDS) en volumen proporcional a la cantidad de RNA total contenido en el mismo, se homogenizó la muestra y se adicionó a la columna de oligo dT, el filtrado se colectó en un tubo nuevo, el cual se calentó nuevamente a 65 °C por 5 min y se llevó a hielo inmediatamente por 2-3 min adicionando nuevamente a la columna, una vez filtrada la muestra se procedió a realizar el lavado de la columna con 2 ml de buffer 1X (20 mM Tris-HCl pH 7.6, 0.5 M NaCl, 1mM EDTA, 0.1% SDS) seguido de 1 ml de solución NaCl 0.1 M, el RNAm contenido en la columna se eluyó en un tubo nuevo con 600 µl de buffer de elución (10 mM Tris-HCl pH 7.5, 1 mM EDTA, 0.05% SDS), al mismo tubo se adicionaron 60 µl de acetato de sodio 3 M pH 5.2 seguido de 1 ml de etanol al 70% frío (-20 °C. La muestra se mantuvo a -20 °C toda la noche, al día siguiente se centrifugó la muestra a 10 000 rpm por 20 min a 4°C, se decantó el sobrenadante y se adicionó 1ml de etanol frío al 70% centrifugando bajo las mismas condiciones, se dejó secar la pastilla a temperatura ambiente y se resuspendió en 6 µl de H<sub>2</sub>O-DEPC estéril, la muestra finalmente se almacenó a -80°C hasta su uso.

#### 4.2.6. Cuantificación de RNAm

Para determinar la cantidad de RNAm purificado, se tomó 1  $\mu\text{l}$  de muestra para ser cuantificada en el equipo Nanodrop 2000, la determinación de la concentración se obtuvo en  $\text{ng}/\mu\text{l}$  mediante el uso del programa Nanodrop 2000/2000c Thermocientific para RNA. Antes de utilizar el equipo se realizaron de cuatro a cinco lavados con agua milli-Q estéril a fin de evitar interferencia en los resultados debido a residuos de otras muestras.

El equipo se calibró con un blanco que fue  $\text{H}_2\text{O}$ -DEPC estéril y posteriormente se realizó la lectura de las muestras.

#### 4.2.7. Síntesis de cDNA

La síntesis de cDNA se realizó en diversas etapas empleando el kit SuperScript® Plasmid System with Gateway® Technology for cDNA Synthesis and Cloning de Invitrogen

##### - Síntesis de adaptador cadena

A partir del RNAm purificado se preparó una muestra a una concentración de 5  $\mu\text{g}$  que se resuspendieron en 5  $\mu\text{l}$  de  $\text{H}_2\text{O}$ -DEPC estéril, a los cuales se adicionaron 2  $\mu\text{l}$  de Adap Not I, se calentó la muestra a 70 °C por 10 min y se llevó a hielo inmediatamente, se adicionaron 4  $\mu\text{l}$  de buffer 5X de síntesis de primer cadena (250 mM Tris-HCl pH 8.3), 2  $\mu\text{l}$  de DTT 0.1 M, 1  $\mu\text{l}$  de dNTPs 10 mM, la muestra se calentó a 37°C por 2 min y sobre hielo se adicionaron 5  $\mu\text{l}$  de Super Script llevando nuevamente a incubar por 1 h a 37°C y llevar a 4°C.

##### - Síntesis de segunda cadena

Trabajando sobre hielo se adicionaron 91  $\mu\text{l}$  de  $\text{H}_2\text{O}$ -DEPC, 30  $\mu\text{l}$  Buffer 5X de síntesis de segunda cadena (100 mM, Tris-HCl pH 6.9, 450 mM KCl, 23 mM  $\text{MgCl}_2$ , 0.75 mM  $\beta$  NAD<sup>+</sup>, 50 mM  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), 3  $\mu\text{l}$  de dNTPs 10 mM, 1  $\mu\text{l}$  de DNA ligasa, 4  $\mu\text{l}$  de DNA polimerasa, 1  $\mu\text{l}$  de RNAsa H obteniendo un volumen final de 150  $\mu\text{l}$  de

reacción, la cual se incubó por 2 h a 16 °C, se adicionaron 2 µl de DNA ligasa y se continuó incubando por 5 min a 16 °C, se colocó sobre hielo la muestra y se adicionaron 10 µl de EDTA 0.5 M, 150 µl de fenol: cloroformo: alcohol isoamilico (25:24:1) mezclando y centrifugando a temperatura ambiente a 11 600 rpm por 5 min, en tubo nuevo se colocaron 140 µl de la fase superior y se adicionaron 70 µl de acetato de amonio 7.5M y 500 µl de etanol absoluto frio, se centrifugó a 11 600 rpm por 20 min, se decantó sobrenadante y se lavó la pastilla con 500 µl de etanol al 70% frio centrifugando a 11 600 rpm por 2 min decantando el sobrenadante, se dejó secar la pastilla a 37 °C para permitir que el etanol se evaporara.

Se realizó la adición de adaptadores Sal I digestión con Not I en base a protocolo descrito en el kit seguido de una cromatografía para fraccionar los fragmentos de cDNA y realizar la clonación de los fragmentos de mayor tamaño.

Se resuspendió la pastilla de cDNA en 10 µl de H<sub>2</sub>O-DEPC y almacenó a -80 °C.

#### - **Cuantificación de cDNA**

Para determinar la cantidad de cDNA obtenido, se tomó 1 µl de muestra para ser cuantificada en el equipo Nanodrop 2000, la determinación de la concentración se obtuvo en ng/µl mediante el uso del programa Nano Drop 2000/2000c Thermocientific para DNA. Antes de utilizar el equipo se realizaron de cuatro a cinco lavados con H<sub>2</sub>O-milli-Q estéril a fin de evitar interferencia en los resultados debido a residuos de otras muestras.

El equipo se calibró con un blanco que fue H<sub>2</sub>O-DEPC estéril y posteriormente se realizó la lectura de la muestra.

#### - **Ligación de cDNA al vector**

A partir de una concentración mínima necesaria de > 7ng/ µl se procedió a colocar en un tubo 4 µl de buffer 5X T4 DNA ligasa (250 mM Tris-HCl Ph 7.6, 50 mM MgCl<sub>2</sub>, 5 mM ATP, 5 mM DTT, 25% (w/v) PEG 8000) , 1 µl de vector pSPORT 1, concentraciones de 10, 20 y 30 ng de cDNA para cada ligación realizada y se

llevaron a un volumen de 19  $\mu$ l con H<sub>2</sub>O-DEPC adicionando 1  $\mu$ l de T4 DNA ligasa (1 unidad/ $\mu$ l), se dejaron incubando las reacciones a 25°C por 3 h y posteriormente se transfirieron a 4°C por toda la noche, finalmente se guardaron a -20 °C hasta su uso.

#### **4.2.8. Biblioteca de cDNA**

##### **4.2.8.1. Electroporación**

Se realizaron dos ensayos de electroporación de manera independiente en electroporador micropulser de Bio Rad, las celdas para electroporar se colocaron en hielo, se tomaron 25  $\mu$ l de células electrocompetentes DH10B de Invitrogen previamente descongeladas sobre hielo y se adicionaron a las celdas, se tomó 1  $\mu$ l de ligación y se adicionó a la celda (como control positivo se utilizó el vector pUC19). Se secó el exceso de agua en el exterior de la celda, la cual se colocó en el equipo previamente calibrado y se dio el pulso eléctrico, se retiró la celda del equipó y se adicionó 1  $\mu$ l de medio sock homogeneizando y transfiriendo la muestra a tubo eppendorf estéril de 1.5 ml (procedimiento se realizó para cada una de las tres ligaciones empleadas y el control positivo), se incubaron las células electrocompetentes a 37 °C por 1 h, finalmente se plaquearon 200  $\mu$ l de células por caja de medio LB de la marca IBI scientific, adicionado con carbemicilina (100 $\mu$ g/ml), se incubaron a 37°C por 16 h y se realizó conteo de colonias.

##### **4.2.8.2. Tamizado de colonias**

Una vez observado crecimiento de colonias transformadas en medio de selección después de la electroporación correspondiente a cada ensayo, se procedió a realizar tamizado de las mismas con ayuda de palillo estéril, se crecieron en placas de medio LB sólido con carbemicilina (100 $\mu$ g/ml) durante 16 horas a 37 °C por duplicado, después se tomaron las clonas de uno de los duplicados y se crecieron individualmente en placas de 96 pozos en 200  $\mu$ l de medio LB líquido adicionado con carbemicilina (100  $\mu$ g/ml) durante 16 h a 37 °C con agitación. Después de



transcurrido el tiempo de incubación se procedió a adicionar 50  $\mu$ l de glicerol estéril (concentración final 20%) a cada uno de los pozos de la placa con muestra para tener un respaldo de las clonas transformadas, el cual fue almacenado a -80 °C.

#### 4.2.9. Obtención de DNA plasmídico

La obtención de DNA plasmídico de la las clonas transformadas fue mediante dos técnicas a partir de la segunda caja de duplicado:

- **Choque térmico:** se colocaron las muestras en placas de 96 pozos tomando muestra de cada clona con ayuda de un palillo estéril, el cual se “enjuagó” en 90  $\mu$ l de H<sub>2</sub>O-milli-Q de manera individual, posteriormente se llevaron a baño María a 70 °C por 10 min e inmediatamente a hielo, posteriormente las muestras se almacenaron a -20 °C hasta su uso.
- **Kit GenElute™ Plasmid Miniprep:** este proceso se utilizó para realizar la extracción de DNA plasmídico de clonas seleccionadas para secuenciación a partir de los resultados de PCR. Cada una de las muestras (cultivo celular de cada clona seleccionada se realizó en tubos “falcon” tomando 8 ml de medio LB adicionado con carbemicilina, se inocularon individualmente muestras de cada una de las clonas seleccionadas y se dejaron crecer por 16 h a 37 °C en agitación) se adicionó de manera individual a tubos eppendorf de 2 ml, se centrifugaron a 10 000 rpm por 1 min y se decantó sobrenadante (hasta agotar el cultivo celular), posteriormente se resuspendió la pastilla en 200  $\mu$ l de solución de re suspensión mezclando suavemente con ayuda de la pipeta por 5-6 veces, se adicionaron a las muestras 200  $\mu$ l de solución de lisis mezclando suavemente de 6-8 veces sin exceder los 5 min, después se neutralizaron las muestras con 350  $\mu$ l de solución de neutralización mezclando suavemente de 6-8 veces y se centrifugaron a 10 000 rpm durante 10 min y mantener el sobrenadante, mientras se centrifugaron las muestras se procedió a realizar la preparación de la columna Gene Elute Miniprep Binding (una columna por

muestra), la cual se colocó en tubo eppendorf y se adicionaron 500  $\mu$ l de solución de preparación de columna, se centrifugó a 10 000 rpm por 2 min y decantó sobrenadante, una vez preparada la columna se cargó el sobrenadante de las muestras, se centrifugó a 10 000 rpm por 1 min y decantó sobrenadante, se adicionó a la columna 750  $\mu$ l de solución de lavado, centrifugó a 10 000 rpm por 1 min y decantó sobrenadante. La columna se transfirió a tubo nuevo y se eluyó la muestra con 50  $\mu$ l de H<sub>2</sub>O- mQ estéril (no se utilizó la solución de resuspensión del kit ya que contiene EDTA que puede interferir en la secuenciación de las muestras).

#### 4.2.10. PCR

Para realizar los PCR de DNA plamídico correspondientes a la identificación del gen de interés se utilizó el kit para PCR Platinum® PCR Supermix, se llevaron a cabo en un Termociclador marca Techne Techgene 5D con el programa para DNA.

**Tabla 4.5.** Componentes para una reacción PCR en volumen de 20  $\mu$ l

Componente	Concentración	Cantidad [final]
Mix	10 X	2 $\mu$ l (1 X)
MgCl <sub>2</sub>	50 mM	0.8 $\mu$ l (2 mM)
dNTPs	10mM	0.5 $\mu$ l (0.25 mM)
Taq DNA Pol	5 U/ $\mu$ l	0.3 $\mu$ l (0.75 U/ $\mu$ l)
DNA templado	-----	3 $\mu$ l
Adaptador Forward	2 $\mu$ M	2 $\mu$ l (0.2 $\mu$ M)
Adaptador reverse	2 $\mu$ M	2 $\mu$ l (0.2 $\mu$ M)
H <sub>2</sub> O-mQ estéril	-----	9.4 $\mu$ l

Los adaptadores empleados en la reacción de PCR son adaptadores degenerados (Tabla 4.6), diseñados a partir de la secuenciación de la cadena N- terminal del inhibidor de proteasas de chan obtenida por Aguirre *et al.*, 2004, con la temperatura de alineamiento específica para cada juego de adaptadores.

**Tabla 4.6.** Secuencia de adaptadores diseñados a partir de la cadena N- terminal del Inhibidor de proteasas de chan.

ADAPTADOR	SECUENCIA	T <sub>m</sub> (°C)
<b>HSTIF1</b>	CGI GGN TGG GGN TCI GAY G	69
<b>HSTIF2</b>	AGR GGN TGG GGN AGY GAY G	65
<b>HSTIF3</b>	CGI GGN TGG GGN AGY GAY G	68
<b>HSTIF4</b>	AGR GGN TGG GGN TCI GAY G	65
<b>ODT</b>	CCCCGAATTCGGGAAGCTTTTTTTTTTTTTTTTTT TTTTTTTT	76
<b>ODR</b>	GCTTCCCGAATTCGGGG	64

Las condiciones de PCR fueron: Desnaturalización: 94 °C por 5 min, 94 °C, por 1 min, Alineamiento: T<sub>m</sub> del adaptador por 1 minuto, Extensión: 72 °C x 1 minuto, 72 °C x 10 minutos, Finalización: 4 °C x ∞ con 35 ciclos.

#### 4.2.11. Primer Secuenciación

Para enviar muestras a secuenciación, se seleccionaron clonas en base a los PCR realizados, la extracción de DNA plasmídico se realizó mediante el Kit GenElute™ Plasmid Miniprep (cuya metodología se describe anteriormente). Se seleccionaron 69 muestras en total para secuenciar con repetición de la muestra F7 (etiquetada como 398CR como se observa en la tabla 4.7) considerando los dos ensayos de electroporación realizados en donde se obtuvieron 64 y 462 clonas respectivamente), las cuales se llevaron a la Unidad de Servicios genómicos LANGEBIO-CINVESTAV

Irapuato, en placa de 96 pozos con 15  $\mu$ l de cada muestra cuya A 260/280 se ubicó entre los valores 1.8-2, y la concentración promedio de las muestras fue de 60 ng/  $\mu$ l.

**Tabla 4.7.** Orden de muestras secuenciadas en LANGEBIO-CINVESTAV

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	A1 (1C)	A2 (2C)	A3 (3C)	A4 (4C)	A5(5C)	A6 (6C)	A7 (7C)	A8 (8C)	A9 (9C)	A10 (10C)	A11(11C)	A12 (12C)
B	B1 (13C)	B2 (14C)	B3 (15C)	B4 (16C)	B5 (17C)	B6 (18C)	B7 (19C)	B8 (20C)	B9 (21C)	B10 (22C)	B11 (23C)	B12 (24C)
C	C1(25C)	C2 (32C)	C3 (33C)	C4 (34C)	C5 (35C)	C6 (36C)	C7 (49 C)	C8 (50C)	C9 (51C)	C10 (52C)	C11 (53C)	C12 (54C)
D	D1 (55C)	D2 (56C)	D3 (57C)	D4 (58C)	D5 (59C)	D6 (60C)	D7 (61C)	D8 (62C)	D9 (63C)	D10 (64C)	D11 (385C)	D12 (386C)
E	E1 (387C)	E2 (388C)	E3 (389C)	E4 (390C)	E5 (391C)	E6 (392C)	E7 (393C)	E8 (394C)	E9 (395C)	E10 (396C)	E11 (397C)	E12 (398C)
F	F1 (399C)	F2 (400C)	F3 (401C)	F4 (402C)	F5 (403C)	F6 (404C)	F7 (398CR)	F8 (406C)	F9 (407C)	F10 (408C)	F11	F12
G	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12
H	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12

#### 4.2.12. Digestiones con enzimas de restricción *EcoRI* y *HindIII*

- Digestión con *EcoRI*: Se llevó a cabo la digestión de DNA plasmídico de las 69 muestras enviadas a secuenciar de manera individual con la enzima de restricción *EcoRI* (Fermentas) en una reacción de 10  $\mu$ l (69 reacciones) con los componentes descritos en la tabla 4.8

**Tabla 4.8.** Componentes de las reacciones de digestión con *EcoRI*

Componente	Cantidad
Buffer 5 X	1 $\mu$ l
DNA plasmídico	5 $\mu$ l
Enzima <i>EcoRI</i> (10 U/ $\mu$ l)	0.2 $\mu$ l
H <sub>2</sub> O-mQ	3.8 $\mu$ l

La reacción se incubó por 2 h a 37 °C, posteriormente se almacenó a 4 °C y posteriormente se realizó electroforesis.

- Digestión con *HindIII*: Se llevó a cabo la segunda digestión con la enzima de restricción *HindIII* (Fermentas) de las muestras seleccionadas 61, 63, 385, 386, 388 y 398 (de las 69 muestras) después de la digestión con *EcoRI* y PCR de confirmación de amplificación de los pool seleccionados (apartado 4.2.10), la reacción fue de 10  $\mu$ l de volumen con los componentes descritos en la tabla 4.9

**Tabla 4.9.** Componentes de las reacciones de digestión con *HindIII*

Componente	Cantidad
Buffer 10 X	1 $\mu$ l
DNA plasmídico	5 $\mu$ l
Enzima <i>HindIII</i>	0.2 $\mu$ l
H <sub>2</sub> O-mQ	3.8 $\mu$ l

La reacción se incubó por 2 h a 37 °C, posteriormente se almacenó a 4 °C para realizar electroforesis.

#### 4.2.13. PCR de confirmación de amplificación para seleccionar clonas para segunda secuenciación

En base a los resultados de PCR en donde se probaron distintas condiciones y los resultados de la digestión con enzima de restricción *EcoRI*, se seleccionaron de los últimos pool obtenidos los siguientes pool: pool 6 (clona 32, 34, 35, 36, 61 y 63) correspondiente al primer ensayo de electroporación y pool 1 (clona 385, 386, 387 y 388) y pool 4 (clona 397, 398, 399 y 400) del segundo ensayo de electroporación a partir de los cuales se tomó el DNA individual de cada clona para la reacción de PCR, se utilizó pool de adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y como reverse el adaptador T7 de T4 oligo a una T<sub>m</sub> de 57 °C y las especificaciones ya detalladas en el apartado 4.2.10., a partir de dichos resultados se seleccionaron las muestras a partir de las cuales en la imagen de electroforesis se observaron con mayor definición e intensidad de bandas para llevar a cabo la segunda digestión con la enzima *HindIII* (apartado 4.2.12.).

**4.2.14. Segunda Secuenciación**

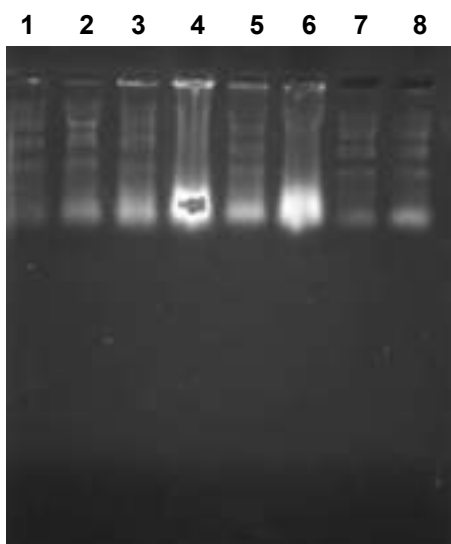
En base a los resultados de PCR de confirmación de secuenciación de los pool seleccionados y digestión con enzimas de restricción (apartado 4.2.12.), se obtuvieron muestras de DNA plasmídico para enviar a secuenciar, las muestras fueron enviadas a la Unidad de Secuenciación e Identificación de Polimorfismos del Instituto Nacional de Medicina Genómica ubicado en la ciudad de México (INMEGEN), en total fueron 6 muestras cuya relación de A 260/280 se ubicó entre los valores 1.8-2, y la concentración promedio de las muestras fue de 60 y 130 ng/ $\mu$ l.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Extracción de RNA total por método de Trizol

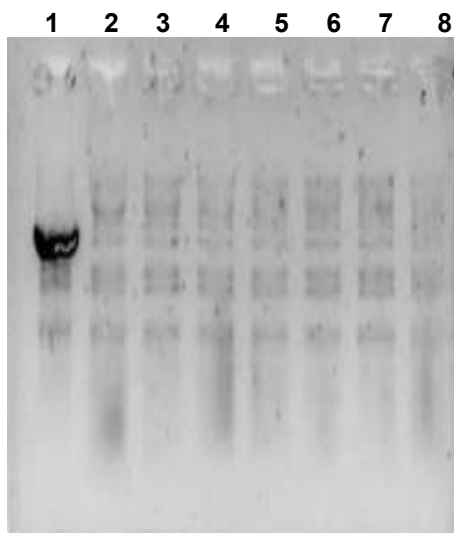
Se ha reportado en diversos protocolos de extracción y manejo como base que la calidad de RNA total se determina mediante una escala de referencia basada en la lectura de concentraciones expresada en ng/ $\mu$ l y evaluada en una relación de absorbancia de 260/280 nm en la cual se considera que el material genético es de alta pureza si se encuentra en un rango superior a 1.8-2, si es inferior a 1.6 se encuentra contaminado por solventes o constituyentes propios de la semilla, si se encuentra superior a 1.6 pero inferior a 1.8 se deduce que no todos los contaminantes de material genético

#### 5.1.1. Extracciones de RNA total de semilla con testa a partir de plantas establecidas en el invernadero del ITR y semilla del estado de Colima



**Figura 5.1.** Electroforesis en gel de agarosa al 1% de muestras de RNA de semilla madura e inmadura de chan (1: 2  $\mu$ l de semilla silvestre inmadura del ITR; 2: 5  $\mu$ l de semilla silvestre inmadura del ITR; 3: 2  $\mu$ l de semilla blanca inmadura; 4: 5  $\mu$ l de semilla blanca inmadura; 5: 2  $\mu$ l de semilla silvestre madura de Colima; 6: 5  $\mu$ l de semilla silvestre madura de Colima; 7: 2  $\mu$ l de semilla silvestre madura del ITR; 8: 5  $\mu$ l de semilla silvestre madura del ITR).

En la figura 5.1 correspondiente a extracción de RNA total a partir de semilla madura e inmadura de chan de variedad violeta y blanca, se logra apreciar que la mayor definición de bandas en general se logra a un volumen de carga de 2  $\mu$ l en los carriles 1 (semilla silvestre inmadura), 3 (semilla blanca inmadura), 5 (semilla silvestre madura Colima) y 7 (semilla silvestre madura ITR) ya que en contraste en el carril 4 (semilla blanca inmadura) y 6 (semilla silvestre madura de Colima) la concentración de material genético no permite observar bandas definidas lo que puede confundirse con degradación de material genético, en este paso es esencial definir la calidad de material genético ya que es paso fundamental a pasos posteriores y de ello dependen los posibles resultados esperados.



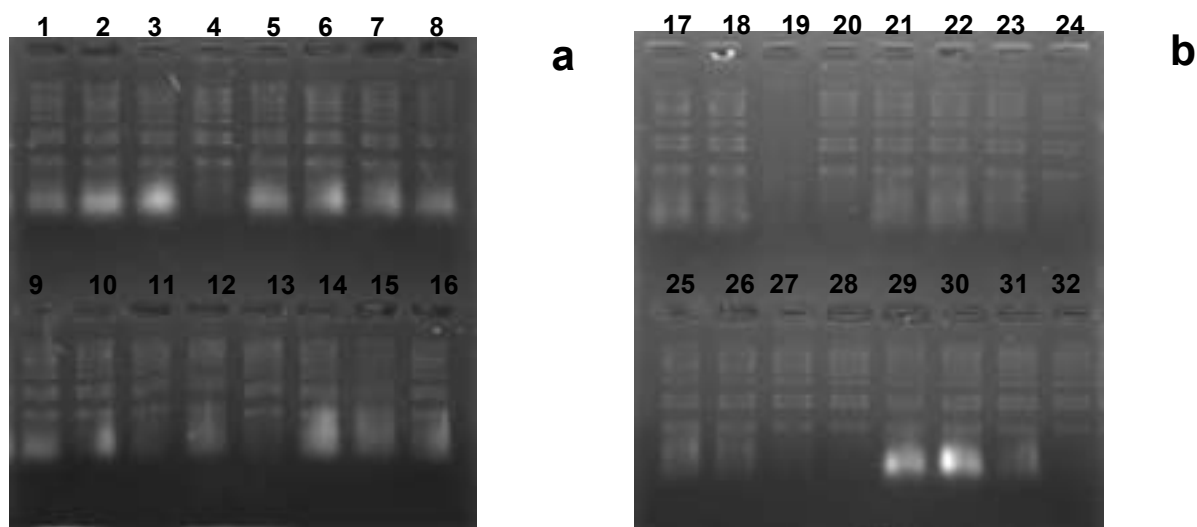
**Figura 5.2.** Electroforesis en gel de agarosa al 1% de muestras de RNA de semilla madura de chan variedad violeta con testa precipitado con acetato de sodio 0.3 M, pH 5.6 (1: MP 1kb; 2: 1  $\mu$ l muestra 1; 3: 1  $\mu$ l muestra 2; 4: 1  $\mu$ l muestra 3; 5: 1  $\mu$ l muestra 4; 6: 1  $\mu$ l muestra 5; 7: 1  $\mu$ l muestra 6; 8: 1  $\mu$ l muestra 7).

Una vez observado que el tiempo de almacenamiento de la semilla y estado de madurez no interfiere en la calidad de material genético obtenido se decidió continuar desarrollar el trabajo de laboratorio con la variedad silvestre (semilla negra)



proveniente del estado de Colima ya que fue el material biológico base en el estudio desarrollado por Aguirre y colaboradores (2004) quienes obtuvieron la secuenciación de la cadena N-terminal del inhibidor de proteasas identificado en la misma, en las muestras procesadas posteriormente al ser precipitadas con acetato de sodio (Figura 5.2.) se observó mayor definición de bandas, a pesar de observarse tenues la concentración no se encontró en valores muy bajos en cuantificación en Nanodrop cuya concentración promedio fue de 600-800 ng/ $\mu$ l, sin embargo en la relación de A260/280 el valor promedio para las muestras tratadas fue 1.4, un valor muy bajo en la escala de pureza, la cual debe ser mayor a 1.8, muestras que se trataron posteriormente de manera similar mostraron un patrón semejante de bandas en la electroforesis realizada como se observa en la figura 5.3.

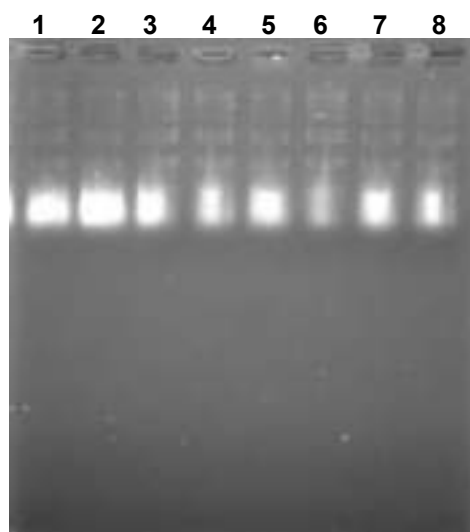
#### 5.1.2. Extracción de RNA total a partir de semilla proveniente del estado de Colima



**Figura 5.3.** Electroforesis en gel de agarosa al 1% de 32 muestras de RNA de semilla de chan variedad violeta (se cargó 1  $\mu$ l de cada muestra correspondiente).

En la electroforesis de la figura 5.3 se observan bandas definidas en la mayoría de las muestras, lo que podría sugerir que es material genético de calidad, sin embargo en los resultados de las lecturas en equipo Nanodrop se obtuvo un rango promedio de A 260/280 entre 1.1-1.5 y una concentración promedio de 570 ng/ $\mu$ l, dicha concentración se consideró baja lo anterior debido a que independientemente de la técnica de extracción empleada y la especie de trabajo, no se ha reportado un estándar óptimo de concentración pues dicho valor se encuentra ligado a diversos parámetros, sin embargo éste se puede estimar de manera proximal basándose en la intensidad de banda obtenida por electroforesis y haciendo una relación en cuanto a los valores obtenidos por espectrofotometría.

### 5.1.3. Extracción de RNA total a partir de cotiledones de semilla proveniente del estado de Colima

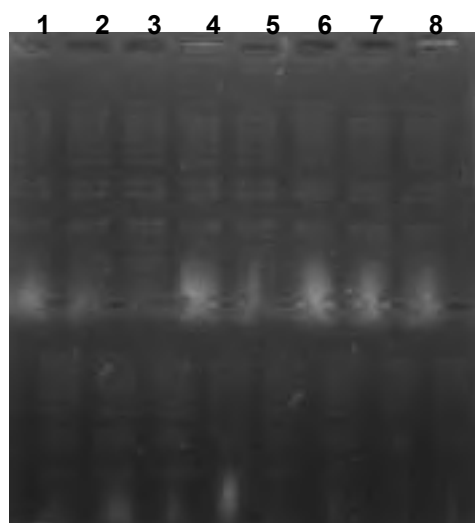


**Figura 5.4.** Electroforesis en gel de agarosa al 1% de 8 muestras de RNA de cotiledones de semilla de chan variedad violeta (se cargó 1  $\mu$ l de cada muestra correspondiente).

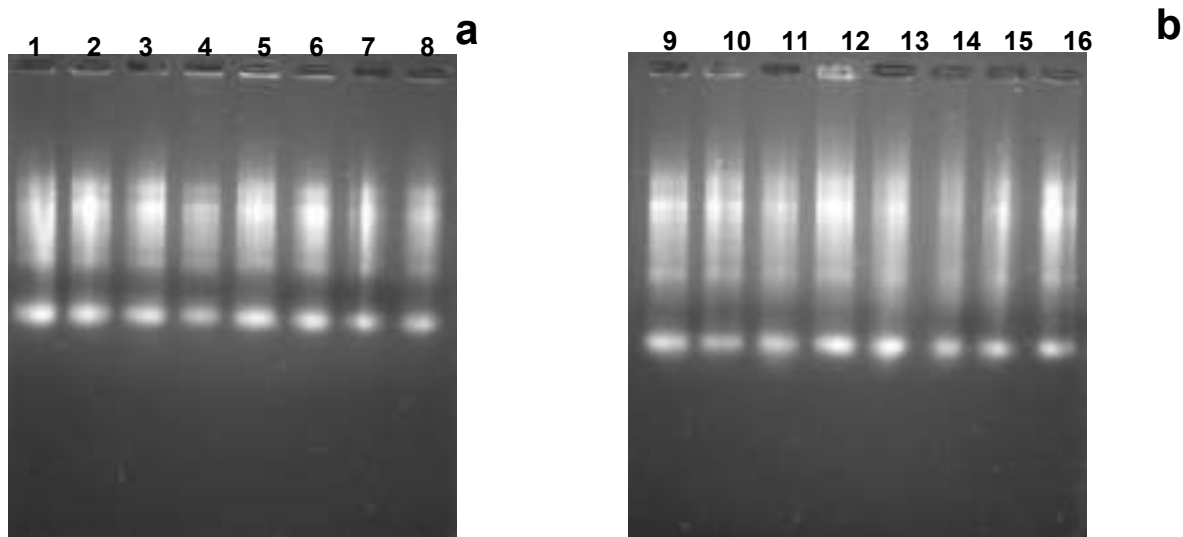
Dado la baja calidad de material genético obtenida tanto en muestras de semilla de diferente etapa de maduración y modificación en el protocolo en la precipitación del

material genético se dedujo que la formación de mucílago de la semilla pudiese haber interferido en la técnica de extracción por lo que se eliminó la testa de la semilla y se trabajó con los cotiledones, como se observa en la determinación de la calidad de RNA por electroforesis (Figura 5.4) se observan bandas menos definidas que en los procesos anteriores, sin embargo en la relación A 260/280 se obtuvo un rango promedio de 1.8- 2 indicativo considerable en el aumento de la pureza del RNA extraído cuya concentración promedio fue de aproximadamente 950 ng/ $\mu$ l.

Una vez confirmado con ello que el mucilago formado en la testa interfiere en la calidad de material genético obtenido se procedió a trabajar en el incremento de la concentración de material genético en base a la precipitación de material genético con acetato de sodio 3M.



**Figura 5.5.** Electroforesis en gel de agarosa al 1% de 16 muestras de RNA de cotiledones de semilla de chan variedad violeta (se cargó 1  $\mu$ l de cada muestra correspondiente).



**Figura 5.6.** Electroforesis en gel de agarosa al 1% de 16 muestras de RNA de cotiledones de semilla de chan variedad violeta (se cargó 1  $\mu$ l de cada muestra correspondiente).

En las muestras de cotiledones de chan de la electroforesis correspondiente a la Figura 5.5 y 5.6 respectivamente, la precipitación de RNA se realizó con acetato de sodio 3M, sin embargo el tiempo de precipitación difirió ya que en la figura 5.5 son muestras que se dejaron precipitar por 1 hora a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  con acetato de sodio 3 M, en tanto las muestras de la figura 5.6 (a y b) se dejaron precipitar durante toda la noche con acetato de sodio 3M, la imagen de electroforesis indica que las muestras que permanecieron menos tiempo a temperaturas más altas ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) con el agente precipitante se obtuvieron de mejor calidad a diferencia de las restantes (Figura 5.6 a y b cuya precipitación fue durante toda la noche) en donde no se aprecia definición de bandas, sin embargo en la cuantificación de concentración el valor promedio para las muestras que se precipitaron durante 1 hora a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 5.5) fue de 900 ng/ $\mu$ l con una relación A 260/280 de 1.8-2, y para las muestras tratadas toda la noche a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 5.6 a y b) la concentración promedio fue 1210 ng/ $\mu$ l con una relación A 260/280 de 1.8-2, en base a los resultados probablemente la precipitación a una temperatura más alta ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) por más tiempo permite obtener material genético en mayor concentración pero menor calidad sugiriendo que la temperatura es un factor clave en el proceso de precipitación de material genético por método de Trizol.

## 5.2. Obtención de RNAm

Se ha descrito que las moléculas de RNAm constituyen del 3-5% del RNA total, por lo que fue necesario asegurar la calidad y cantidad de material genético previo a este paso a fin de lograr el mayor rendimiento posible para la purificación de RNAm. En el proceso de purificación de RNAm realizado a partir de muestras de cotiledones de semilla de chan variedad violeta proveniente del estado de Colima precipitadas a  $-20^{\circ}\text{C}$  toda la noche con acetato de sodio 3M, se obtuvo una concentración de RNAm de  $1.4\ \mu\text{g}/\mu\text{l}$ , dicha cantidad de RNAm se dividió en alícuotas y almacenó a  $-80^{\circ}\text{C}$  para su uso en la síntesis de cDNA.

## 5.3. Síntesis de cDNA

Para que haya éxito en la transformación bacteriana se requiere de la mayor calidad y cantidad posible de material genético en todos los procesos ya que se requiere de  $5\ \mu\text{g}/\mu\text{l}$  de RNAm como mínimo para tener el mayor éxito posible, condición descrita en el protocolo del kit SuperScript® Plasmid System with Gateway® Technology for cDNA Synthesis and Cloning de Invitrogen, lo cual se logra desde una extracción de alta pureza de RNA total y eficiencia en el proceso de obtención de RNAm. A partir de  $5\ \mu\text{g}$  de RNAm se logró obtener un rendimiento de  $99\ \text{ng}/\mu\text{l}$ .

## 5.4. Biblioteca de cDNA

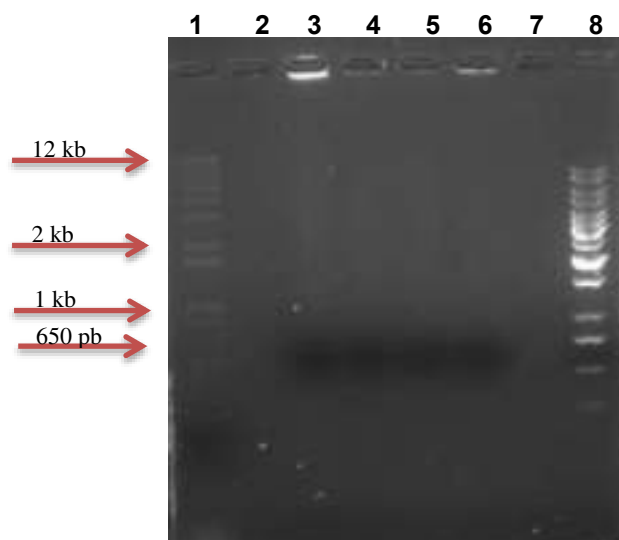
En base a la cantidad de cDNA obtenido y utilizando concentraciones de 10, 20 y 30 ng (apartado 4.2.8.1.) para el proceso de transformación, en el primer ensayo de electroporación se obtuvo una eficiencia de transformación (EF) de  $1.2 \times 10^3$  en el cual se obtuvieron 64 clonas transformadas y en el segundo ensayo fue una EF de  $9.2 \times 10^3$  en donde se obtuvieron 462 clonas transformadas. Realizando una comparación de dichas EF respecto a la que se obtuvo con el control positivo ( $5.38 \times 10^5$ ) son 2 órdenes de magnitud menor pero fundamentales ya que se reporta por la casa proveedora Invitrogen que la eficiencia de transformación del control positivo con el plásmido pUC19 y la cepa de células electrocompetentes DH10B es de  $1 \times 10^{10}$ , el cual es un valor alejado respecto a los resultados obtenidos, sin embargo se procedió con los pasos posteriores de la metodología.

## 5.5. PCR

### 5.5.1. PCR a partir de DNA plasmídico de 64 clonas

- Se realizó PCR con pool de DNA plasmídico de las 64 clonas obtenidas por electroporación, se probaron los adaptadores Forward HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4 en reacciones individuales; como adaptador reverse se utilizó el adaptador universal T7 del kit del vector TOPO de la casa proveedora Thermo Fisher Scientific, las reacciones se probaron a una Tm de 51 °C y demás condiciones descritas para PCR.
- Se realizó PCR con pool de DNA plasmídico de las 64 clonas obtenidas por electroporación, se probaron los adaptadores Forward HSTI (pool de los 4 adaptadores) y como reverse los adaptadores jit, uva y Harab (Gutierrez-Benicio, 2010) en 3 reacciones individuales; a una Tm de 51 °C.
- Se realizó PCR de basado en la obtención de 11 pool iniciales de DNA plasmídico de las 64 clonas transformadas (los adaptadores) 10 pool constituidos por DNA 6 clonas cada uno de manera consecutiva, el pool 11 únicamente por las últimas 4 clonas), como forward se utilizó el pool de adaptadores (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4), como reverse se utilizó el adaptador T7 del kit del vector TOPO de la casa proveedora Thermo Fisher Scientific, las reacciones se realizaron a una Tm de 51 °C, posteriormente se realizó electroforesis para determinar si hubo o no amplificación de fragmentos.
- Se volvió a realizar extracción de DNA plasmídico de las 64 clonas obtenidas inicialmente para preparar nuevos pool (6 en total) constituidos de 12 clonas cada uno a excepción del pool 6 constituido por las ultimas 4 clonas en numeración consecutiva, para las 6 reacciones de PCR se utilizó el pool de adaptadores (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) como forward y el adaptador T7 del kit del vector TOPO de la casa proveedora Thermo Fisher Scientific como reverse a una Tm de 56 °C.

- A partir de los 6 pool obtenidos de la nueva extracción de DNA plasmídico constituidos de 12 clonas cada uno a excepción del pool 6 constituido por las últimas 4 clonas en numeración consecutiva, se llevaron a cabo 6 reacciones de PCR en donde se utilizó el pool de adaptadores (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) como forward y el adaptador T7 de la casa proveedora T4 Oligo como reverse a una  $T_m$  de 57 °C.
- Se procedió a realizar nuevamente extracción de DNA plasmídico para formar nuevos pool para disminuir la cantidad de clonas por pool, a partir de ello se obtuvieron 9 pool de DNA plasmídico de las 64 clonas transformadas (los adaptadores 8 pool constituidos por DNA de 6 clonas cada uno de manera consecutiva, el pool 9 únicamente por las últimas 4 clonas), como forward se utilizó el pool de adaptadores (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4), como reverse se utilizó el adaptador T7 de la casa proveedora T4 Oligo, las reacciones se realizaron a una  $T_m$  de 57 °C, posteriormente se realizó electroforesis para determinar si hubo o no amplificación de fragmentos.
- Se procedió a realizar nuevamente extracción de DNA plasmídico para formar nuevos pool para disminuir la cantidad de clonas por pool, a partir de ello se obtuvieron 9 pool de DNA plasmídico de las 64 clonas transformadas (los adaptadores 8 pool constituidos por DNA de 6 clonas cada uno de manera consecutiva, el pool 9 únicamente por las últimas 4 clonas), como forward se utilizó el pool de adaptadores (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4), como reverse se utilizó el adaptador T7 de la casa proveedora T4 Oligo, las reacciones se realizaron a una  $T_m$  de 55 °C, posteriormente se realizó electroforesis para determinar el tamaño de amplificación de fragmentos y comparar resultados obtenidos a  $T_m$  de 55 y 57 °C.

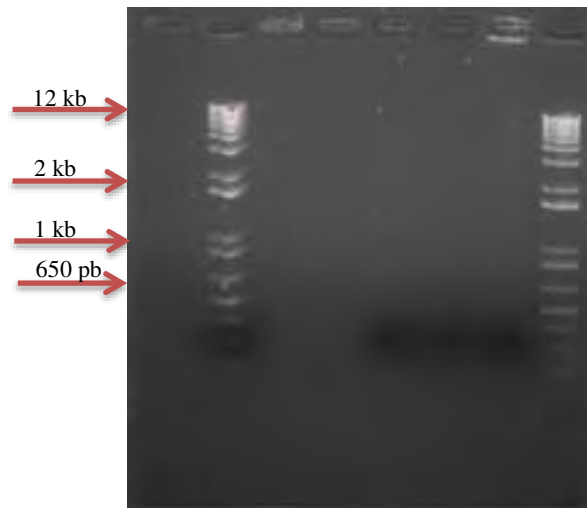


**Figura 5.7.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de reacción de PCR con adaptadores individuales (1: MP 1 kb; 3: 5  $\mu$ l reacción HSTIF1; 4: 5  $\mu$ l reacción HSTIF2; 5: 5  $\mu$ l reacción HSTIF3; 6: 5  $\mu$ l reacción HSTIF4) Tm 51 °C.

En el PCR realizado a una Tm de 51 °C con DNA de las clonas obtenidas en el primer ensayo de transformación (64 clonas) en donde se evaluaron los adaptadores forward individualmente como lo describe la imagen de electroforesis de la figura 5.7 y adaptador reverse T7 del kit del vector TOPO no se obtuvo amplificación de fragmento, por lo que se propuso individualizar el pool general de DNA a fin de tener muestras más pequeñas con mayor concentración de DNA de cada clona que la constituyera.

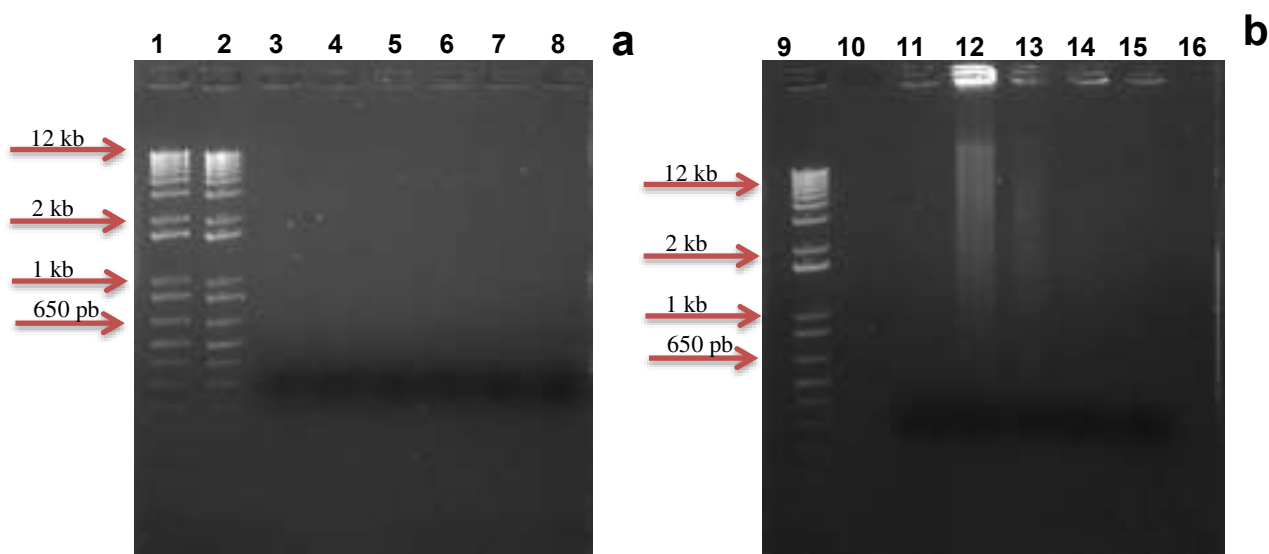
1 2 3 4 5 6 7 8





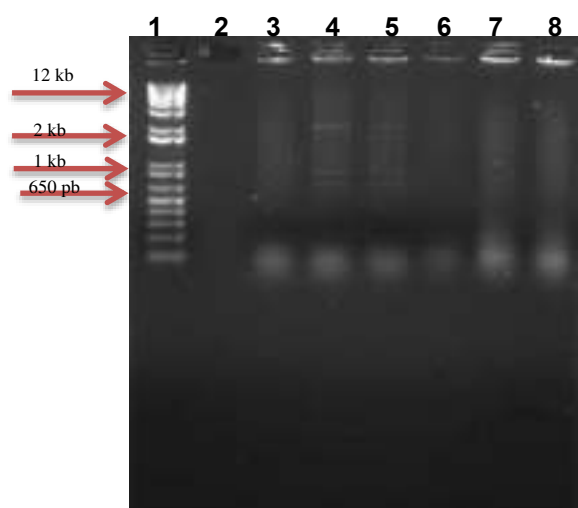
**Figura 5.8.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de reacción de PCR con adaptadores individuales (2 y 8: MP 1 kb; 5: 5  $\mu$ l Jit; 6: 5  $\mu$ l reacción Uva; 7: 5  $\mu$ l reacción Harab) Tm 57 °C.

En el PCR realizado con adaptadores reverse diseñados en un trabajo previo (Dra. Glenda Margarita Gutiérrez Benicio en 2010) a partir de secuencias similares de especies vegetales (jitomate, uva y *Arhabidopsis*) y pool de adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) no se obtuvo amplificación de fragmentos por lo que dichos adaptadores se descartaron para su uso en ensayos posteriores.



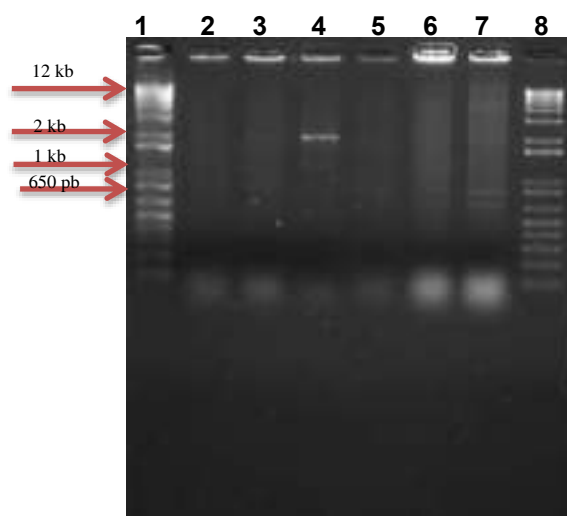
**Figura 5.9.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 11 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 del kit del vector TOPO a una  $T_m$  de 51 °C ( 1, 2 y 9: MP 1kb; 3: 5  $\mu$ l pool 1; 4: 5  $\mu$ l pool 2; 5: 5  $\mu$ l pool 3; 6: 5  $\mu$ l pool 4; 7: 5  $\mu$ l pool 5; 8: 5  $\mu$ l pool 6; 11: 5  $\mu$ l pool 7; 12: 5  $\mu$ l pool 8; 13: 5  $\mu$ l pool 9; 14: 5  $\mu$ l pool 10; 15: 5  $\mu$ l pool 11) .

En reacciones de PCR realizadas a partir de los pool obtenidos de DNA de las 64 clonas y probados con el pool de adaptadores forward empleados en el ensayo y uso del adaptador T7 del kit del vector TOPO como reverse hubo fragmentos de amplificación a excepción de un barrido de inespecificidad observado en el carril 12 de la figura 5.9 correspondiente a muestra de DNA del pool 8 a una  $T_m$  de 51 °C, por lo que se procedió a realizar modificaciones a los valores de  $T_m$  a fin de buscar incrementar la especificidad y definir banda.



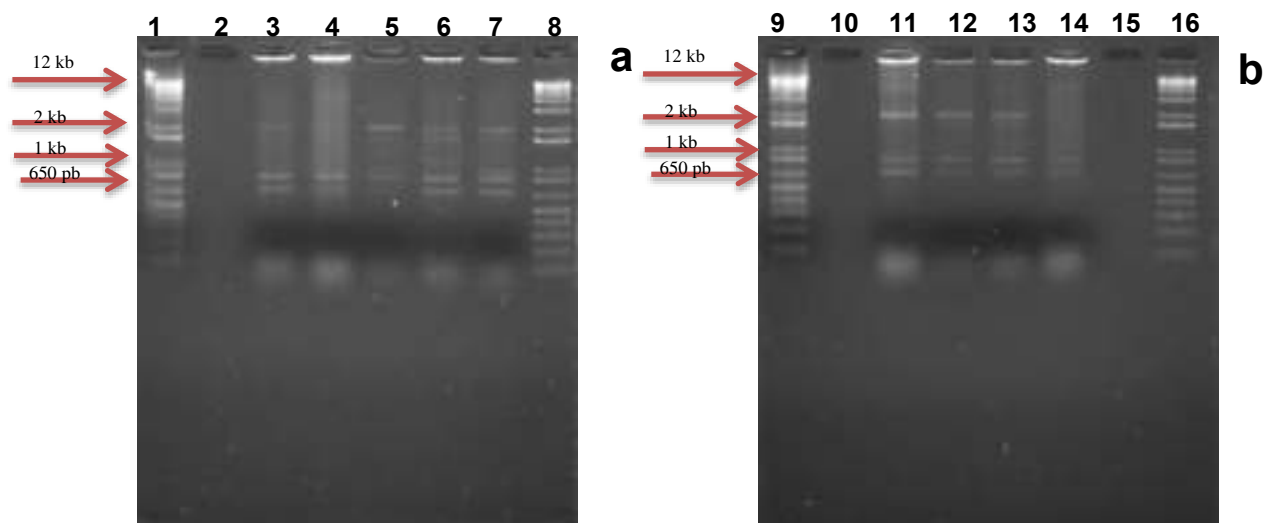
**Figura 5.10.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 6 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 del kit del vector TOPO a una  $T_m$  de  $56\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( 1: MP 1kb; 3:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 1; 4:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 2; 5:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 3; 6:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 4; 7:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 5; 8:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 6; 11:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 7; 12:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 8; 13:  $5\text{ }\mu\text{l}$  pool 9)

En base a los resultados obtenidos en el ensayo de la figura 5.9 se realizaron nuevas reacciones de PCR en las que se incrementó la  $T_m$  a  $56\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se prepararon nuevas muestras de DNA plasmidico (6 nuevos pool) como se describe en la Figura 5.10, bajo las mismas condiciones descritas se llevó a cabo la reacción. Se logró identificar fragmentos de amplificación de aproximadamente 2000, 850 y 650 pb en las muestras correspondientes a los pool 2 y 3 (carril 4 y 5 respectivamente).



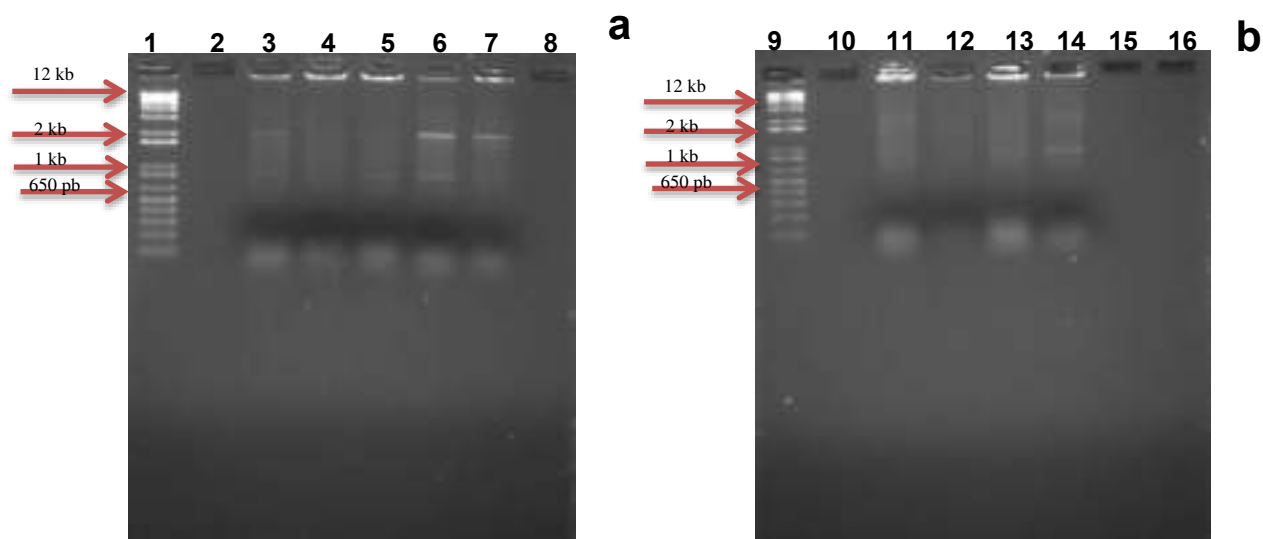
**Figura 5.11.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 6 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 de T4 oligo a una  $T_m$  de 57 °C ( 1 y 8: MP 1kb; 2: 5  $\mu$ l pool 1; 3: 5  $\mu$ l pool 2; 4: 5  $\mu$ l pool 3; 5: 5  $\mu$ l pool 4; 6: 5  $\mu$ l pool 5; 7: 5  $\mu$ l pool 6)

En los resultados de la repetición de PCR de las muestras de la imagen 5.10 en el cual se incrementó la  $T_m$  a 57 °C y se utilizó como el adaptador T7 de T4 oligo como reverse, se logró definir más el fragmento de aproximadamente 2000 pb en el pool 3 (pozo 4) como se observa en la figura 5.11, también se observaron bandas de tamaño aproximado de 650 y 850 en el pozo 7 correspondiente al pool 6, a pesar de observarse el fragmento de amplificación se apreció inespecificidad en el carril por lo que se procedió a incrementar la  $T_m$  para ver si se mostraba incremento de la especificidad. Con ello se observó que con el uso del adaptador T7 de T4 oligo se logró observar mayor definición de fragmentos que con el uso del adaptador T7 del kit del vector TOPO probado a distintas  $T_m$  (Figura 5.10)



**Figura 5.12.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 9 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 de T4 oligo a una  $T_m$  de 57 °C ( 1, 8, 9 y 16: MP 1kb; 3: 5  $\mu$ l pool 1; 4: 5  $\mu$ l pool 2; 5: 5  $\mu$ l pool 3; 6: 5  $\mu$ l pool 4; 7: 5  $\mu$ l pool 5; 11: 5  $\mu$ l pool 6; 12: 5  $\mu$ l pool 7; 13: 5  $\mu$ l pool 8; 14: 5  $\mu$ l pool 9)

Como se mencionó anteriormente en la descripción de la figura 5.11 se buscó incrementar la especificidad de los fragmentos de amplificación observados modificando la  $T_m$  a 57 °C en base a las condiciones descritas en la figura 5.12 a y b así como también la obtención de más pool constituidos por menor número de clonas con lo que se observó que en la mayoría de las muestras se presentó amplificación, los carriles 5 y 14 (pool 3 y 9 respectivamente) mostraron bandas más tenues, en los carriles 3 (pool 1), 4 (pool 2) y 6 (pool 4) se logró apreciar ligeramente la presencia de un fragmento de aproximadamente 2000 pb, el cual se encuentra bien definido en el resto de las muestras en las cuales también se apreciaron fragmentos de 650 y 850 pb aproximadamente.



**Figura 5.13.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 9 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 de T4 oligo a una  $T_m$  de 55 °C ( 1 y 9 MP 1kb; 3: 5  $\mu$ l pool 1; 4: 5  $\mu$ l pool 2; 5: 5  $\mu$ l pool 3; 6: 5  $\mu$ l pool 4; 7: 5  $\mu$ l pool 5; 11: 5  $\mu$ l pool 6; 12: 5  $\mu$ l pool 7; 13: 5  $\mu$ l pool 8; 14: 5  $\mu$ l pool 9)

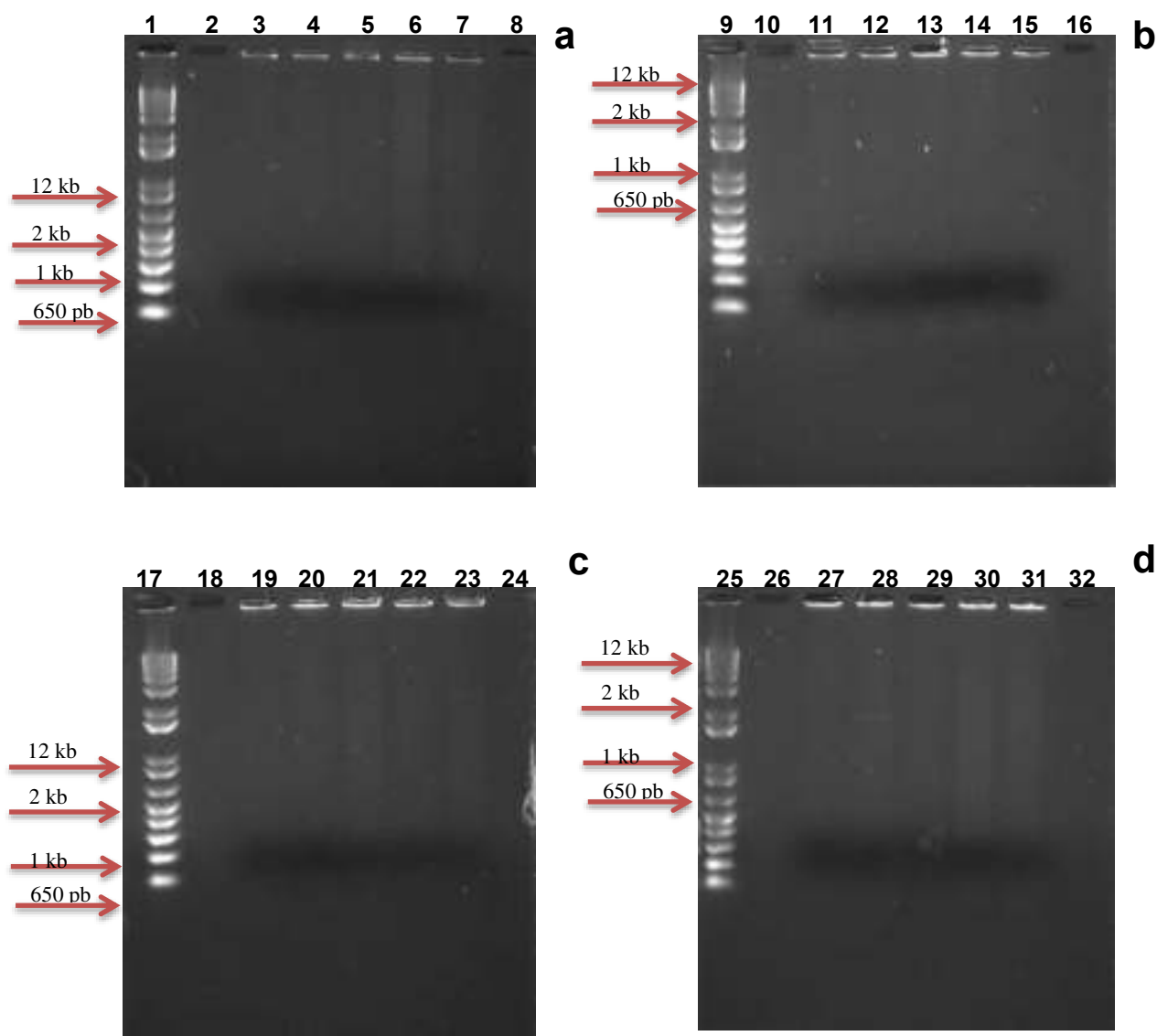
En los resultados obtenidos del PCR realizado bajo las mismas condiciones descritas en la figura 5.12 en donde únicamente se modificó la  $T_m$  a 55 °C, se observó el fragmento de amplificación de aproximadamente 2000 pb en las muestras del carril 6 (pool 4) y carril 7 (pool 5) y únicamente se aprecia el fragmento de aproximadamente 650 pb en los carriles 6 (pool 4) y 14 (pool 9) utilizando como adaptador reverse el T7 de T4 oligo.

### 5.5.2. PCR a partir de DNA plasmídico de 462 clonas

- A partir de las 462 clonas obtenidas como resultado del segundo ensayo de transformación se procedió a realizar pool de DNA plasmídico de las mismas, se obtuvieron 20 pool en total representados cada uno por 24 clonas a excepción del pool 20 constituido por DNA de las últimas 6 clonas, estos pool se utilizaron como templado para las reacciones de PCR realizadas, como forward se utilizó el pool de adaptadores (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4), como reverse se utilizó el adaptador T7 de la casa proveedora T4 Oligo, las reacciones se realizaron a una Tm de 51 °C, posteriormente se realizó electroforesis para determinar la amplificación de fragmentos.
- Se realizó PCR utilizando como adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4), se llevaron acabo en reacciones individuales utilizando DNA plasmídico del pool 17 (462 clonas) como templado, como adaptador reverse se utilizó T7 de la casa proveedora T4 oligo, las reacciones se realizaron probando diferentes Tm, las cuales fueron 53, 55, 57 y 60 °C.
- Se realizó PCR a una Tm de 55 °C utilizando el DNA plasmídico del pool 17 (462 clonas) como templado, las reacciones fueron por separado a fin comparar la eficiencia de los dos adaptadores reverse utilizados en las distintas reacciones, los cuales son el adaptador T7 del kit del vector topo de la casa proveedora Thermo Fisher Scientific y el adaptador T7 de la casa proveedora T4 oligo, dichos adaptadores se adicionaron a reacciones individualizadas de los adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4). El PCR se llevó a cabo a una Tm de 55 °C, en total se obtuvieron 8 reacciones distintas, cuyo resultado se evaluó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5%.

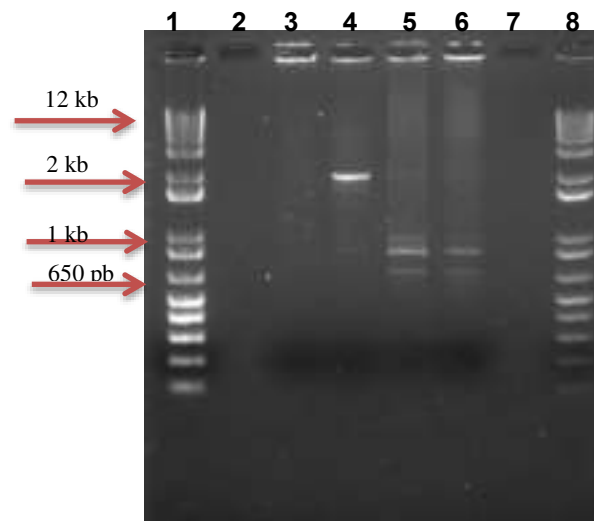
- Se realizó PCR utilizando el DNA plasmídico del pool 17 (462 clonas) como templado, las reacciones fueron por separado a fin comparar la eficiencia de los dos adaptadores reverse utilizados en las distintas reacciones, los cuales son el adaptador T7 del kit del vector topo de la casa proveedora Thermo Fisher Scientific y el adaptador T7 de la casa proveedora T4 oligo, dichos adaptadores se adicionaron a reacciones individualizadas de los adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4). El PCR se llevó a cabo a una  $T_m$  de 57 °C, en total se obtuvieron 8 reacciones distintas, cuyo resultado se evaluó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5%.
- Se realizaron nuevos pool de DNA plasmídico a partir del pool 17 (de las 462 clonas) a fin de reducir el número de clonas por pool, en total se obtuvieron 6 nuevos pool (cada uno con DNA plasmídico de 4 clonas), estos nuevos pool se utilizaron como templado para las reacciones de PCR realizadas, como forward se utilizó el pool de adaptadores (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4), como reverse se utilizó el adaptador T7 de la casa proveedora T4 Oligo, las reacciones se realizaron a una  $T_m$  de 55 y 57 °C, posteriormente se realizó electroforesis para determinar la amplificación de fragmentos.





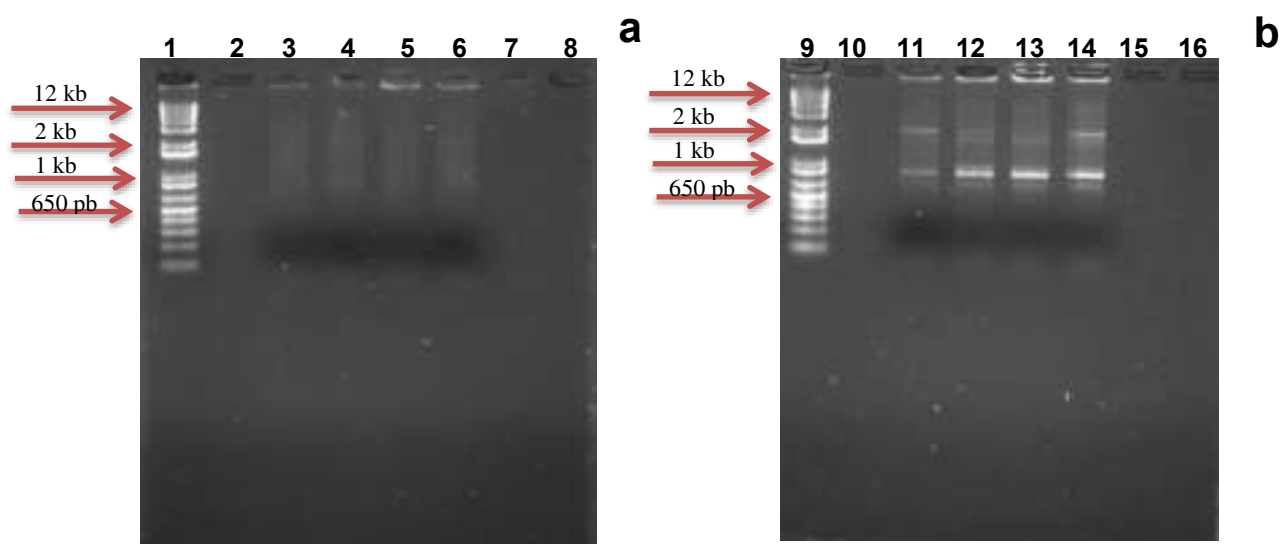
**Figura 5.14.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 20 reacciones de PCR con pool de adaptadores Forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) y adaptador T7 de T4 oligo a una Tm de 51 °C ( 1, 9, 17 y 25: MP 1kb; 3: 5 µl pool 1; 4: 5 µl pool 2; 5: 5 µl pool 3; 6: 5 µl pool 4; 7: 5 µl pool 5; 11: 5 µl pool 6; 12: 5 µl pool 7; 13: 5 µl pool 8; 14: 5 µl pool 9; 15: 5 µl pool 10; 19: 5 µl pool 11; 20: 5 µl pool 12; 21: 5 µl pool 13; 22: 5 µl pool 14; 23: 5 µl pool 15; 27: 5 µl pool 16; 28: 5 µl pool 17; 29: 5 µl pool 18; 30: 5 µl pool 19; 31: 5 µl pool 20)

De los 20 pool obtenidos en el segundo ensayo de electroporación únicamente se observó ligeramente un fragmento de aproximadamente 2000 pb en el carril 28 (pool 17) de la figura 5.14 d, en tanto en las figuras a, b y c no se observó amplificación por lo que se tomó el DNA de dicho pool para los ensayos posteriores.



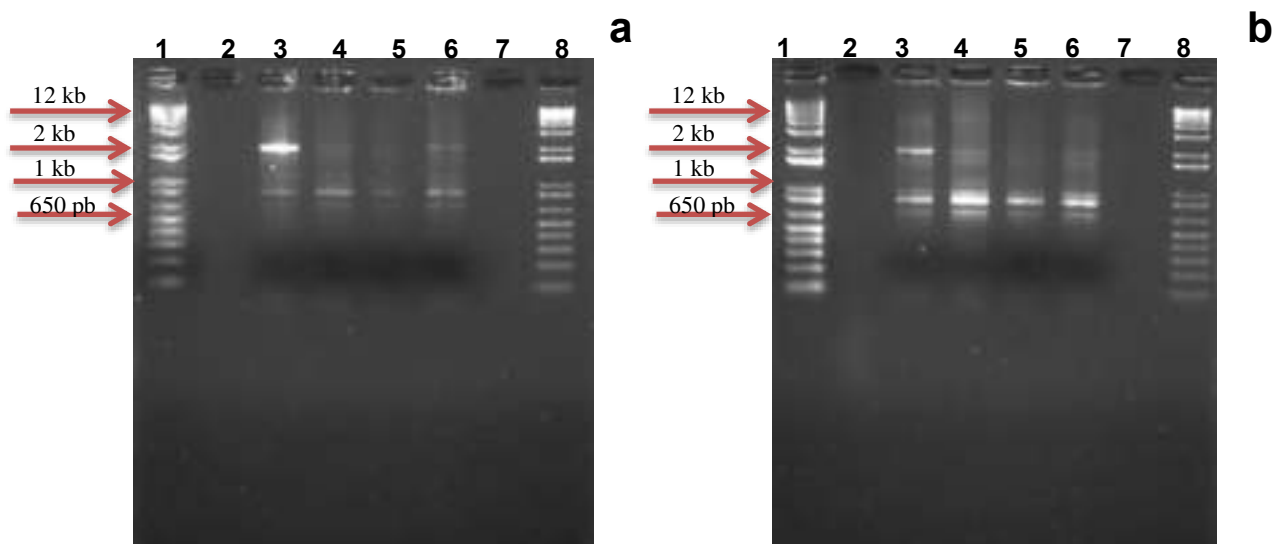
**Figura 5.15.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de PCR de 4 reacciones a diferentes  $T_m$  utilizando pool de adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3, HSTIF4), adaptador T7 de T4 oligo como reverse y DNA plasmídico de pool 17 ( 1 y 8: MP 1kb; 3: 5  $\mu$ l  $T_m$  53 °C; 4: 5  $\mu$ l  $T_m$  55 °C; 5: 5  $\mu$ l  $T_m$  57 °C; 6: 5  $\mu$ l  $T_m$  60 °C)

En el PCR realizado con el DNA del pool 17 (figura 5.14) para probar distintas  $T_m$  se observó que hay fragmentos de amplificación de aproximadamente 2000 pb a una  $T_m$  de 55 °C únicamente, para las  $T_m$  de 57 °C y 60 °C se observaron fragmentos de 650 y 850 pb aproximadamente, y a  $T_m$  de 51 °C no hubo presencia de fragmentos, de ahí que se procedió a trabajar sobre  $T_m$  de 55 °C y 57 °C en los ensayos restantes.



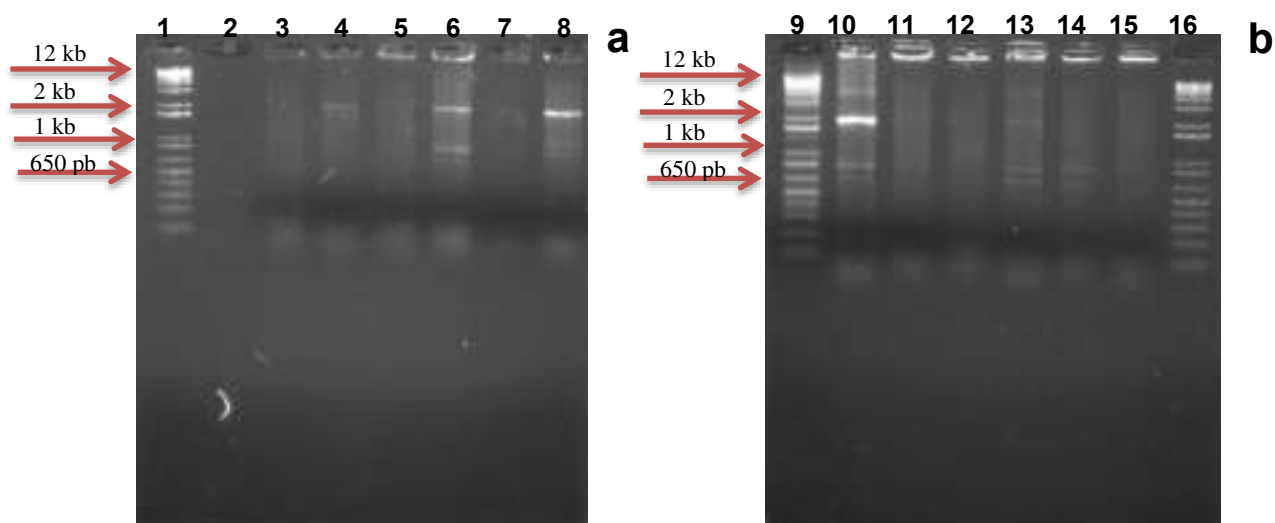
**Figura 5.16.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 8 reacciones de PCR con adaptadores Forward individualizados (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) probados cada uno con los adaptadores reverse T7 de T4 oligo y T7 del kit del vector TOPO a una  $T_m$  de 55 °C ( 1 y 9 MP 1kb; 3: 5  $\mu$ l T7 TOPO-HSTIF1; 4: 5  $\mu$ l T7 TOPO-HSTIF2; 5: 5  $\mu$ l T7 TOPO-HSTIF3; 6: 5  $\mu$ l T7 TOPO-HSTIF4; 11: 5  $\mu$ l T7 de T4 oligo-HSTIF1; 12: 5  $\mu$ l T7 de T4 oligo-HSTIF2; 13: 5  $\mu$ l T7 de T4 oligo-HSTIF3; 14: 5  $\mu$ l T7 de T4 oligo-HSTIF4)

En la electroforesis de los PCR en los que se evaluó la eficiencia de los adaptadores T7 de T4 y T7 del kit del vector TOPO a  $T_m$  de 55°C con adaptadores forward individuales (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) se observó que en las muestras en donde se utilizó el adaptador T7 del kit del vector TOPO no hubo definición de fragmentos de amplificación a diferencia de los resultados obtenidos a la misma  $T_m$  con el adaptador T7 de T4 oligo en donde se apreció la presencia de fragmentos de aproximadamente 2000 pb para los adaptadores HSTIF1 Y HSTIF4 en mayor intensidad que el resto, sin embargo la mayor especificidad se observó en el fragmento de aproximadamente 850 pb apreciado en los carriles 12, 13 y 14 correspondientes a los adaptadores HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4 respectivamente como se aprecia en la figura 5.16, lo que sugiere que el adaptador T7 del vector TOPO perdió su eficiencia de trabajo por razones desconocidas.



**Figura 5.17.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de 8 reacciones de PCR con adaptadores Forward individualizados (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4) probados cada uno con los adaptadores reverse T7 de T4 oligo y T7 del kit del vector TOPO a una  $T_m$  de 57 °C ( 1, 8, 9 y 16 MP 1kb; 3: 5  $\mu$ l T7 TOPO-HSTIF1; 4: 5  $\mu$ l T7 TOPO-HSTIF2; 5: 5  $\mu$ l T7 TOPO-HSTIF3; 6: 5  $\mu$ l T7 TOPO-HSTIF4; 11: 5  $\mu$ l T7 de T4 oligo-HSTIF1; 12: 5  $\mu$ l T7 de T4 oligo-HSTIF2; 13: 5  $\mu$ l T7 de T4 oligo-HSTIF3; 14: 5  $\mu$ l T7 de T4 oligo-HSTIF4)

De igual manera como se describió en la figura 5.16, se sugiere que el adaptador T7 del kit del vector TOPO ya no fue funcional en su totalidad al momento de realizar los ensayos de PCR ya que se presentan diferencias muy marcadas (5.17) en intensidad de bandas en el carril 4, 5 y 6 de la figura a y b respectivamente correspondientes a los adaptadores forward HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4. El fragmento amplificado de mayor intensidad se observó con el adaptador HSTIF2 (carril 4b) como forward y el adaptador T7 de T4 oligo como reverse.



**Figura 5.18.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de las 8 reacciones de PCR, se utilizó pool de adaptadores forward (HSTIF1, HSTIF2, HSTIF3 y HSTIF4), como adaptador reverse se utilizó T7 de T4, se evaluaron 2  $T_m$  diferentes: 55 °C (figura 5.18 a) y 57 °C: ( 1 y 9: MP 1kb; 3: 5  $\mu$ l pool 1  $T_m$  55°C; 4: 5  $\mu$ l pool 2  $T_m$  55 °C; 5: 5  $\mu$ l pool 3  $T_m$  55 °C ; 6: 5  $\mu$ l pool 4  $T_m$  55 °C; 7: 5  $\mu$ l pool 5  $T_m$  55 °C; 8: 5  $\mu$ l pool 6  $T_m$  55 °C; 10: 5  $\mu$ l pool 1  $T_m$  57 °C ; 11: 5  $\mu$ l pool 2  $T_m$  57 °C ; 12: 5  $\mu$ l pool 3  $T_m$  57 °C; 13: 5  $\mu$ l pool 4  $T_m$  57 °C; 14: 5  $\mu$ l pool 4  $T_m$  57 °C; 15: 5  $\mu$ l pool 5  $T_m$  57 °C; 16: 5  $\mu$ l pool 6  $T_m$  57 °C)

A partir de las observaciones realizadas (figura 5.14 a la figura 5.17) se procedió a realizar pool de DNA con menor número de clonas del pool 17 para realizar reacciones de PCR utilizando el pool de adaptadores forward (HSTI) y como reverse el adaptador T7 de T4 oligo probados a una  $T_m$  de 55 y 57 °C, se observaron fragmentos de amplificación en los carriles 6 (pool 4) y 8 (pool 6) de aproximadamente 2000 pb a una  $T_m$  de 55 °C (Figura 5.18 a) y fragmentos de 2000 pb en el carril 10 (pool 1) a una  $T_m$  de 57 °C (Figura 5.18 b).

Los resultados anteriores sugieren que no es posible establecer condiciones específicas para reacciones de PCR con DNA de las clonas obtenidas ya que en todos los casos en donde se observó amplificación los tamaños de fragmentos amplificados corresponden al mismo tamaño (650, 850 y 2000 pb) ya sea que se observen en una muestra y otra no dependiendo de la condición que se utilizó en la reacción.

### 5.6. Primer Secuenciación

Se llevó a cabo el análisis de secuencias obtenidas en los resultados de secuenciación de 69 clonas (389CR repetido celda F7), el análisis de secuencias se realizó comparándolas con secuencias reportadas en la base de datos GEN BANK-NCBI.

**Tabla 5.1.** Orden de muestras secuenciadas en LANGEBIO-CINVESTAV

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>A</b>	A1 (1C)	A2 (2C)	A3 (3C)	A4 (4C)	A5(5C)	A6 (6C)	A7 (7C)	A8 (8C)	A9 (9C)	A10 (10C)	A11(11C)	A12 (12C)
<b>B</b>	B1 (13C)	B2 (14C)	B3 (15C)	B4 (16C)	B5 (17C)	B6 (18C)	B7 (19C)	B8 (20C)	B9 (21C)	B10 (22C)	B11 (23C)	B12 (24C)
<b>C</b>	C1(25C)	C2 (32C)	C3 (33C)	C4 (34C)	C5 (35C)	C6 (36C)	C7 (49 C)	C8 (50C)	C9 (51C)	C10 (52C)	C11 (53C)	C12 (54C)
<b>D</b>	D1 (55C)	D2 (56C)	D3 (57C)	D4 (58C)	D5 (59C)	D6 (60C)	D7 (61C)	D8 (62C)	D9 (63C)	D10 (64C)	D11 (385C)	D12 (386C)
<b>E</b>	E1 (387C)	E2 (388C)	E3 (389C)	E4 (390C)	E5 (391C)	E6 (392C)	E7 (393C)	E8 (394C)	E9 (395C)	E10 (396C)	E11 (397C)	E12 (398C)
<b>F</b>	F1 (399C)	F2 (400C)	F3 (401C)	F4 (402C)	F5 (403C)	F6 (404C)	F7 (398CR)	F8 (406C)	F9 (407C)	F10 (408C)	F11	F12
<b>G</b>	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12
<b>H</b>	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12

En la comparación de secuencias del resultado de secuenciación con las ya reportadas se obtuvo que del total de muestras (Figura 5.1) el 17% (12 muestras) no fueron secuenciadas, el 70% (49 muestras) corresponden a secuencias de vectores tanto de clonación como expresión, el 8.5 % (6 muestras) corresponde a cDNA de microorganismos y únicamente el 4.2 % (3 muestras) no hubo similitud con alguna de las secuencias reportadas.

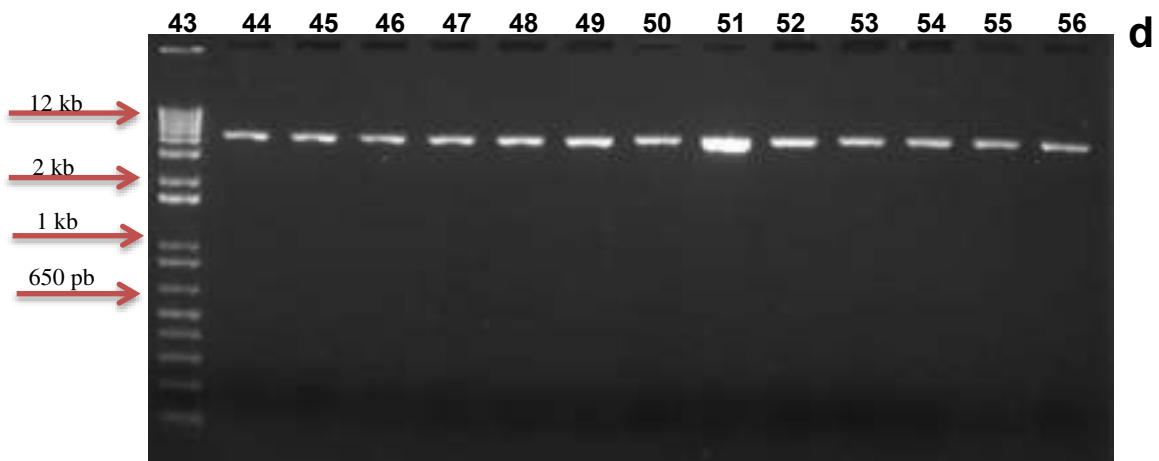
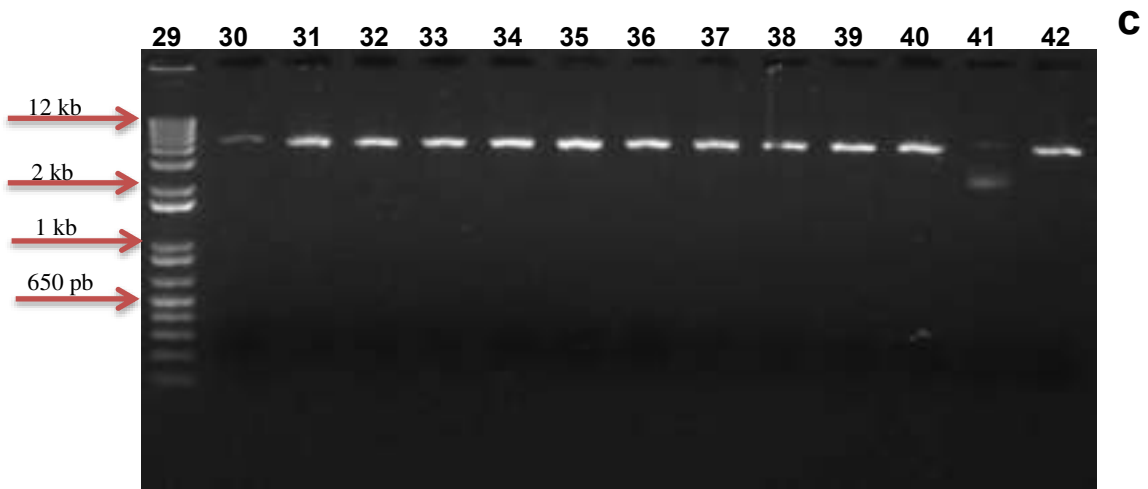
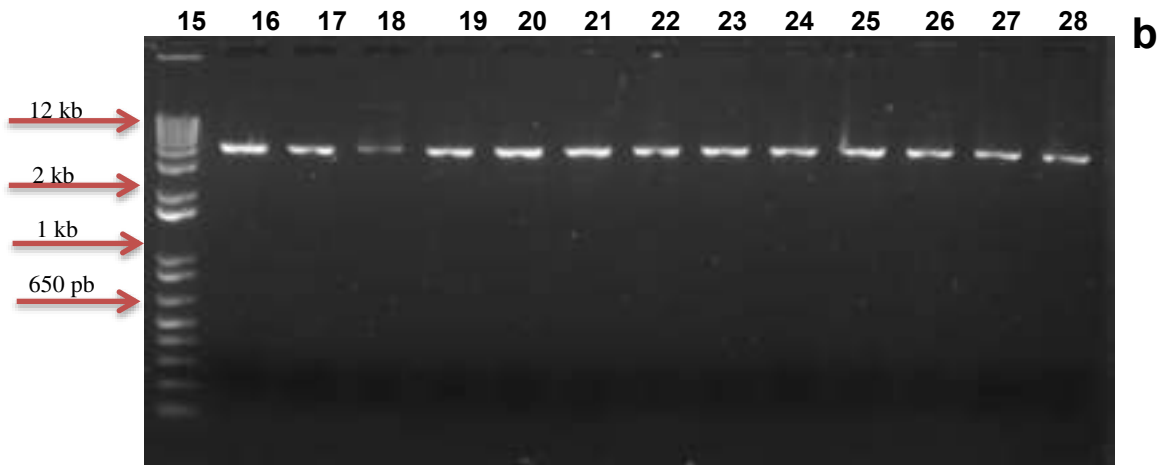
<b>Similitud</b>	<b>No. De muestras</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Indicativo</b>
cDNA de microorganismos	6	8.57	
No encontradas	3	4.29	
No secuenciadas	12	17.14	
Vector de clonación o expresión	49	70.00	
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>100.00</b>	

En las muestras que no se encontró similitud con secuencia de proteínas, se realizó el análisis detallado en base a los ORF (Marcos de lectura abierta) y se encontraron similitudes con proteínas hipotéticas, se enlistan los siguientes ejemplos: para muestra de la clona 393C (celda E7) proteínas hipotéticas de *Niastella populi* y *Nocardia vinacea*, para la muestra 398C se encontraron proteínas hipotéticas de threonin—tRNA ligasa de *Clostridium ihumii*, proteína CC2\_034 de *Aeromonas phage*, proteína producto de *Coffea canephora*, miembro B1 de la familia 3 de aldehído deshidrogenasa de *Struthio camelus australis* y para el análisis de la muestra 408C (celda F10) se encontró la proteína Bck\_09 de *Burkholderia cenocepacia* y una proteína hipotética de *Corynebacterium pseudotuberculosis*.

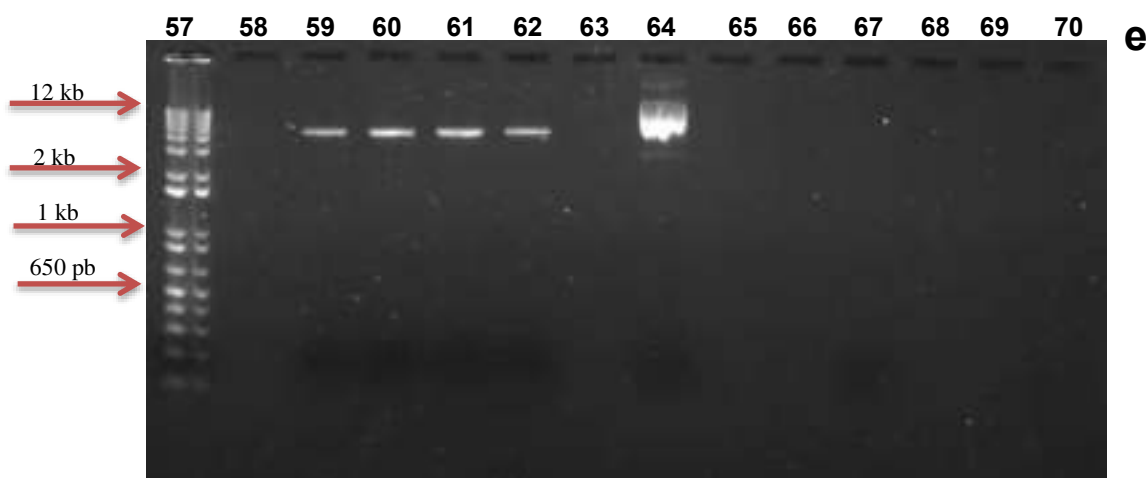
## 5.7. Digestión con enzimas de restricción

### 5.7.1. Digestión con *EcoRI*





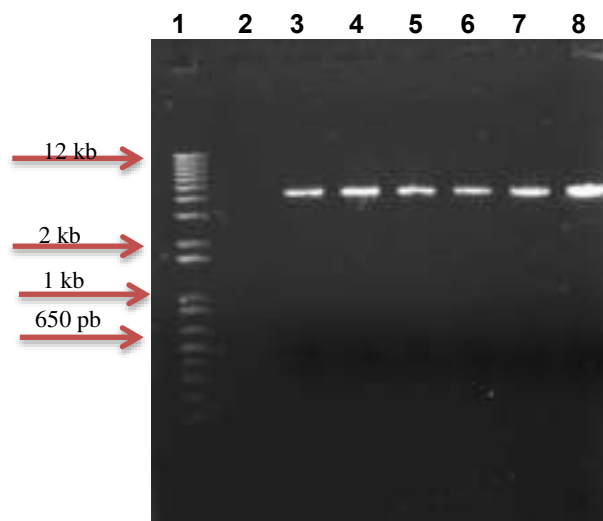




**Figura 5.19.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de las digestiones de DNA plasmídico de las 69 muestras secuenciadas en LANGEBIO. CINVESTAV.

Se observó que en la mayoría de las muestras (Figura 5.19 a, b, c y d) hay un patrón repetitivo en cuanto al mismo tamaño de fragmento observado el cual es de aproximadamente 4000 pb a excepción de la muestra del carril 18 de la figura 5.19 b (clona 16) en donde se observó un fragmento de aproximadamente 12 000 pb, un resultado que va más allá de lo esperado, por lo que se seleccionaron 6 muestras en criterio de mayor intensidad de banda observada para la digestión con la segunda enzima de restricción (*HindIII*).

### 5.7.2. Digestión con *HindIII*

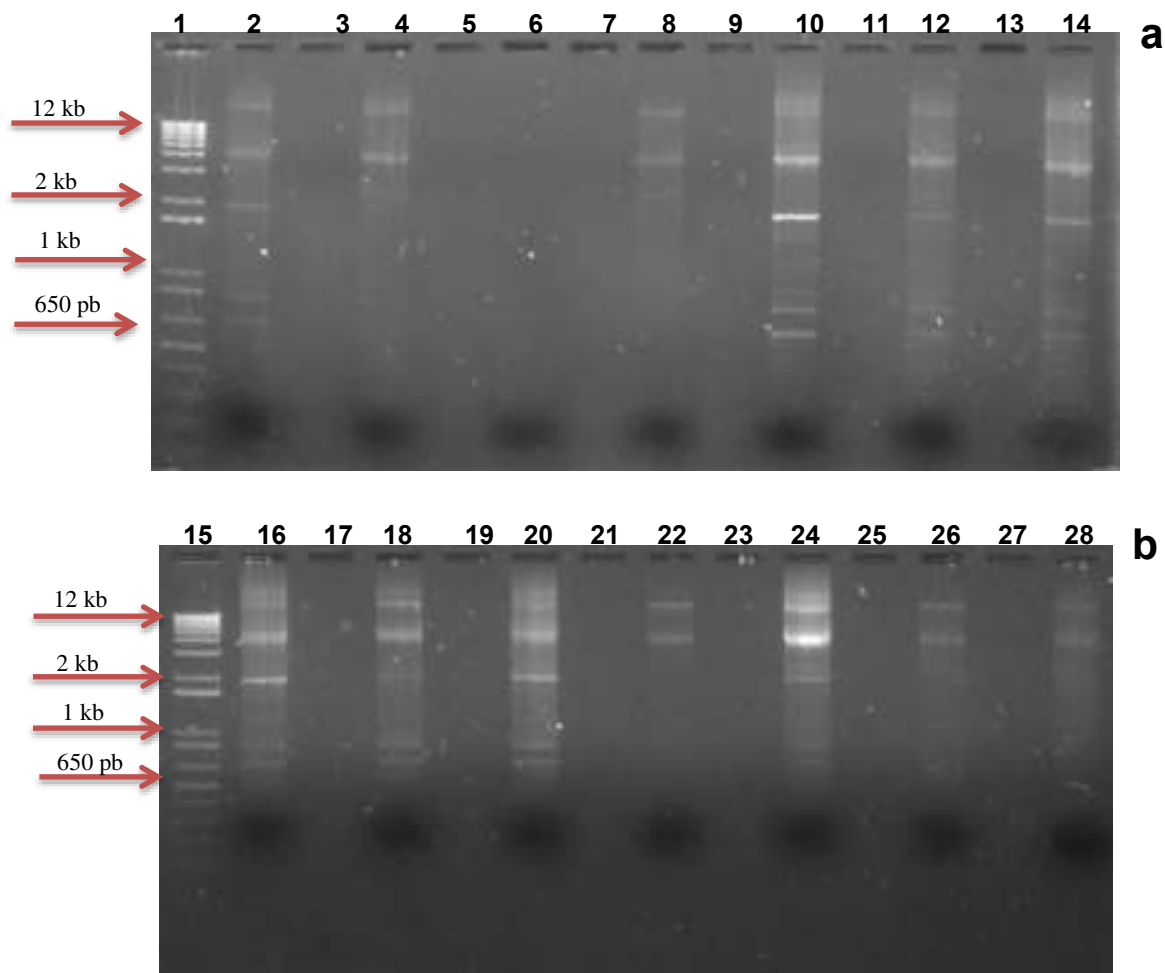


**Figura 5.20.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de la digestión de DNA de las clonas 61, 63, 385, 386, 388 y 398 con *HindIII*)

En la digestión con la enzima de restricción *HindIII* se observaron fragmentos de igual tamaño de aproximadamente 5000 pb para las 6 muestras seleccionadas a partir de la primer digestión (Figura 5.20), sin embargo, en la muestra del carril 8 correspondiente a la clona 398 se apreció un fragmento de aproximadamente 1500 pb, a pesar de los resultados obtenidos dichas muestras (clona 61, 63, 385, 386, 388 y 398) se seleccionaron para secuenciación en INMEGEN.

### 5.8. PCR de confirmación de amplificación para seleccionar clonas a secuenciar

En base a los resultados de PCR realizados y descritos en el apartado 5.2 se tomó como criterio principal la observación de intensidad de bandas en las distintas condiciones de PCR probadas en clonas de los dos ensayos (64 y 462 clonas obtenidas) de electroporación para seleccionar los pool a partir de los cuales se realizó la segunda digestión con enzimas de restricción y muestras para la segunda secuenciación.



**Figura 5.21.** Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de pool preseleccionados para seleccionar clonas a secuenciar en INMEGEN

En los PCR de los pool seleccionados: pool 6 (clona 32, 34, 35, 36, 61 y 63) correspondiente al primer ensayo de electroporación y pool 1 (clona 385, 386, 387 y 388) y pool 4 (clona 397, 398, 399 y 400) del segundo ensayo de electroporación, se observó que las muestras de los carriles 10 (clona 61), 12 (clona 63), 14 (clona 385), 16 (clona 386), 20 (clona 388) y 24 (clona 398) mostraban mayor definición de fragmentos amplificados por lo que dichas muestras fueron las enviadas a secuenciar al INMEGEN (Figura 5.21).

### **5.9. Segunda secuenciación**

Las secuencias obtenidas a partir de muestras secuenciadas en INMEGEN (Instituto Mexicano de Medicina Genómica) confirmaron los resultados obtenidos en LANGEBIO-CINVESTAV cuyas secuencias corresponden a vectores de clonación y expresión sin tener resultados positivos en cuanto a la búsqueda de nuevas secuencias

## VI. CONCLUSIONES

- El mucilago de chan interfirió en la calidad de extracción de RNA total y por tanto la extracción a partir de muestras de cotiledones de semilla de chan permitió obtener una mejor calidad de material genético y mayor cantidad en comparación con muestras de semilla completa (con testa).
- La precipitación de RNA total con acetato de sodio 3M a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  toda la noche incrementó la calidad y cantidad de material genético cuyos valores fueron inferiores en las precipitaciones realizadas 1 h a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- La baja eficiencia de transformación de bacterias no permitió tener un banco representativo de transcritos de chan.
- El uso del adaptador T7 de la empresa T4 oligo en comparación con el adaptador del kit del vector TOPO permitió obtener mayor definición de bandas indicativo de su calidad.
- Se observó el mismo patrón de tamaño de fragmentos amplificados de 650, 850 y 2000 pb tanto a una  $T_m$  de  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  como  $57\text{ }^{\circ}\text{C}$  por lo que no fue posible discriminar muestras para reducir el número de clonas representativas para el objetivo del trabajo.
- Los datos de secuenciación corroboraron la baja eficiencia de transformación obtenida ya que no se logró obtener la secuencia del gen de interés.

**VII. LITERATURA CITADA**

- Aguirre C., Valdéz S., Mendoza G., Domínguez A., y Blanco A. (2004). A novel 8.7 kDa protease inhibitor from chan seeds (*Hyptis suaveolens* L.) inhibits proteases from the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae). *EL SELVIER. Comparative Biochemistry and Physiology Part B*. 138 (2004). pp 81–89.
- Alatorre, R. R. (2007). Hongos entomopatógenos. pp. 127-143. En: L. A. Rodríguez del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.). *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p
- Alfonso, M. (2002). Los plaguicidas botánicos y su importancia en la agricultura orgánica. *Agricultura Orgánica* 2. 26-30 pp.
- Alpteter, F., Diaz, I., Mc Auslane H., Gaddour, K., Carbonero, P. and Vasil, I. K. (1999). Increased insect resistance in transgenic wheat stably expressing trypsin inhibitor CMe. *Molecular Breeding*, vol. 5, p. 53-63.
- Al-Saleh I. A. (1994). Pesticides: a review article. *Environ Pathol Toxicol Oncol*. 13:151-161. [http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-01\\_11-59-0899004.pdf](http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-01_11-59-0899004.pdf)
- Aluri, J.S.R., Vergara-Santana M. I., and Lemus-Juárez S. (1997). Floral ecology, Carinal-Lobe release, pollination and reproductive success in the wild and domesticated forms of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. (Lamiaceae) in Mexico. *Plant Species Biology* 12(2-3):61-68.

- Ahmad I., Ahmd, F., Pichtel, J. (2011). Microbes and microbial technology: agricultural and environmental applications. Springer Science Business Media LLC. pp. 415-430.
- Ahmad N., Michoux F., Nixon P.J. (2012). Investigating the production of foreign membrane proteins in tobacco chloroplasts: expression of an algal plastid terminal oxidase. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone>.
- Ahmad, N. y Mukhtar, Z. (2017). Genetic manipulations in crops: Challenges and opportunities, *Elsevier*, 0888-7543, 12 p.
- Antcheva N., Patthy A., Athanasiadis A., Tchorbanov B., Zakhariev S., Pongor S. (1996). Primary structure and specificity of a serine proteinase inhibitor from paprika (*Capsicum annuum*) seeds. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1298(1): 95-101.
- Arai S., Watanabe H., Kondo H., Emori Y., Abe K. (1991). Papaininhibitory activity of oryzacystatin, a rice seed cysteine proteinase inhibitor, depends on the central Gln-Val-Val-Ala-Gly region conserved among cystatin superfamily members. *Biochem.*, 109: 294-298.
- Arencibia A., Molina P.R., de la Riva G., Selman-Housein G. (1995). Production of transgenic sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plants by intact cell electroporation, *Plant Cell Rep.* 305–309.
- Arredondo H. y Sánchez J. (2009). Situación actual del control biológico en México, XX Curso Nacional de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, 2-4 nov., Villahermosa, Tabasco, México. <http://132.248.9.34/hevila/Sociedadesruralesproduccionymedioambiente/2010/vol10/no20/2.pdf>

- Atiwetin P., Harada S., Kamei K. (2006). Serine protease inhibitor from Wax Gourd (*Benincasa hispida*[ Thumb] seeds). *Biosci. Biotech. Biochem.*, 70(3): 743-745.
- Banco Mundial. (2008). La agricultura y el medio Ambiente. Informe sobre el desarrollo mundial, Agricultura para el medio Ambiente. Colombia. [http://siteresources.worldbank.org/INTWDRS/Resources/4773651327599046334/8394679-1327608078139/8395541327610544368/04\\_ambiente.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTWDRS/Resources/4773651327599046334/8394679-1327608078139/8395541327610544368/04_ambiente.pdf)
- Beltrán M. y Romero M. (2003). La chía alimento milenario. *Industria alimentaria*. Septiembre-Octubre. 20-29.
- Blanco L.A. y Aguirre M.C. (2002). Proteínas involucradas en el mecanismo de defensa de las plantas. Guanajuato, Guanajuato. México.
- Bode, W. y R. Huber (1992): «Natural protein proteinase inhibitors and their interaction with proteinases», *European Journal of Biochemistry*, vol. 204, pp. 433-451. <http://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/article/viewFile/143/102>
- Bowman D. E. (1946). Differentiation of soybean antitryptic factor. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 63: 547-550.
- Broadway R. M., Duffey S. S., Pearce G., Ryan C. A. (1986). Plant Proteinase Inhibitors: ¿A defense against herbivorous insects?. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 41: 33-38
- Cai M., Gong Y., Kao J. L., Krishnamoorthi R. (1995). Three-dimensional solution structure of *Cucurbita maxima* trypsin inhibitor-V determined by NMR spectroscopy, *Biochemistry* 34(15): 5201-11.



- Camarena- Gutiérrez, G. (2002). Octadecanoides como reguladores de la defensa de las plantas, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8(2): 107-112.
- Campos A., J.E., M. del S. Vázquez-M. y R. Rodríguez-G. (1994). Efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento de *Rhizobium solani*, en laboratorio. pp. 47. In: Memorias del XXI Congreso Nacional de Fitopatología. Cuernavaca, Morelos, México.
- Carbonero P., Royo J., Díaz I., Garcíamaroto F., Gonzalez-Hidalgo E., Gutierrez C. and Casanera P. (1993). Cereal inhibitors of insect hydrolases (amylases and trypsin): genetic control, transgenic expression and insect pests. In: *Workshop on engineering plants against pests and pathogens*, Madrid, Spain.
- Carlini C. R and Grossi-de-Sá M. F. (2002). Plant toxic proteins with insecticidal properties. A review on their potentialities as bioinsecticides. *Toxicon*. 40:1515-1539.
- Charity J., Anderson A., Merilyn A., Bittisnich, Dennis J., Whitecross, Malcom and Higgins T. J. V. (1999). Transgenic tobacco and peas expressing a proteinase inhibitor from *Nicotiana glauca* have increased insect resistance. *Molecular Breeding*, vol. 5, no. 4, p. 357-365.
- Chilton M. D., Drummond M.H., Merlo D.J., Sciaky D., Montoya A.L., Gordon M.P., Nester E.W. (1977). Stable incorporation of plasmid DNA into higher plant cells: the molecular basis of crown gall tumorigenesis. 263–271.
- Christou P. (2013), Plant genetic engineering and agricultural biotechnology 1983 2013, *Trends Biotechnol.* 125–127.

- CICOPLAFEST (2016). Catálogo Oficial de Plaguicidas. Comisión Intersecretarial Para el Control y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). México. 483 pp.
- Christeller J. and Liang W. (2005). Plant serine protease inhibitors. *Protein and Peptide Letters*, 12: 439-447.
- Colella R, Sakaguchi Y, Nagase H, Bird JWC (1989). Chicken egg white cystatin. *J. Biol. Chem.* 264: 17164-17117.
- COFEPRIS, (2015).  
<http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>
- Cruz M., Hernández Y. y Rivas E. (2006). Mecanismos de resistencia de las plantas al ataque de patógenos y plagas. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". La Habana Cuba. <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/nota4t29.pdf>
- Devine G.J., Dominique E., Ogozuku E. y Furlong M.J. (2007). Insecticide use: context and ecological consequences. *Agric Human Values.*; 24(3): 281-306. Publicación duplicada autorizada por Springer Science and Business Media, Copyright 2007. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v25n1/a11v25n1>
- De Leo F., Ceci L. R, Jouanin L., Gallerani R. (2001). Analysis of mustard trypsin inhibitor-2 gene expression in response to developmental or environmental induction. *Plant* 212: 710-717.

- De Leo F., Volpicella M., Licciulli F., Liuni S., Gallerani R., Ceci L. R. (2002). Plant-IPs: a database for plant protease inhibitors and their genes. *Nucleic Acids Res.* 30 (1): 347-348.
- Dixon R. A. (1986). The phytoalexin response. Elicitation, signalling and control of host gene expression. *Biological Reviews* 61, 239-291.
- Drenth J., Jansonius J.N., Koekoek R., Swen H.M., Wolthers B.G. (1968). "Structure of papain". *Nature*, 218:929-932.
- Duan, X., Li, X., Xue, Q., Abo-El-Saad, M., Xu, D. and Wu, R. (1996). Transgenic rice plants harboring an introduced potato proteinase inhibitor II gene are insect resistant. *Nature Biotechnology*, vol. 14, no. 4, p. 494-498.
- Duno, (2010). *Hyptis suaveolens*. Flora de la península de Yucatán. Disponible en línea: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/lamiaceae/hyptis-suaveolens/fichas/ficha.htm>
- Eckelkamp C, Ehmann B, Schopfer P. (1993). Wound-induced systemic accumulation of a transcript coding for a Bowman-Birk trypsin inhibitor-related protein in maize (*Zea mays* L.) seedlings, *FEBS Lett.* 323: 73-76.
- Enriquez P. (2003). "Evaluación del riesgo ambiental a la liberación de pesticidas". Laboratorio de Ecotoxicología, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) en: <http://www.monografias.com/trabajos10/evaries/evaries.shtml> (27/11/03)

- EPA. (2010). Biopesticide demonstration grant program. (En línea). Disponible en: Washington, DC U.S. Environmental Protection Agency. Office of Pesticide Programs (7511P) EPA 731-F-10-004. US Environmental Protection Agency. [http://www.epa.gov/pestp/publications/biodemo/bdp\\_brochure.pdf](http://www.epa.gov/pestp/publications/biodemo/bdp_brochure.pdf). Artículo 9 biocontrol.
- Escobar M.A., Dandekar A.M. (2003). *Agrobacterium tumefaciens* as an agent of disease, *Trends Plant Sci.* 380–386.
- Fabienne C. M., Francisco J. C., Christelle M., Jean V., Christine L. B., Gisele T., Andre R., Caroline H. (2002) Characterization of the expression of a wheat cystatin gene during caryopsis development. *Plant Mol Biol* 50:687–698.
- Fan S. G., Xu G. J. (2005). Plant proteinase inhibitors against phytophagous insects. Characteristics of plant proteinase inhibitors and their applications in combating phytophagous insects. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 46: 273-292.
- FAO, (2003). Código Internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. 40 p. <http://www.redalyc.org/pdf/461/46125177005.pdf> }
- FAO, (2008) “Adaptación al Cambio Climático y Mitigación del Mismo: Los Desafíos y Las Oportunidades para la Seguridad Alimentaria”, HLC/08/INF/2, Conferencia de Alto Nivel Sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: Los Desafíos del Cambio Climático y la Bioenergía, Roma, 3-5 de Junio de 2008 <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/pablo/retosyopportunidades.pdf>

FAO, (2009). Glosario de Agricultura Orgánica, en <http://www.fao.org/organicag/es>  
<http://132.248.9.34/hevila/Sociedadesruralesproduccionymedioambiente/2010/vol10/no20/2.pdf>

FAO, (2016). [ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/ESPIM/CD-ROM/documents/3B\\_s.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/ESPIM/CD-ROM/documents/3B_s.pdf)

Fatope M. O., Nuhu A.M., Mann A., Takeda Y., (1995). Cowpea weevil bioassay: a simple prescreen for plants with grain protectant effects. *Int. J. Pest Manage.* 41, 84–86.

Farmer, E. E. and Ryan C. A. (1992). Octadecanoid precursors of jasmonic acid active the synthesis of wound-inducible proteinase inhibitors. *The Plant Cell* 4: 129-134.

Felizmenio-Q. M. E., Daly N. L., Craik D. J. (2001). Circular proteins in plants: solution structure of a novel macrocyclic trypsin inhibitor from *Momordica cochinchinensis*. *J. Biol. Chem.* 276: 22875-22882.

Forsyth S., Horvath A. y Coughlin P. (2003). A review and comparison of the murine  $\alpha$ 1- antitrypsin and  $\alpha$ 1- antichymotrypsin multigene clusters with the human clade A serpins. *Genomics*, vol. 81, pp 336-345.

Franco O. L., Dias S. C., Magalhaes C. P., Monteiro A. C., Bloch Jr. C., Melo F. R., Oliveira-Neto O. B., Monnerat R. G., Grossi-De-Sa M. F. (2004). Effects of soybean Kunitz trypsin inhibitor on the cotton boll weevil (*Anthonomus grandis*). *Phytochemistry* 65: 81-89  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v37n2/v37n2a03.pdf&gws\\_rd=cr&ei=GJwRWLfsHYWa0gKh47zoBg](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v37n2/v37n2a03.pdf&gws_rd=cr&ei=GJwRWLfsHYWa0gKh47zoBg)

- Garcia-Olmedo F., Sanchez G., Gomez R. L., Royo J. and Carbonero, P. (1987). Plant proteinaceous inhibitors of proteinases and  $\alpha$ -amylases. *Oxford Survey Plant Molecular and Cell Biology*, vol. 4, p. 275-334.
- García T., Salazar L. A., Mendiola E., Blanco A. (2002). The effects of a protease inhibitor fraction from tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) on *in vitro* cell proliferation and cell adhesion of transformed cells. *Toxicol. In Vitro*. 16: 229-233.
- Gatehouse, A. M. R., Davidson G. M., Newell C. A., Merryweather A., Hamilton W. D. O., Burgess E. P. J., Gilbert R. J. C. and Gatehouse J. A. (1997). Transgenic potato plants with enhanced resistance to the tomato moth, *Lacanobia oleracea*: growth room trials. *Molecular Breeding*, vol. 3, p. 49-63.
- Gelvin S.B. (2000). Agrobacterium and plant genes involved in T-DNA transfer and integration, *Annu. Rev. Plant Biol.* 223–256.
- Gelvin S.B. (2010). Plant proteins involved in Agrobacterium-mediated genetic transformation, *Annu. Rev. Phytopathol.* 45–68.
- Girard C., Métayer M., Bonadé-Bottino M., Pham-Delègue M.H. and Jouanin, L. (1998). High level of resistance to proteinase inhibitors may be conferred by proteolytic cleavage in beetle larvae. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, vol. 28, p. 229-237.
- Glazebrook J. (2005). Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annu. Rev. Phytopat.* 43: 205-227.

- Golob P., Gudrups I., Moss C., Dales M., Fidgeon A., Evans J. (1999). The use of spices and medicinals as bioactive protectants for grains. (en línea). FAO. Agricultural services Bulletin No. 137. Rome: Food and Agriculture Organization. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/x2230e/x2230e00.htm>.
- Graham, J. S. and Ryan, C. A. (1997). Accumulation of metallopeptidase inhibitor in leaves of wounded potato plants. *Biochemical and Biophysical Research Communication*, vol. 101, p. 1164-1170.
- Grzonka Z., Jankowska E., Kasprzykowska R., Lankiewicz L., Wiczak W., Wieczerzak E., Ciarkowski J., Drabik P., Janowski R., Kozak E., Jaskólski M., Grubb A. (2001). Structural studies of cysteine proteases and their inhibitors. *Acta Biochem. Pol.* 48: 1-20.
- Guzman F., Barberis S. y Illanes A. (2007) "Peptide synthesis: chemical or enzymatic" *Electronic Journal of Biotechnology*, 10: 279-314.
- Hara, I. and H. Matsubara (1980). "Pumpkin (*Cucurbita* sp.) seed globulin. V. Proteolytic activities involved in globulin degradation in ungerminated seeds". *Plant Cell Physiol.*, 21:219-232.
- Hara S., Makino J., Ikenaka T. (1989). Amino acid sequences and disulfide bridges of serine proteinase inhibitors from bitter melon (*Momordica charantia* Linn) seeds. *J. Biochem.* 105: 88-92.
- Harlan, J. R. (1992). *Crops and man* (Second edition ed.). Madison Wisconsin USA: American Society of Agronomy Inc. Crop. Sci. Soc. Am., Inc. <http://www.uco.mx/revaia/portal/pdf/2005/sept/5.pdf>

- Hartley B.S. (1960). "Proteolytic enzymes". *Ann. Rev. Biochem.*, 29:45-72.
- Harley R. M. y J. F. B. Pastore. (2012). A generic revision and new combinations in the Hyptidinae (Lamiaceae), based on molecular and morphological evidence. *Phytotaxa* 58:1-55.
- Hass G. M, Hermodson M. A. (1981). Amino acid sequence of a carboxypeptidase inhibitor from tomato fruit. *Biochemistry*, 20: 2256- 2260.
- Havkioja E. and Neuvonen L. (1985). Induced long-term resistance to birch foliage against defoliators :defense or incidental. *Ecology*, vol. 66, p. 1303-1308.
- Heath, R.G., Mc Donald, J.T., Christeller, M., Lee, K., Bateman, J., West, R., Van Heeswijck and Anderson, M. A. (1997). Proteinase inhibitors from *Nicotiana glauca* enhance plant resistance to insect pests. *Journal of Insect Physiology*, vol. 9, p. 833-842.
- Heitz A., Hernandez J. F., Gagnon J., Hong T. T., Pham T. T., Nguyen T. M., Le Nguyen D., Chiche L. (2001). Solution structure of the squash trypsin inhibitor MCOTI-II. A new family for cyclic knottins. *Biochemistry* 40: 7973-7983.
- Hilder V. A., Gatehouse A. M. R., Sheerman S. E., Barker R. F. and Boulter, D. A (1987). Novel mechanism of insect resistance engineered into tobacco. *Nature*, vol. 300, p. 160-163.
- Hirose, J. (2009). Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. Disponible en: [http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Hyptis\\_suaveolens&id=7152](http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Hyptis_suaveolens&id=7152)



Houseman J. G., Campbell F. C. and Morrison P. E. (1987). A preliminary characterization of digestive proteases in the posterior midgut of the stable fly *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae). *Insect Biochemistry*, vol. 17, p. 213-218.

Huang Y.J., To K. Y., Yap MN, Chiang W. J., Suen D. F., Chen S. C. G. (2001). Cloning and characterization of leaf senescence up-regulated genes in sweet potato, *Physiol. Plant*, 113: 384-391.

IARC, (2015), Organización Mundial de la Salud a través de la Agencia de Investigación sobre el Cáncer (IARC por sus siglas en inglés). Disponible en: [https://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/Monograph - Volume112.pdf](https://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/Monograph-Volume112.pdf)

Iloba B. N. and Ekraekene T. (2006). Comparative Assessment of Insecticidal Effect of *Azadirachta indica*, *Hyptis suaveolens* and *Occimum gratissimum* o *Soto philus zeamais* and *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Biological Sciences* 6(3):626-630.

INEGI (2016)  
[http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015\\_12\\_3.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_12_3.pdf)

INIFAP (1995). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México: informe nacional para la conferencia técnica internacional de la FAO sobre los recursos fitogenéticos. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/AGP/agps/Pgrfa/pdf/mexico.pdf> visto en file:///C:/Users/Cristy/Downloads/OT158.pdf

- Irving J. A., Pike R. N., Dai W., Bromme D., Worrall D. M., Silverman G. A., Coetzer T. H., Dennison C., Bottomley S. P., Whisstock J. C. (2002). Evidence that serpin architecture intrinsically supports papain-like cysteine protease inhibition: engineering alpha (I) antitrypsin to inhibit cathepsin proteases. *Biochemistry*, 41: 4998-5004.
- Ishikawa A., Ohta S., Matsuoka K., Hattori T., Nakamura K. (1994). A family of potato genes that encode Kunitz type proteinase inhibitors: structural comparisons and differential expression. *Plant Cell Physiol.*, 35: 303-312.
- Johnson R., Narraez J., A. N. G. and Ryan C. A. (1989). Expression of proteinase inhibitors I and II in transgenic tobacco plants: effects on natural defense against *Manduca sexta* larvae. *Proceedings of the National Academy of Sciences United States of America*, vol. 86, p. 9871- 9875.
- Joshi B. N., Sainani M. N., Bastawade K. B., Deshpande V. V., Gupta V. S. and Ranjekar P. K. (1999) Pearl millet cysteine protease inhibitor. Evidence for the presence of two distinct sites responsible for anti-fungal and anti-feedant activities. *Eur. J. Biochem* 265: 556-563.
- Keita S. S., Umoetok B. A., Smith J. G. (2006). The insecticidal activity of petroleum ether extract of *Hyptis suaveolens* Poit. (Labiatae) seed on *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Agricultural Journal* 1(1):11-13.
- Kennedy A. R. (1998). The Bowman-Birk inhibitor from soybeans as an anticarcinogenic agent *American Journal of Clinical Nutrition*, 68(6 Suppl), 1406S-1412S.
- Kessler A. and Baldwin I.T. (2002) Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science* 291: 2141-2144

- Klomklao S., Benjakul S., Visessanguan W., Kishimura H., Simpsom B. K. (2007) 29 kDa trypsin from the pyloric ceca of Atlantic bonito (*Sarda sarda*): recovery and characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4548-4553.
- Konarev A. V., Griffin J., Konechnaya G. Y., Shewry P. R. (2004). The distribution of serine proteinase inhibitors in seeds of the Asteridae. *Phytochemistry*. 65: 3005-3020.
- Kuroda M., Kiyosaki T., Matsumoto I., Misaka T., Arai S., Abe K. (2001). Molecular cloning, characterization and expression of wheat cystatins, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 65: 22-28.
- Laing W. A., Mc Manus M. T. (2002). In *Protein Protein interactions in plants*, (McManus MT, Laing WA and Allan AC eds.) Sheffield Academic Press. 7: 77-119.
- Lajolo F. M. and Genovese M. I. (2002). Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6592–6598.
- Lammoglia-Cobo, M. F., Lozano-Reyes, R., García-Sandoval, C. D., Aviléz-Bahena, C.M., Trejo-Reveles, V., Muñoz-Soto, B. y López-Camacho, C. (2016). La revolución en ingeniería genética: sistema CRISPR/Cas, *Investigación en discapacidad*, vol. 5, No. 2. 13 p.
- Laskowski, M. J. R. y Kato I. (1980). Protein inhibitors of proteinases. *Annual Review of Biochemistry*, vol. 49, pp. 593-626.

- Laskowski, M. J. R. (1986). Protein inhibitors of serine proteinases "mechanism and classification". *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 199, pp. 1-17.
- Laskowski Jr. M., Qasim M. A., Lu S. M. (2003). Interaction of standard mechanism, canonical protein inhibitors with serine proteinases. In *Protein-Protein Recognition* (Kleanthous, C, ed). Oxford University Press, Oxford. pp. 228-279.
- Law R., Zhang Q., McGowan S., Buckle A. M., Silverman G. A., Wong W., Rosado C. J., Langendorf C. G., Bird P. I., Whisstock J. C. (2006). An overview of the serpin superfamily. *Genome Biol.*, 7(5): 216.
- Lawrence, P. K., Nirmala, Jayaveeramuthu and Koundal Kripa Ram. (2001). Nucleotide sequence of a genomic clone encoding a cowpea (*Vigna unguiculata* L.) trypsin inhibitor. *EJB Electronic Journal of Biotechnology* [online]. 15 April 2001, vol. 4, no. 1. Available from Internet: <http://www.ejb.org/content/vol4/issue1/full/4/index.html>.
- Lawrence P. K. and Ram Koundal K. (2002). Plant protease inhibitors in control of phytophagous insects, *EJB Electronic Journal of Biotechnology*, Vol.5, No.1, pp 93-109.
- Ledoigt G., Griffaut B., Debiton E., Vian C., Mustel A., Evray G., Maurizis J. C., Madelmont J. C. (2006). Analysis of secreted protease inhibitors after water stress in potato tubers. *Int. J. Biol. Macromols.* 38: 268- 271.
- Lee C. F. and Lin J. Y. (1995). Amino acid sequences of trypsin inhibitors from the melon *Cucumis melo*. *J. Biochem.* 118(1): 18-22.

- Lee S. I., Lee S. H., Koo, J. C., Chun, H. J., Lim, C. O., Mun, J. H., Song, Y. H. and Cho, M.J. (1999). Soybean Kunitz trypsin inhibitor (SKTI) confers resistance to the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stal) in transgenic rice. *Molecular Breeding*, vol. 5, p. 1-9.
- Lehninger A., Nelson D., Cox, M. (2006). Principios de Bioquímica 4<sup>o</sup> Edición, Ed. Omega, Barcelona, pp. 225-228.
- Leng, P., Zhang, Z., Pan G., Zhao, M. (2011). Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology*. 10(86): 19864-19873. Artículo 9 biocontrol
- Levine A., Tanhaken R., Dixon R. and Lamb C. (1994). H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. *Cell* 79, 583-593.
- Li Y. E., Zhu Z., Chen Z. X., Wu X., Wang W. and Li S.J. (1998). Obtaining transgenic cotton plants with cowpea trypsin inhibitor. *Acta Gossypii Sinica*, vol. 10, p. 237-243.
- Liebman J. (1997). Rising toxic tide: pesticide use in California. 1991-1995. PAN North America/ Californians for Pesticide Reform, San Francisco, US.
- Lin G.D., Bode W., Huber R., Chi C .W. y Engh R. A. (1993). The 0.25nm X-ray structure of the Bowman-Birk type inhibitor from mung bean in ternary complex with porcine trypsin. *Eur. J. Biochem.*, 212: 549-555. Lin JY, Chu SC, Wu HC, Hsieh YS (1991). Trypsin inhibitor from the seeds of *Acacia confusa*. *J. Biochem.*, 110: 879-883.

- Liu C., Srihari S., Cao K.-A.L., Chenevix-Trench G., Simpson P.T., Ragan M.A., Khanna K. K. (2014). A fine-scale dissection of the DNA double-strand break repair machinery and its implications for breast cancer therapy, *Nucleic Acids Res.* 6106–6127.
- Lopéz-Geta J.A., Martínez-Navarrete C., Moreno-Merino L., Navarrete-Martínez P. (1992). Las aguas subterráneas y los plaguicidas. Instituto Geológico y minero de España. 149 p. <http://www.redalyc.org/pdf/461/46125177005.pdf>.
- Mc Manus, M.T., White, D.W.R. and Mc Gregor, P.G. (1994). Accumulation of chymotrypsin inhibitor in transgenic tobacco can affect the growth of insect pests. *Transgenic Research*, vol. 3, p. 50-58.
- Malele R. S, Mutayabarwa C .K, Mwangi J. W., Thoithi G.N., Lucini E.I. and Zygadlo J.A. (2003). Essential oil of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit: Composition and Antifungal Activity. *Journal of Essential Oil Research*.
- Montes B., R., Carbajal M., Figueroa R. B. y Méndez I. (1997). Extractos sólidos, acuosos y hexánicos de plantas para el combate de *Aspergillus flavus* Link. en maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología* 15: 26-30. 7.
- Montesino M., López H., Hernández J. y de Zayas E. (2009). Insecticidas botánicos como alternativas para el Mnejo de plagas en sistemas agroforestales. *Agricultura Orgánica ACTAF*, vol 1, pp. 24-26.
- Mosolov V. V., Grigoreva L. I., Valueva T. A. (2001). Involvement of proteolytic enzymes and their inhibitors in plant protection. *Appl. Biochem. Microbiol.* 37: 115-213.

- Murdock L. L., Brookhart G., Dunn, P. E., Foard D.E. and Kelley S. (1987). Cysteine digestive proteinases in Coleoptera. *Comparative Biochemistry and Physiology-B*, vol. 87, p. 783-787.
- Nava-Péres E., García-Gutierrez C., Camacho-Baéz J. R. y Vázquez- Montoy, E. L. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai, Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, Vol. 8, No. 3. Pp. 17-29.
- Neogrobo S. P., Srimulyani Dan Mulyaningsih B. (1995). Larvaside activity of jukut essential oil *Hyptis suaveolens* (L) poit leaves toward instar iv of *Aedes aegypti* larvae and gas chromatography-mass spectroscopy analysis.(en Línea). Indonesian Journal of Pharmacy Majalah Farmasi Indonesia (MFI) 8(4). Artículo 3., 11 p. Disponible en: <http://ugm2.tripod.com/mfi84.htm>
- Newell C. A., Lowe J. M., Merryweather A., Rooke L. M. and Hamilton W. D. O. (1995). Transformation of sweet potato (*Ipomea batatas* (L.). Lam) with *Agrobacterium tumefaciens* and regeneration of plants expressing cowpea trypsin inhibitor and Snowdrop lectin. *Plant Science*, vol. 107, p. 215-227.
- Nuñez S., Maeso D., Conde P., Duarte F., Nuñez P., Mieres I. y Bruno A. (2007). Evaluación del impacto ambiental de los plaguicidas en la producción hortifrutícola. Producción Frutícola. Revista INIA Uruguay. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/901/1/18429270508145410.pdf>
- Odani S., Koide T., Ono T. (1983). The complete amino acid sequence of barley trypsin inhibitor. *J. Biol. Chem.*, 258: 7998-8003.

- Oliva M. L., Souza-Pinto J. C., Batista I. F., Araújo M. S., Silveira V. F., Auerswal E. A., Mentele R., Eckerskorn C., Sampaio M. U., Sampaio C. A. (2000). *Leucaena leucocephala* serine proteinase inhibitor: primary structure and action a blood coagulation, kinin release and rat paw edema. *Biochim. Biophys. Acta.* 1477: 64-74.
- Oliva M. L. V., Silva M. C. C., Sallai R. C., Brito M. V., y Sampaio M. U. (2010). A novel subclassification for Kunitz proteinase inhibitors from leguminous seeds. *Biochimie* 92, 1667-1673.
- OMS (Organización Munial de la Salud), (1990). Impacto en la salud pública de los pesticidas uempleados en la agricultura, Geneva. ISBN: 92-4-156139-4.
- Ongley E.D. (1996). Control of water pollution from agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 55. Roma, Italia, 111 pp. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v27n2/v27n2a3.pdf>.
- Otlewski J., Jelen F., Zakrzewska M. y Oleksy A. (2005). The ,many faces of protease- protein inhibito interaction. *EMBO Journal*, vol. 24, pp 1303-13010.
- Otto H. H. and Schirmeister T. (1997) Cysteine Proteases and Their Inhibitors. *Chem. Rev.* 97: 133-171.
- Parde V. D., Sharma H. C., Kachole M. S. (2010). In vivo inhibition of *Helicoverpa armigera* gut pro-proteinase activation by non-host plant protease inhibitors. *J. Insect Physiol.* do: 10.1016/j.jinsphys.2010.04.003.



- Park Y., Choi B. H., Kwak J. S., Kang C. W., Lim H. T., Cheong H. S., Hahm K. S. (2005). Kunitz-type serine protease inhibitor from potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Jopung). *J. Agric. Food. Chem.*, 53: 6491-6496.
- Pautot V., Holzer F. M. and Walling L. L. (1991). Differential expression of tomato proteinase inhibitor I and II genes during bacterial pathogen invasion and wounding. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 4(3), 284-292.
- Pdipas, (2003). Mecanismo de resistencia de las plantas al ataque de patógenos. Etiología on line [<http://www.pdipas.us.es/j/josurbfue/Fitopatologia/pato19.pdf>], 2003. <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/nota4t29.pdf>
- Plunkett G., Senear D. F., Zuroske G. and Ryan C. A. (1982). Proteinase inhibitors I and II from leaves of wounded tomato plants: purification and properties. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 213, 463-472.
- Pool A. (2009). *Hyptis*. Origen y distribución geográfica. En flora de Nicaragua. Consultado en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/lamiaceae/hyptis-suaveolens/fichas/ficha.htm#2>
- Prakash B., Selvaraj S., Murthy M. R. N., Sreerama Y. N., Rao D. R., Gowda L. R. (1996). Analysis of the amino acid sequences of plant Bowman-Birk inhibitors. *J. Mol. Evol.*, 42: 560-569.
- Perry, L. M. (1980). Medicinal plants of East and Southeast Asia. (En línea) MIT Press (Cambridge). 620 p. Consultado: 6 nov. 2009. Disponible en: [http://openlibrary.org/b/OL4421389M/Medicinal\\_plants\\_of\\_East\\_and\\_Southeast\\_Asia](http://openlibrary.org/b/OL4421389M/Medicinal_plants_of_East_and_Southeast_Asia)

- Pieterse C., Dicke M. (2007). Plant interactions with microbes and insects from molecular mechanisms to ecology. *Trends in Plant Science*. 12 (12): 564-569. <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v14n1/v14n1a25.pdf>
- Pimentel D., Lehman H. (1993). *The pesticide question*. Chapman and Hall, N.Y. N.
- Potti, A., Panwalkar A., Langness E. 2003. Prevalence of pesticides exposure in young males with adenocarcinoma of the prostate. *J. Carcinogenesis*. 2, 4-5.
- Pozo M., Van Loon L., Pieterse C. (2004). Jasmonates Signals in plantmicrobe interactions. *J Plant Growth Regul.* 23:211-222.
- Qi R. F., Song Z., Chi C. (2005). Structural features and molecular evolution of Bowman-Birk protease inhibitors and their potential application: *Acta Biochemica et Biophysica*. 37(5): 283-292.
- Quintana S. M. E. (2009). Transformación genética de cebolla (*Allium cepa* L.) mediante biobalística (Tesis de doctorado). Colegio de postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo de México.
- Raj S. S., Kibushi E., Kurasawa T., Suzuki A., Yamane T., Odani S., Iwasaki Y., Ashida T. (2002). Crystal structure of bovine trypsin and wheat germ trypsin inhibitor (I-2b) complex (2:1) at 2.3 Å resolution. *J. Biochem.*, 132: 927-933
- Ramírez J. V. (2012). *Bioplaguicidas*. Infoagro Costa Rica. Agencia de Servicios Agropecuarios Alajuela, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. <http://www.infoagro.go.cr/Infoagro/HojasDivulgativas/Bioplaguicidas.pdf>

- Rawlins N. D., Tolle D.P., Barrett A.J., (2004). Evolutionary families of peptidase inhibitors, *Biochem J.* 378, 705-716.
- Rawlings N.D., Morton F.R., Kok C.Y., Kong J. y Barrett A.J. (2010). MEROPS: the peptidase database. *Nucleic Acids Res.* 36: D320-D325.
- Rawlings N. D., Barrett A. J., y Finn R. D. (2016). Twenty years of the *MEROPS* database of proteolytic enzyme, their substrates and inhibitors. Disponible en: [https://academic.oup.com/nar/article/34/suppl\\_1/D270/1133252/MEROPS-the-peptidase-database](https://academic.oup.com/nar/article/34/suppl_1/D270/1133252/MEROPS-the-peptidase-database) <https://www.ebi.ac.uk/merops/inhibitors/>
- Reeck G. R., Kramer K. J., Baker J. E., Kanost M. R., Fabrick J. A. and Behnke C.A. (1997). Proteinase inhibitors and resistance of transgenic plants to insects. In: Carozzi N. and Koziel M., eds. *Advances in insect control: the role of transgenic plants*. London, Taylor and Francis, 1997, p. 157-183.
- Regnault-Roger, Catherine B. J., Philogène R., and Vincent C. (2005). (Edts.): *Biopesticides of Plant Origin*, Intercept-Lavoisier, Francia.
- Richardson M. (1991). Seeds storage proteins: the enzyme inhibitors. In: Dey , P.M. Harborne. J.B. (Eds.), *method in plants Biochemistry, Aminoacids, Proteins and Nucleics Acids*. Vol. 5. Academic Apress. New York, pp 259- 305.
- Ritchie B. C. (2003). Protease inhibitors in the treatment of hereditary angioedema *Transfus, Apheresis. Sci.*, 29: 259-267.
- Ritonja A., Krizaj I., Mesko P., Kopitar M., Lucovnik P., Strukelj B., Pungercar J., Buttler D. J., Barrett A. J., Turk V. (1990). The amino acid sequence of a novel inhibitor of cathepsin D from potato: *FEBS. Lett.*, 267: 1-15.

- Rodríguez del Bosque L. A. (2007). Terminología sobre control biológico. pp. 277-303. En: Rodríguez-delBosque, L. A. y Arredondo-Bernal, H. C. (eds.). Teoría y aplicación del control biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.
- Rouached H., Pal S., Rachmilevitch S., Libault M. y Phan Tran L-S. (2014). Plants Coping Abiotic and Biotic Stresses: A Tale of Diligent Management. *Hindawi Publishing Corporation*, Volume 2015, Article ID 754754, 2 p.
- Ryan C. A. (1990). Proteinase inhibitors in plants: genes for improving defenses against insects and pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 28. 425-449  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v37n2/v37n2a03.pdf&gws\\_rd=cr&ei=GJwRWLfsHYWa0gKh47zoBg](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v37n2/v37n2a03.pdf&gws_rd=cr&ei=GJwRWLfsHYWa0gKh47zoBg)
- Ryan C. A., Balls A. K. (1962). An inhibitor of chymotrypsin from *Solanum tuberosum* and its behavior toward trypsin. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 48: 1839-44.
- Sane V. A., Nath P., Aminuddin and Sane P.V. (1997). Development of insect-resistant transgenic plants using plant genes: expression of cowpea trypsin inhibitor in transgenic tobacco plants. *Current Science*, vol. 72, p. 741-747.
- Secretaría de Salud, (2012). Comunicado de prensa No. 327. Se puede consultar en:  
[http://www.salud.gob.mx/ssa\\_app/noticias/datos/2012-09-13\\_5923.html](http://www.salud.gob.mx/ssa_app/noticias/datos/2012-09-13_5923.html)  
(Consultado en abril de 2016)  
[http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/Graficos/2016/comida-sana/Plaguicidas\\_en\\_agua\\_ok\\_EM.pdf](http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/Graficos/2016/comida-sana/Plaguicidas_en_agua_ok_EM.pdf)

Serrano L. y Galindo E. (2007). Control biológico de organismos fitopatógenos: un reto multidisciplinario. *Rev. Ciencia*. Enero-Marzo. México. <http://www.ibt.unam.mx/Geg/lineas/Control%20Biologico%20Ciencia.pdf>

Shewry P. R. and Lucas J. A. (1997). Plant proteins that confer resistance to pest and pathogens. *Advances in Botanical Research* 26, 135-192.

Shewry, P. R. (1999). Enzyme inhibitors of seeds: Types and properties. In P.R. Shewry and R. Casey (eds.), *Seed Proteins*, kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 587-615.

SIAP-SAGARPA (2015)

[http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)

Silverman G. A., Bird P. I., Carrell R. W., Church F. C., Coughlin P. B., Gettins P. G., Irving J. A., Lomas D. A., Luke C. J., Moyer R. W., Pemberton P. A., O'Donnell E. R., Selvesen G. S., James Travis and Whisstock J. C. (2001). The sepins are an expanding superfamily of structurally similar but functionally diverse proteins, evolution, mechanism of evolution, novel functions, and revised nomenclature. *J. Biol. Chem.* 276: 33293-33296.

Soberón M. y Bravo A. (2007). Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación. *Biotecnología*, vol 14. pp. 303-314.

Stato N., Ishidoh K., Uchiyama E., Kominami E. (1990). Molecular cloning and sequencing of cDNA from rat ystatin B: *Nucleic Acids Res.*, 18(22): 6698.

- Theilmann D. A., Blissard G. W., Bonning B., Jehle J. A., O'reilly D. R., Rohrmann G. F., Thiem S. and Vlak J. M. (2005). Baculoviridae. pp. 177-185. En: Fauquet, C. M.; Mayo, M. A.; Maniloff, J.; Desselberger, U.; Ball, L. A. (Eds.). The Eighth report of the international committee on taxonomy of viruses. Elsevier, San Diego, California. 1259 p.
- Thomas J. C., Adams D. G., Keppenne V. D., Wasmann C. C., Brown J.K., Kanosh M.R. and Bohnert H .J. (1995). Proteinase inhibitors of *Manduca sexta* expressed in transgenic cotton. *Plant Cell Reports*, 1995, vol. 14, p. 758-762.
- Trexler M., Banyai L., Patthy L. (2002). Distinct expression pattern of two related human proteins containing multiple types of proteaseinhibitory modules. *Biol. Chem.* 383: 223-228.
- Tsybina T., Dunaevsky Y., Musolyamov A., Egorov T., Larionova N., Popykina N., Belozersky M. (2004). New protease inhibitors from buckwheat seeds: properties, partial amino acid sequences and possible biological role: *Biological Chemistry*, 385(5): 429-434.
- Tur Sinal A., Birk Y., Gertler A., Rigbi M. (1972). A basic trypsin and chymotrypsin inhibitor from groundnuts (*Arachis hypogaea*). *Biochim. Biophys. Acta.*, 263: 666-672.
- Turk V. and Bode W. (1991). The Cystatins: protein inhibitors of cysteine proteinases. *FEBS. Lett.*, 285: 213-219.
- Turk B., Turk V., Turk D. (1997). Structural and functional aspects of papain like cysteine proteinase and their protein inhibitors. *Biol. Chem. Hoppe-Seyler*, 378: 141-150.

- Tzfira T., Citovsky V., (2002). Partners-in-infection: host proteins involved in the transformation of plant cells by *Agrobacterium*, *Trends Cell Biol.* 121–129
- Uchikoba T., Yonezawa H. and Kaneda M. (1995). "Cleavage specificity of cucumisin, a plant serine protease". *J. Biochem.*, 117: 1126-1130.
- Valueva T. A. and Mosolov N. (2004). Role of the inhibitors of proteolytic enzymes in plant defense against phytopathogenic microorganism. *Biochemistry*, vol 69, No. 1, pp 1305-1309.
- Van Poecke R.P.M., Dicke M. (2004). Indirect defense of plants against herbivores using *Arabidopsis thaliana* as a model plant. *Plant Biol.* 6: 387-401.
- Vander Vyver C., Schneidereit J., Driscoll S., Turner J., Kunert K., Foyer C. (2003). Oryzacystatin I expression in transformed tobacco produces a conditional growth phenotype and enhances chilling tolerance. *Plant Biotech. J.*, 1(2): 101-112.
- Vázquez-Galindo J., Madrigal-Ambríz L.V., Rodríguez-Pérez M.A. y Gaitan-Hinojosa. (2010). Extracción y caracterización físico-química del mucílago de dos variedades de chan (*Hyptis suaveolens* L.). XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Colima, Km. 9 Carretera Colima-Coquimatlán, Coquimatlán, Col., México 28400.

- Vega, S. (1985). Toxicología I: evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS, OMS, 69 pp. [http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/marzo-abril2007/6Art\\_MBadii.pdf](http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/marzo-abril2007/6Art_MBadii.pdf)
- Vercammen D., Belenghi B., van de Cotte B., Beunens T., Gavigan J. A., De Rycke R., Brackenier A., Inze D., Harris J. L., Van Breusegem F. (2006) Serpin1 of *Arabidopsis thaliana* is a suicide inhibitor for metacaspase 9. *J. Mol. Biol.* 364(4): 625-636.
- Verduzco L., Farias M., Orozco-S. y Guzmán S. (1996). Efecto de la incorporación de plantas y aplicación de nematicidas sobre el control de nematodos agalladores. *Revista Mexicana de Fitopatología* 14: 168. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art201-207.pdf>
- Verhagen B., Glazebrook J., Zhu T., Chang H., Van Loon L., Pieterse C. (2004). The transcriptome of rhizobacteria induced systemic resistance in *Arabidopsis*. *Mol Plant Microbe Interact.* 17: 895-908.
- Vergara-Santana M.A., Madrigal Ambriz L.V., Lemus Juárez S., (2008). Obtención de harina de *Hyptis suaveolens* (L.) Poit con alto nivel nutritivo y máximo desprendimiento de mucílago y su utilización en la elaboración de productos alimenticios. Patente No. 264267 Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual, Mexico.
- Villaseñor R. y Espinosa G. (1998). Catálogo de maleza de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Conultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/lamiaceae/hyptis-suaveolens/fichas/ficha.htm>



- Vivanco M., Cosio E., Loyola-Vargas V. M. y Flores H. (2005). Mecanismos químicos de defensa en las plantas. Investigación y ciencia. Lima Perú. <http://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/vivanco-et-al-2005.pdf>
- Voet D., Voet J.G. y Pratt C.W. (2007). Inhibición enzimática. Fundamentos de bioquímica. Ed. medica panamericana. 370-378 p. (1260 p). Consultado en <https://books.google.com.mx/books?id=FXDiqLK6GmAC> el día 27/ Octubre/ 2016.
- Volpicella M., Schipper A., Jongsma M. A., Spoto N., Gallerani R., Ceci L. R. (2000). Characterization of recombinant mustard trypsin inhibitor 2 (MTI2) expressed in *Pichia pastoris*. FEBS. Lett., 468(2-3): 137-41.
- Wang H. X., Ng T. B. (2006). Concurrent isolation of a Kunitz-type trypsin inhibitor with antifungal activity and a novel lectin from *Pseudostellaria heterophylla* roots. BBRC 342(1): 349-353.
- Whitaker J. R. (2000). Principles of Enzymology for the Food Sciences. 2nd ed. New York: Marcel Dekker Inc. 625 p.
- Wieczorek M., Otlewski J., Cook J., Parks K., Leluk J. (1985). The squash family of serine proteinase inhibitors. Amino acid sequences and association equilibrium constants of inhibitors from squash, summer squash, zucchini, and cucumber seeds. Biochem. Biophys. Res. Commun., 126: 646-652.
- Witayapan N., Sombat C. y Siriporn O. (2007). Antioxidant and antimicrobial activities of *Hyptis suaveolens* essential oil. Scientia Pharmaceutica (Sci. Pharm.) 75, 35-46. Austria.

- Xavier-Filho J., y Campos F. A. P. (1989). Proteinase inhibitors. In Toxicans of plant origin (P. R. Cheeke, ed.), Vol. III: Proteins and Amino Acid, pp.1-27. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Xu D.P., Xue Q.Z., Mcelroy D., Mawal Y., Hilder V. A. and Wu R. (1996). Constitutive expression of a cowpea trypsin inhibitor gene, CpTi, in transgenic rice plants confers resistance to two major rice insect pests. *Molecular Breeding*, vol. 2, p. 167-173.
- Yeh, K. W., Lin, M. L., Tuan, S. J., Chen, Y. M., Lin, C. Y. and Kao, S. S.(1997). Sweet potato (*Ipomea batatas*) trypsin inhibitors expressed in transgenic tobacco plants confer resistance against *Spodoptera litura*. *Plant Cell Reporter*, vol. 16, p. 696-699.
- Zavaleta-Mejía, E. (1994). Control biológico de fitopatógenos. pp 115-125. In: R. Alatorre R. y A.W. Guzmán F. (eds.). Memorias V Curso de Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art201-207.pdf>
- Zavala, J. (2010). Respuestas inmunológicas de las plantas frente al ataque de insectos. CONICET. Volumen 20 número 117 junio - julio 2010. Argentina. <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy117/plantasinmunes.pdf>
- Zhao Y., Botella M. A., Subramanian L., Niu X., Nielsen S. S., Bressan R. A., Hasegawa P. M. (1996). Two wound-inducible soybean cysteine proteinase inhibitors have greater insect digestive proteinase inhibitory activities than a constitutive homolog. *Plant Physiol.*, 111(4): 1299- 1306.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**IDENTIFICACIÓN DE HIBRIDOS DE MAIZ CON BUENA CALIDAD AGRONÓMICA  
Y RESISTENTES A LA CONTAMINACIÓN CON AFLATOXINAS**

**QUE PRESENTA**

**NOÉ DEMETRIO SÁNCHEZ ISORDIA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. JORGE COVARRUBIAS PRIETO**

**CO-DIRECTOR: DR. RICARDO ERNESTO PRECIADO ORTÍZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO DE 2017**

La tesis “**Identificación de híbridos de maíz con buena calidad agronómica y resistentes a la contaminación con aflatoxinas**”, fue realizada por el alumno **Noé Demetrio Sánchez Isordia**, bajo la dirección del Dr. Jorge Covarrubias Prieto y Dr. Ricardo Ernesto Preciado Ortiz, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Jorge Covarrubias Prieto**

Cédula: 5007776

**Director Externo:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Ricardo Ernesto Preciado Ortiz**

Cédula: 4944773

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**

Cédula: 4875646

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Ernesto Moreno Martínez**

Cédula: 5004846

## *Agradecimientos*

*Al Instituto Tecnológico de Roque y a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, por la oportunidad y confianza para realizar este proyecto, así como a todos y cada uno de mis profesores y personal que fueron parte de mi formación académica.*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por contribuir parte del financiamiento económico asignado para desarrollar mis estudios de Maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas del Instituto Tecnológico de Roque.*

*Al Dr. Ricardo Ernesto Preciado Ortiz por la confianza y dedicación brindada en este proyecto, así como al Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío, por el material genético utilizado y por financiar la ejecución del proyecto de investigación, así como al M.C. Arturo Daniel Terrón Ibarra y personal del INIFAP por el apoyo proporcionado en las actividades de campo necesarias para realizar y concluir esta investigación.*

*Al Dr. Ernesto Moreno Martínez por la confianza, apoyo y por permitirme trabajar y realizar los análisis de laboratorio necesarios para este proyecto, en la Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, así como a la M.C. Josefina Moreno Lara y a la Dr. Martha Yolanda Quezada Viay por su apoyo técnico brindado.*

*Al Dr. Jorge Covarrubias Prieto y al Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel por su apoyo académico y aportaciones en la elaboración de esta tesis.*

*A dios por permitirme culminar esta etapa y a mis padres por su apoyo incondicional.*

## *Dedicada*

*A mi madre, por su cariño y por ser la persona que me motiva, escucha y me brinda la fuerza necesaria para seguir adelante y cumplir cada meta en la vida.*

*A mi padre, por sus consejos, apoyo moral y económico que me ha brindado siempre.*

*A mi familia, a todos y cada uno de ellos, por ser parte de mi vida, motivándome para ser una persona de bien, personal y profesionalmente.*

## ÍNDICE

**Contenido**

ÍNDICE DE TABLAS	Pag. ....iii
ÍNDICE DE FIGURAS	Pag. ....v
RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
2.3 Hipótesis .....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 Importancia del Maíz .....	5
3.2 Diversidad genética.....	5
3.3 Selección por pedigree (método genealógico) .....	7
3.4 Hibridación.....	7
3.5 Rendimientos del Maíz .....	8
3.6 Enfermedades y plagas.....	9
3.7 Hongos .....	11
3.8 <i>Aspergillus flavus</i> .....	11
3.9 Micotoxinas .....	13
3.10 Aflatoxinas.....	14
3.11 Factores que influyen en la producción de aflatoxinas .....	15
3.12 Efecto toxigénico de las aflatoxinas.....	17
3.13 Legislación de aflatoxinas .....	19
3.14 Mecanismos de resistencia y genotipos resistentes.....	21
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
4.1 Localización de la investigación .....	23
4.2 Material Genético .....	24
4.3 Diseño experimental.....	26
4.4 Manejo agronómico del ensayo conducido en Rio Bravo, Tamps. Ciclo P-V 2015 .....	28
4.4.1 Preparación del terreno .....	28
4.4.2 Siembra .....	28

4.4.3 Fertilización.....	28
4.4.4 Control de malezas .....	28
4.4.5 Control de plagas .....	29
4.5 Manejo agronómico del ensayo conducido en Celaya, Gto. Ciclo P-V 2015 .....	29
4.5.1 Preparación del terreno .....	29
4.5.2 Siembra .....	29
4.5.3 Fertilización.....	30
4.5.4 Control de malezas .....	30
4.5.5 Control de plagas.....	30
4.6 Manejo agronómico del ensayo conducido en Morelia, Mich. Ciclo P-V 2015 .....	31
4.6.1 Preparación del terreno .....	31
4.6.2 Siembra .....	31
4.6.3 Fertilización.....	31
4.6.4 Control de malezas .....	31
4.6.5 Control de plagas.....	32
4.7 Variables evaluadas.....	32
4.7.1 Agronómicas .....	32
4.7.2 Componentes de rendimiento.....	34
4.8 Pruebas de laboratorio .....	35
4.8.1 Inoculación con el hongo <i>Aspergillus flavus</i> .....	35
4.8.2 Primera extracción y cuantificación de aflatoxinas.....	39
4.8.3 Segunda extracción y cuantificación de aflatoxinas.....	42
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
5.1 Ensayo conducido en Celaya, Guanajuato PV 2015 .....	43
5.2 Ensayo conducido en Morelia, Michoacán PV 2015 .....	48
5.3 Inoculación con el hongo <i>Aspergillus flavus</i> .....	59
5.4 Ensayo conducido en Río Bravo Tamaulipas, 2015 .....	62
VI. CONCLUSIONES .....	72
VII. LITERATURA CITADA .....	74
ANEXOS.....	80



<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Pag.</b>
Tabla 4.2.1 Germoplasma que conforma la genealogía de los híbridos evaluados.....	26
Tabla 4.8.1.1 Material utilizado en la inoculación inicial de laboratorio.....	35
Tabla 4.8.1.2 Equipo utilizado en la inoculación inicial de laboratorio.....	36
Tabla 4.8.2.1 Material utilizado en la extracción y cuantificación de aflatoxinas.....	39
Tabla 4.8.2.2 Equipo utilizado en la extracción y cuantificación de aflatoxinas .....	40
Tabla 5.1.1 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de la evaluación de híbridos de maíz resistentes a AF para rendimiento y características agronómicas en la localidad de Celaya Guanajuato, PV 2015.....	44
Tabla 5.1.2 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables evaluadas que mostraron significancia en la localidad de Celaya Guanajuato, PV 2015.....	46
Tabla 5.2.1 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de la evaluación de híbridos de maíz resistentes a AF para rendimiento y características agronómicas en la localidad de Morelia Michoacán, PV 2015.....	48
Tabla 5.2.2 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables evaluadas que mostraron significancia en la localidad de Morelia Michoacán, PV 2015.....	51
Tabla 5.2.3 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza combinado de la evaluación de híbridos de maíz resistentes a AF para rendimiento y características agronómicas en las localidades de Celaya Guanajuato y Morelia Michoacán, PV 2015.....	54

Tabla 5.2.4 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables evaluadas que mostraron significancia en el análisis combinado de Celaya Guanajuato y Morelia Michoacán, PV 2015.....	56
Tabla 5.3.1 Resultados de la inoculación y cuantificación de aflatoxinas de los híbridos sembrados en las tres localidades.....	60
Tabla 5.3.2 Híbridos con menor cantidad de AF inoculados artificialmente.....	61
Tabla 5.4.1 Resultados del ensayo conducido en la localidad de Río Bravo Tamaulipas, 2015.....	63
Tabla 5.4.2 Híbridos de mayor rendimiento y resistentes a la contaminación con aflatoxinas en Río Bravo, Tamaulipas.....	65
Tabla 5.4.3 Germoplasma que conforma los híbridos de mejores características agronómicas evaluados en Río Bravo, Tamaulipas.....	66
Tabla 5.4.4 Híbridos de mayor rendimiento y resistentes a la contaminación con aflatoxinas en Celaya Guanajuato, Morelia Michoacán y en el Análisis combinado.....	67
Tabla 5.4.5 Germoplasma que conforma los híbridos de mejores características agronómicas evaluados en Celaya, Guanajuato.....	68
Tabla 5.4.6 Germoplasma que conforma los híbridos de mejores características agronómicas evaluados en Morelia, Michoacán y en el análisis combinado.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS	Pag.
Figura 4.8.1.4.1 Desarrollo de <i>Aspergillus flavus</i> .....	37
Figura 4.8.1.6.1 A) Inoculación de semilla con <i>Aspergillus flavus</i> . B) Ajuste de humedad por medio de vibración.....	38
Figura 4.8.2.1 Muestras con diferente grado de contaminación del hongo <i>Aspergillus flavus</i> .....	39
Figura 4.8.2.1.1 A) Muestras molidas con metanol al 70 %. B) Dilución y filtrado de muestras. C) Incubación de tiras. D) Impresión de la cantidad de aflatoxinas en ppb.....	41

## RESUMEN

En México el maíz tiene una gran importancia económica, social, cultural y alimenticia, ocupando el 33% de la superficie sembrada en territorio nacional, por lo que es considerado el principal cultivo en el país. Actualmente existen factores que limitan la producción, mermando los rendimientos, como lo es el cambio climático, plagas y enfermedades, además de que desde hace tiempo existe la problemática de las aflatoxinas (AF), potentes sustancias carcinógenas producidas por el hongo *Aspergillus flavus* en el grano de maíz. El objetivo de esta investigación fue evaluar en campo en tres localidades y en laboratorio un grupo de híbridos de maíz, formados con líneas desarrolladas a través del método genealógico, con la finalidad de inducir resistencia a la contaminación con AF y buena calidad agronómica. El diseño experimental utilizado fue un lattice 9x9 con dos y tres repeticiones. Las variables agronómicas evaluadas fueron rendimiento de grano, sus componentes y cantidad de AF. Se identificaron híbridos sobresalientes para cada una de las localidades, así como híbridos en común, todos estos con calidad agronómica y con valores menores a 20 partes por billón de AF, valor máximo permitido a nivel internacional en la comercialización de este grano.

Se identificaron los progenitores de los híbridos 45 (1789x1781), 28 (1781x1789), 43 (1789x1772) y 6 (1772x1789) utilizados en cruza directa y recíproca, así como el progenitor 1809 utilizado como progenitor femenino en varias combinaciones, con potencial para las variables evaluadas. Del total de los híbridos evaluados, el 66.66% presentó resistencia a la contaminación con AF.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cultivo de México, debido a su importancia económica, social, cultural y alimenticia que ha mantenido desde tiempos ancestrales. Nuestro país es el centro de origen y por consecuencia el de mayor diversidad, es el cuarto mayor productor mundial. Este cultivo ocupa el 33% de la superficie sembrada en el territorio nacional, 7.5 millones de hectáreas, además de ser el cultivo de mayor importancia en el país, al tener un consumo *per cápita* de 235.4 Kg al año (FND, 2015).

En México el rezago social prevalece, por lo que el maíz es preferido para sembrar por los productores, al ser un bien crucial para asegurar su seguridad alimentaria familiar. El país ocupa el segundo lugar con el mayor volumen de importaciones del grano a nivel internacional, lo que nos hace vulnerables ante las alteraciones de la oferta mundial. Por lo tanto, para alcanzar la seguridad alimentaria familiar es forzoso incrementar el potencial productivo (Damián *et al.*, 2013).

El cambio climático (CC) y sus efectos se están observando a nivel mundial, por lo que se estima como consecuencia de la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que se presente un aumento de la temperatura y mayor variabilidad de la precipitación, por lo que el cultivo de maíz podría ver disminuida seriamente su producción debido a los efectos adversos del CC, sin embargo estos efectos adversos podrían amortiguarse con el mejoramiento constante de la tecnología agrícola y con la adopción de medidas de adaptación eficientes (Ahumada *et al.*, 2014).

En México, el maíz está muy ligado a la cultura y a los hábitos alimenticios, y es un recurso genético de suma importancia para la seguridad alimentaria. En total, 59 razas y miles de variedades han sido reconocidas en el país, estas razas se han adaptado a las diferentes condiciones climáticas y con diversos usos, por lo cual son

un recurso que se debe aprovechar para mitigar las adversidades que limitan la producción de este grano (Ureta *et al.*, 2012).

Actualmente y desde hace tiempo existe la problemática de las aflatoxinas (AF), que son potentes sustancias carcinógenas producidas por el hongo *Aspergillus flavus* (*A. flavus*), provocando mediante el desarrollo de este microorganismo una contaminación en los granos de maíz, cuya ingesta por humanos y animales afecta principalmente el hígado. Estas toxinas son muy comunes en el grano de maíz, y constituyen un grave riesgo a la salud pública; el mejoramiento genético representa uno de los medios para evitar la contaminación con AF e incrementar el rendimiento y calidad de las cosechas, al servir como puente entre el mejoramiento genético (la *investigación*) y el productor. En el país, la contaminación con esta toxina es muy frecuente, sin embargo en Tamaulipas existe una situación particular, ya que el hongo en cuestión, contamina el maíz al encontrarse de manera endémica en esta región, sin embargo ante el CC existe el riesgo potencial de que este problema se presente en otras regiones de producción como sucedió en Sinaloa en el año 2013, donde después de una helada el maíz resembrado presentó niveles de AF que superaron los aceptables.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS) de la UNAM, desde del 2004 han estado trabajando con las toxinas producidas por *A. flavus* en el grano de maíz, con el objetivo de definir los mecanismos hereditarios involucrados en la resistencia a la contaminación por dichas AF, en materiales genéticos provenientes de diversas regiones de México. Posteriormente los genotipos identificados como resistentes fueron utilizados como fuente de resistencia para iniciar un proceso de selección por el método genealógico, con el fin de incorporar la resistencia en genotipos agronómicamente superiores.

Por lo que esta investigación consistió en utilizar maíces resistentes a la contaminación con AF, previamente identificados por las Instituciones mencionadas

anteriormente, y obtener híbridos que tengan buena calidad agronómica y que sigan manteniendo la resistencia al potente carcinógeno sintetizado por el hongo en cuestión, para que en primer plano pueda utilizarse este maíz en la región más afectada como lo es el noroeste de México, así como su posterior uso para el resto del país.

## **II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **2.1 Objetivo general**

Identificar híbridos de maíz con alto potencial de rendimiento, buena calidad agronómica y resistentes a la contaminación con aflatoxinas.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar existencia de la contaminación por aflatoxinas y su cuantificación en los híbridos de maíz evaluados.
- Evaluar el rendimiento y características agronómicas de los híbridos de maíz.
- Generar información para estudios de fitomejoramiento clásico.

### **2.3 Hipótesis**

A través del proceso de selección por pedigree se lograrán obtener progenitores de híbridos resistentes a la contaminación por aflatoxinas y con buen potencial agronómico.



### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1 Importancia del Maíz**

El maíz en México es el cultivo más importante, social, económica y nutricionalmente, además de formar parte de la cultura e identidad de los mexicanos, constituyendo la fuente principal del alimento nacional (CONABIO, 2012). Debido a la diversidad que existe de este cultivo en la nación, se preparan alimentos cotidianos como los tamales, pozole, pan, elotes, esquites, bebidas como el atole, que son básicos en el sector rural, es un cultivo de consumo y uso integral, al aprovecharse mucha de la estructura de la planta, como la caña verde para extraer jugo y bebidas fermentadas, así como las hojas para envolver alimentos. Este cultivo es de suma importancia para la sociedad, por todos los usos que tiene, además de tener un gran valor para la industria, al utilizar la harina para botanas, galletas, churros, tortillas y alimentos procesados (Sarmiento y Castañeda, 2011).

El maíz es fuente de alimentos para animales del área avícola, equinos, ovinos, porcinos, bovinos, entre otros, este grano compone en gran porcentaje alimentos balanceados y es considerado crucial para la cadena productiva, hasta llegar al consumo humano (Castillo y Chávez, 2013).

La importancia de este cultivo, radica en los infinitos usos de consumo diario para el pueblo Mexicano, además de ser centro de origen y contar con la mayor diversidad genética de la especie, por lo tanto dicho cultivo es considerado patrimonio de la nación (Sarmiento y Castañeda, 2011).

#### **3.2 Diversidad genética**

México al ser centro de origen cuenta con una amplia diversidad genética de maíz, con una adaptación de este grano a los distintos ambientes (desde el nivel del mar

hasta 3500 metros sobre el nivel de este) teniendo 64 razas (CONABIO, 2012), en donde las poblaciones nativas han sido y son la base para el desarrollo de variedades modernas e híbridos, sin embargo estas poblaciones que han sido usadas como fuente para mejorar germoplasma de este cultivo, podrían contener genes útiles aún sin explotar. La diversidad genética es de suma importancia en el mejoramiento genético y debe ser aprovechada para enfrentar las nuevas adversidades que se presentan con el CC, enfermedades, insectos, hongos, entre otros microorganismos (Castro *et al.*, 2013).

En México se emplea alrededor del 25% de semilla mejorada de maíz y en la superficie restante se utilizan semillas nativas denominadas criollas (Espinosa *et al.*, 2012). En una zona importante del país, como lo es la Región de los Valles Altos, se siembran 2 millones de hectáreas de maíz, que representan cerca de 25% de la superficie nacional cultivada con este grano, en donde las variedades que conforman estas cifras, el 80% corresponden a maíces criollos, cuyas siembras son a bajas densidades, susceptibles a enfermedades y al acame de raíz y tallo, mermando en los rendimientos (Vázquez *et al.*, 2013). Otra región importante es el Noreste, donde debido a la escasez de semilla mejorada y falta de híbridos en la región, existe la misma necesidad de identificar y desarrollar genotipos con mayor adaptación y rendimiento, lo cual beneficiara directamente a los agricultores de esta región (Rodríguez *et al.*, 2013).

El mejoramiento genético constituye una vía ecológicamente limpia, económica y efectiva para incrementar los rendimientos del maíz y afrontar las nuevas adversidades que perjudican a este cultivo (Chassaingne *et al.*, 2012), además es necesario desarrollar materiales estables que cumplan con las características que demanda la sociedad, genotipos que mantengan un comportamiento estable en diferentes localidades y años (Arellano *et al.*, 2011). Para incrementar los rendimientos considerando los constantes cambios ambientales, puede depender 60% al potencial genético del híbrido o variedad a sembrar, y 40% a las prácticas de manejo de cultivo (Vázquez *et al.*, 2012).

Actualmente la sociedad demanda aspectos específicos de consumo de alimentos, para reducir la desnutrición que padece más de 50% de la población indígena rural y urbana de bajos ingresos en nuestro país, esto al ser alimento básico e indispensable para este sector de la población, por lo cual se requieren alimentos inocuos y de calidad (Mazón *et al.*, 2012).

### **3.3 Selección por pedigree (método genealógico)**

La selección por pedigree es el método de mejoramiento más usado para el desarrollo de líneas endocriadas, en el cual se lleva un registro de los progenitores que intervienen en los cruzamientos. Es un método combinado de hibridación y selección. Este método se aplica cuando se quiere hacer transferencia de caracteres de una planta (línea o variedad) a otra, por lo que para este proyecto fue fundamental y fue la forma de fijar resistencia a la contaminación con AF en líneas de maíz agronómicamente superiores. Este método implica varias generaciones de cruces, autofecundaciones y selección de plantas que conserven las características deseadas, eliminando plantas con caracteres indeseables. La metodología y el desarrollo de líneas puras depende del fitomejorador, del origen de las poblaciones, de los recursos disponibles y de la evaluación de las líneas. Las líneas endocriadas con caracteres deseados, establecidos a través de generaciones y consideradas líneas agronómicamente superiores, pueden o deben establecer combinaciones híbridas productivas, sin embargo implica interacciones genéticas y ambientales muy complejas (Paliwal, 2001).

### **3.4 Hibridación**

La hibridación es el método de mejoramiento de plantas, cuya finalidad es generar nuevos genotipos con caracteres distintos a los de los progenitores, desde los más simples como los caracteres cualitativos, hasta los más complicados, que por medio de la hibridación, se trata de obtener rendimientos más elevados. En la hibridación,

existe la heterosis, fenómeno que ocurre cuando el híbrido supera a sus progenitores en características fenológicas de crecimiento y rendimiento, resulta de la interacción de varios factores independientes aportados por los progenitores que participan en la formación de dicho híbrido. El mejoramiento genético de plantas alógamas, en este caso como el maíz (*Zea mays L.*) enfatiza la síntesis de híbridos donde se capitaliza al máximo la heterosis (Ramírez *et al.*, 2007).

Las acciones genéticas aditivas, de dominancia, sobredominancia, epistasis; así como las interacciones genético-ambientales, contribuyen a la existencia de heterosis, que a su vez se basa en el cruzamiento de germoplasma con acervos genéticos y orígenes geográficos distintos (Gaytan y Mayek, 2010).

Técnicamente, un híbrido exitoso es la primera generación F1 de un cruzamiento entre dos genotipos claramente diferentes. El híbrido debe mostrar un razonable alto grado de heterosis para que el cultivo y su producción sean económicamente viables (Paliwal, 2001).

### **3.5 Rendimientos del Maíz**

En México se destinan aproximadamente 8 millones de hectáreas para la producción de maíz (23 millones de toneladas), constituyendo 60% del volumen de granos producidos cada año (Vázquez *et al.*, 2013), sin embargo, se importaron 9 millones 515, 000 toneladas de grano en el 2012, lo que demuestra que el país no es autosuficiente en la producción del cultivo de mayor importancia (El Economista, 2014).

Además de existir una insuficiencia alimentaria como nación, se necesita incrementar los rendimientos en este cultivo, existen infinidad de factores que merman la producción, provocando bajos rendimientos, factores desde los climáticos que han impactado fuertemente con sequías y heladas (Castro *et al.*, 2013), hasta los provocados por los propios agricultores, como fallas técnicas en densidades de

siembra y riegos (Vázquez *et al.*, 2013), así como fertilizaciones inadecuadas, desde dosis, fuentes y momentos oportunos de aplicación, reflejándose esto en el ciclo de vida del cultivo y en las pérdidas de forraje y grano, por lo que el manejo agronómico influye de manera importante en la producción del maíz (Barrios *et al.*, 2012).

Existen otros factores que perjudican los rendimientos del cultivo, como lo son las plantas arvenses, que si no son controladas en el momento adecuado, merma la producción final del maíz, esto por la competencia por CO<sub>2</sub>, luz, nutrientes, agua y espacio, dicha competencia genera un periodo crítico desde los 24 a 40 días después de haber germinado la planta de maíz. Se ha reportado que las pérdidas anuales de los rendimientos en el cultivo, debido a las arvenses es de un 30%, además de ser plantas hospederas de enfermedades y plagas (Blanco *et al.*, 2014).

Los microorganismos son importantes en el cultivo, son agentes biológicos con participación benéfica y perjudicial, deben estar en equilibrio alrededor del cultivo para obtener una producción adecuada, entre estos microorganismos tenemos a los hongos, que muchos de estos tienen un potencial micotoxígeno, provocando pérdidas directas e indirectas en el maíz, desde campo, poscosecha y almacenamiento, afectando relaciones comerciales al provocar destrucción de productos contaminados (Arrúa *et al.*, 2012). Debido a la importancia multifactorial de este cultivo en México, el rendimiento es uno de los principales factores de atención (Sarmiento y Castañeda, 2011).

### **3.6 Enfermedades y plagas**

Los principales factores que merman la producción de maíz son las plagas agrícolas, los cuales están influenciados directamente por los cambios constantes del clima, que alteran la temperatura, precipitación, humedad, radiación solar, velocidad del viento y ocurrencia de eventos extremos (Rosenzweig *et al.*, 2000), lo cual muchas veces beneficia a las plagas en su reproducción, diseminación y sobrevivencia, provocando enfermedades y daños en los cultivos; estas plagas son aquellos

microorganismos (insectos, nematodos, bacterias, virus, hongos), que al aumentar su población en forma descontrolada causan daño al cultivo de interés, perjudicando su desarrollo y provocando pérdidas (Ramos, 2013).

Las plagas de maíz se pueden dividir en dos clases: 1) las que se alimentan del follaje; los Trips (*Frankliniella williamsi*), Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), Gusano soldado (*Spodoptera exigua*), Gusano trozador (*Agrotis sp*), Gusano elotero (*Helicoverpa zea*), Barrenador del tallo (*Diatraea sp*), Frailecillo (*Macrodactylus mexicanus*), picudos (*Geraeus senilis*, *Nicentrites testaceipes*), araña roja (*Olygonychus mexicanus* y *Tetranychus sp*), Chapulines (*Sphenarium sp*, *Melanoplus sp*) y 2) las que atacan a la mazorca y la raíz; gallina ciega (*Phyllophaga sp*, *Cyclocephala sp*, *Diplotaxis sp*, *Macrodactylus sp* y *Anomala sp.*), Gusano alfilerillo (*Diabrotica virgifera zea*), Catarina del maíz (*Colaspis sp*), Gusano de alambre (*Agriotes sp.*) y enfermedades como el carbón de la espiga (*Sphacelotheca reiliana*), pudrición de la raíz (*Pythium aphanidermatum*, *Diplodia maydis*, *Fusarium spp*), pudriciones del tallo (*Macrophomina phaseolina*, *Fusarium spp*, *Diplodia maydis*, *Pythium aphanidermatum*), manchas foliares o tizón (*Helminthosporium maydis*), roya (*Puccinia sorghi*, *P. polyspora* y *Physopella zea*) (CESAVEG, 2015).

Los hongos provocan grandes pérdidas en el cultivo, ocasionando muchas enfermedades como pudriciones de mazorca y tallo, estas se encuentran entre las enfermedades más importantes a nivel mundial (Rivas *et al.*, 2011), afectando los rendimientos hasta 50% en la pudrición de la mazorca, mientras que la pudrición del tallo puede ocurrir con una incidencia (plantas dañadas) hasta 75%, causando grandes pérdidas. Los principales géneros de hongos que causan pudrición son *Fusarium*, *Gibberella*, *Aspergillus*, *Diplodia*, *Nigrospora* y *Penicillium* (Briones, 2007).

### 3.7 Hongos

Los hongos son microorganismos que no tienen movimiento, su pared celular está formada de quitina, pueden ser unicelulares o multicelulares y son organismos con mucha versatilidad genética y fisiológica. Estos microorganismos se reproducen asexual o sexualmente, principalmente por esporas, que son estructuras especializadas para su propagación, estas estructuras permanecen viables hasta que las condiciones climatológicas favorecen su multiplicación, dichas esporas son diseminadas principalmente por el viento. Los hongos se alimentan de materia orgánica en descomposición, la mayoría de los hongos fitopatógenos pasan parte de su ciclo de vida en plantas que les sirven de hospedante y otra parte de él en el suelo o en los residuos vegetales. Algunos pasan todo su ciclo de vida sobre el hospedante y sólo sus esporas alcanzan el suelo, donde permanecen en reposo hasta llegar a un hospedero en el que germinan y se reproducen. La supervivencia de los hongos fitopatógenos depende de las condiciones predominantes de temperatura y humedad, estos microorganismos pueden producir manchas cloróticas, necróticas, canchales, tizones, podredumbres, agallas, costras, marchitamientos y pústulas (Agrios, 2005).

Los hongos fitopatógenos afectan de manera importante en postcosecha, son componentes habituales de alimentos almacenados (granos y cereales) (Serrano y Cardona, 2015). El maíz es afectado por los hongos, desde semilla hasta la postcosecha, transporte y almacén, afectando la viabilidad, cualidades nutricionales y sanitarias de los granos y semillas (Carvajal, 2013).

### 3.8 *Aspergillus flavus*

*Aspergillus* es un género que pertenece al Reino Fungi, Filo Ascomycota, Clase Eurotiomycetes, Orden Eurotiales, Familia Trichocomaceae y especie *Aspergillus flavus* (*A. flavus*). Es un hongo que se caracteriza por la producción de hifas especializadas, tiene reproducción sexual (con formación de ascosporas en el interior

de las ascas) y reproducción asexual (con formación de conidios) (Serrano y Cardona, 2015).

Este microorganismo se considera un hongo saprófito que desempeña un papel esencial en la degradación de la materia orgánica, tiene la capacidad para crecer a diferentes temperaturas (0-45°C) sobre sustratos con diversos contenidos de humedad 15-20% (Pincay, 2014), la humedad relativa mínima para el desarrollo del hongo es de 85% (Arrúa *et al.*, 2012), siendo *A. flavus* de los más abundantes en la naturaleza y con un desarrollo en un gran diversidad de ambientes (Valdivia *et al.*, 2000).

La especie *A. flavus* tiene las siguientes características:

- Macroscópicas: Colonias de color verde oliváceo a verde amarillento; micelio blanco; esclerocios, cuando están presentes, de color marrón oscuro a negro, variables en forma y tamaño; reverso incoloro, marrón claro o anaranjado; textura de la colonia variable, generalmente lanosa o flocosa.
- Microscópicas: cabezas conidiales uniseriadas y biseriadas, principalmente radiales; estipes normalmente rugosos, hialinos o de color marrón pálido. vesícula esférica; métulas ocupando prácticamente toda la superficie de la vesícula. Conidios globosos o elipsoidales, lisos o ligeramente rugosos (Abarca, 2000).

Este hongo se difunde a través del aire y por medio de insectos que lo diseminan, pudiendo inocular y colonizar los granos en cualquier tiempo durante la etapa de crecimiento y postcosecha (almacenamiento, transporte y procesamiento), particularmente cuando se presenta sequía, daño por insectos o condiciones óptimas de temperatura y humedad (Pincay, 2014), es considerado uno de los causantes de la pudrición de la mazorca (CIMMYT, 2004).



*A. flavus* es un hongo oportunista y tiene la particularidad de producir las sustancias con mayor potencial cancerígeno que existe en la naturaleza (Arrúa *et al.*, 2012), conocidas como micotoxinas, en este caso, aflatoxinas (AF) (Martínez *et al.*, 2013), por lo que su estudio es de suma importancia ya que han tenido un amplio impacto económico al contaminar los granos de maíz, formándose dichos contaminantes como producto final del metabolismo secundario del hongo, además de ser un mecanismo de defensa frente a otros microorganismos (Klich, 2007).

### **3.9 Micotoxinas**

Las micotoxinas derivan de las palabras griegas *Mikes* y *toxina*, cuyo significado es hongo y veneno (Goldblatt, 1972). Son sustancias químicas producidas por hongos, en este caso por *A. flavus*; son metabolitos secundarios formados por una serie de reacciones bioquímicas dentro del metabolismo primario del hongo, muchos hongos son capaces de producir más de una micotoxina (Bogantes *et al.*, 2004), entre las principales micotoxinas se encuentran las aflatoxinas, ocratoxinas, zearalenona, patulina, fumonisinas y los tricotricos (Pincay, 2014), estando consideradas dentro del grupo de los principales contaminantes de alimentos, debido a que su ingestión, inhalación o absorción cutánea afecta la salud pública, la seguridad alimentaria, provocando toxicidad tanto aguda como crónica, que va desde la muerte a efectos nocivos en los sistemas nervioso central, cardiovascular, respiratorio y afectando el aparato digestivo (AESAN, 2012). Las micotoxinas en altas concentraciones pueden producir síndromes agudos de enfermedad y en bajos niveles son acumulativas siendo potentes carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos, producen alteraciones mitóticas, afectan al hígado, riñón, sistema nervioso e inmune, además de afectar también animales haciéndolos más susceptibles a infecciones y reduciendo su tasa de crecimiento (Bogantes *et al.*, 2004).

La contaminación de alimentos puede iniciarse en el campo, durante la cosecha o el almacenamiento, el contenido de humedad del grano y la temperatura son factores críticos en la producción de micotoxinas, la presencia del hongo no asegura el

desarrollo de micotoxinas y cuando hay desarrollo de estas, pueden permanecer aunque el hongo ya no exista (Pincay, 2014).

Las micotoxinas pueden ingresar a la cadena alimenticia del hombre, ya sea de manera directa al consumir cultivos contaminados o indirecta al comer carne, leche, huevo, alimentos derivados de animales que a su vez consumieron granos contaminados (Bogantes *et al.*, 2004).

El desarrollo de las micotoxinas puede darse en forma individual o simultánea con otras, lo que puede provocar efectos sinérgicos en el organismo, aumentando la toxicidad; Su formación tiene lugar al final de la fase de crecimiento de los hongos, durante la fase estacionaria, asociándose con la diferenciación y esporulación (Arrúa *et al.*, 2012). Las principales condiciones óptimas para la producción de micotoxinas son alrededor de los 25°C y una humedad relativa del 95% (Serrano y Cardona, 2015).

### **3.10 Aflatoxinas**

El estudio de las aflatoxinas (AF) se inició en 1960, debido a la muerte de miles de pavos en Inglaterra, denominada en su momento, enfermedad X del pavo, posteriormente se descubrió que la causa de la muerte de las aves se debió a una intoxicación producida por alimento contaminado por *A. flavus* presente en pasta de cacahuate importada de Brasil (Sargent *et al.*, 1961).

Las AF son las micotoxinas más estudiadas y controladas, entre las más importantes están la (B1, B2, G1, G2, M1 y M2), *A. flavus* produce únicamente B1 y B2, siendo la B1 el más potente carcinógeno sintetizado por este hongo (Serrano y Cardona, 2015). Las letras B y G se refieren al color de la fluorescencia (Blue y Green), observada bajo la luz UV mientras que los índices 1 y 2 indican componente mayor y menor respectivamente. Las AF M1 y M2 son el producto metabólico hidroxilado de

las B1 y B2, esto al ser consumidas en el forraje en la alimentación animal, y son excretadas en la leche como M1 y M2 (Cobielles, 2007).

*A. flavus* es uno de los principales productores de AF, encontrándose mayores niveles de contaminación principalmente en regiones tropicales y semitropicales con mayor frecuencia, debido a las condiciones favorables de desarrollo, sin embargo se ha detectado en todo el mundo (Bogantes *et al.*, 2004).

La presencia de AF se ha detectado en el campo, cosecha, transporte y almacenamiento, encontrándose los mayores niveles de contaminación en cultivos como el algodón, maíz, cacachuates, nueces, avellanas y cereales como trigo, arroz, centeno y cebada (AESAN, 2012).

### **3.11 Factores que influyen en la producción de aflatoxinas**

Para la producción de AF, es necesario que el hongo se desarrolle, por lo que muchos de los factores para que se lleve a cabo o no una contaminación con esta micotoxina, serán principalmente las condiciones climáticas para el desarrollo de *A. flavus*, siendo las principales condiciones la temperatura y la humedad, además de que este hongo aprovecha y logra su mayor contaminación cuando las plantas, padecen estrés, principalmente el estrés hídrico, provocado por las altas temperaturas y el mal manejo agronómico, además de que estudios han encontrado que una planta estresada por sequía, induce un gran aumento en la producción del aminoácido prolina. Se sabe que ciertos aminoácidos como glicina, glutamato, aspartato, glutamina y prolina estimulan la producción de AF (Arrúa *et al.*, 2012).

Las AF al producirse, pueden localizarse en el micelio de los hongos, en las esporas o ser excretadas en el sustrato donde se desarrolla el hongo. La producción de estas toxinas inicia durante la fase estacionaria de crecimiento del hongo, por lo que al existir mayor esporulación se considera que habrá menor producción de AF y la

cantidad de inóculo inicial posiblemente determinara los alcances de la contaminación (Arrúa, 2009). La presencia del hongo no implica la producción de AF, sin embargo al desarrollarse el hongo, el riesgo de contaminación puede ser alto las primeras 24 horas, alcanzando el máximo riesgo entre los 7-10 días (Moreno, 1988).

La producción de AF depende de muchos factores como el tipo de hongo, ya que aunque se tenga identificado que es *A. flavus*, las condiciones climáticas alteran el metabolismo y desarrollo de este, provocando cepas más agresivas que otras, algunos autores indican que el 40% de los aislamientos en este hongo son aflatoxigénicos, y los factores ambientales provocan importantes diferencias geográficas y estacionales entre *A. flavus*. La temperatura es otro de los factores de importancia, ya que aparte de condicionar el desarrollo de este hongo, la temperatura influye en la producción de AF, de 25 a 35°C es la temperatura óptima, para dicha producción. No se producen AF por debajo de 10°C y por encima de 45°C. El rango de producción es entre 12 y 40°C (Moreno y Gil, 1991). A bajas temperaturas, las cantidades de AFB y AFG son aproximadamente iguales y a temperaturas más elevadas la producción de AFB que son las más dañinas, se vuelve predominante (Arrúa *et al.*, 2012).

Los gases influyen en el desarrollo del hongo y la producción de AF, *A. flavus* es un hongo aerobio, y a niveles de 1% de oxígeno en el ambiente se detiene su desarrollo y por ende la producción de toxinas (Moreno y Gil, 1991). Concentraciones mayores a 20% de CO<sub>2</sub> inhiben la germinación de las esporas, deteniendo el desarrollo del hongo, además de concentraciones de 10% suprimen la producción de AF y concentraciones de oxígeno menores a 20 y mayores a 90% también inhiben dicha producción, resaltando que este intercambio de gases se presenta con mayor frecuencia en el almacenamiento, en este caso del grano o semilla de maíz (Moreno, 2004).

Los principales factores que provocan el desarrollo del hongo y contaminación de AF, se potencializan al tener un mal manejo agronómico, y esto se debe atender desde

una adecuada preparación del suelo y control de malezas, esto para evitar la posible presencia del hongo *A. flavus*, posteriormente el control de plagas y enfermedades es de suma importancia para el desarrollo del hongo y su posible contaminación, ya que los microorganismos que dañan a la planta, facilitan la entrada y son vectores para una contaminación de AF, por lo que cualquier otro factor que provoque daño mecánico favorece una posible contaminación, como lo podrían ser las tormentas, granizo y daño por aves (Klich, 2007).

El desarrollo de *A. flavus* y la contaminación de AF se puede iniciar desde la fase de campo, postcosecha, traslado, almacenamiento y conservación, por lo que se puede llevar a cabo una siembra con semilla de maíz previamente contaminada y mantenerse dicha contaminación hasta el consumo del grano (AESAN, 2012).

En cuanto al contenido de humedad (CH) del grano en el manejo postcosecha, estudios indican que debe ser menor a 14% y que si existiera un CH superior a este por más de 48 horas, se favorecería el desarrollo de las AF, por lo tanto el buen manejo agronómico en campo es tan importante como la postcosecha, secado o acondicionamiento de granos y semillas (FAO, 2003).

Se sabe que *A. flavus* presenta mayor actividad proteolítica, por lo que es más abundante en el cultivo de maíz (Moreno y Gil, 1991), sin embargo este hongo se desarrolla en diferentes sustratos sólidos, ricos en carbohidratos como coco, trigo, arroz, semilla de algodón, afectando otros cultivos como maní, nueces, avellanas, centeno, cebada, café, sorgo, etc (AESAN, 2012).

### **3.12 Efecto toxigénico de las aflatoxinas**

Las AF afectan a los seres vivos ya sea por ingestión, inhalación o absorción cutánea, el grado de afectación depende de factores como dosis, toxicidad de la AF (B1 o B2) toxinas producidas por *A. flavus*, factores intrínsecos del hospedero,

nutrición, edad, sexo y periodo de exposición a la toxina. Los efectos nocivos de la intoxicación según el tiempo de exposición a la toxina han sido clasificados en agudos y crónicos, siendo acumulativas estas toxinas provocando cáncer de hígado principalmente (AESAN, 2012).

Las AF afectan la absorción y el metabolismo de lípidos, carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales, y su toxicidad afecta el transporte electrónico de la cadena respiratoria y las membranas celulares y subcelulares. La AF B1 que es la más dañina, funciona por medio de su radical epóxido el cual interactúa con proteínas de conjugación, generando toxicidad, inhibición en la síntesis de proteínas e inmunosupresión, además es capaz de producir genotoxicidad e inducir los procesos cancerígenos. La intoxicación aguda se produce cuando se consumen niveles altos de AF por un período corto, presentando los siguientes efectos: Hemorragias, daño agudo del hígado, edema, alteraciones en la digestión y posiblemente la muerte. La intoxicación crónica se produce cuando se consume en niveles moderados a altos de AF durante toda su vida o por largos periodos de tiempo, presentando efectos generalmente subclínicos y difíciles de reconocer, entre éstos destacan: efectos embriotoxigénicos, teratogénicos, mutagénicos, pueden actuar como anticoagulantes y afectan sistema nervioso e inmune. En humanos portadores del virus de la hepatitis B, la exposición a esta micotoxina se ha relacionado a un incremento de 60 veces el riesgo de carcinoma hepatocelular con respecto a la población general, dado que AFB1 es 30 veces más potente en pacientes portadores de este virus (Pincay, 2014). Los animales también se ven afectados por la contaminación de AF, con efectos que de manera aguda provocan necrosis hepática, nefritis, congestión pulmonar y crónicamente con efectos parecidos que al humano, diversos estudios demuestran efectos carcinogénicos en truchas, ratas, ratones, porcinos, bovinos, equinos, ovinos y diversas aves (Bogantes *et al.*, 2004). Una contaminación de 60 a 800 mg kg<sup>-1</sup> de AF en alimentos balanceados para animales, bajan su producción, causan diarrea, vómitos, aborto en bovinos y las vacunas no sirven (Serrano y Cardona, 2015).

El impacto económico de la contaminación con AF, incluye pérdida de seres vivos, incremento en los costos de salud y veterinaria, reducción en la producción animal, entre otros problemas económicos y comerciales, por lo que es de suma importancia una legislación estricta y globalizada en alimentos, para establecer niveles permitidos de AF y evitar la exposición de estos contaminantes.

### 3.13 Legislación de aflatoxinas

Actualmente algunos países desarrollados tienen una legislación clara en cuanto a las concentraciones de AF permitidas en sus alimentos, la cual no puede superar las 20 partes por billón (ppb) (Serrano y Cardona, 2015). Existen diferentes legislaciones tanto internacionales como nacionales que tratan el problema de las AF y establecen diferentes límites máximos de tolerancia en diferentes alimentos.

#### **NOM (Norma Oficial Mexicana) NOM-247-SSA1-2008.**

<b>Producto</b>	<b>Límite máximo de aflatoxinas en partes por billón (ppb).</b>
Cereales almacenados y empleados para materia prima en la elaboración de productos.	20 ppb
Harina de maíz nixtamalizado.	12 ppb

**Reglamento Técnico Mercosur sobre Límites Máximo de aflatoxinas.**

<b>Producto</b>	<b>Límite máximo de aflatoxinas en partes por billón (ppb).</b>
Leche fluida y en polvo.	M1- 5 ppb
Maíz en grano (entero, partido, aplastado, mondado), harinas o sémolas de maíz.	B1+B2+G1+G2- 20 ppb
Maní y pasta de maní o manteca de maní.	B1+B2+G1+G2- 20 ppb

**Reglamento (EU) no 165/2010. Diario Oficial de la Unión Europea.**

<b>Productos que vayan a someterse a otro proceso antes del consumo humano directo o de su utilización como ingredientes de productos alimenticios.</b>	<b>Límite máximo de aflatoxinas en partes por billón (ppb).</b>	
<b>Aflatoxinas</b>	<b>B1</b>	<b>Suma de B1, B2, G1 y G2</b>
Cacahuates y semillas oleaginosas, con la excepción de que esta materia prima vaya a molerse para la producción de aceite vegetal refinado.	8 ppb	15 ppb
Almendras, pistachos y huesos de albaricoque.	12 ppb	15 ppb
Avellanas y nueces de Brasil.	8 ppb	15 ppb
Frutos de cáscara arbóreos.	5 ppb	10 ppb
Frutas pasas	2 ppb	4 ppb
Maíz y arroz	5 ppb	10 ppb



**Límites permitidos por la FDA de los EEUU para aflatoxinas en alimentos.**

<b>Producto</b>	<b>Límite máximo de aflatoxinas en partes por billón (ppb).</b>
Maní	20 ppb en alimentos; 0.5 ppb aflatoxina M1 en leche
Mantequilla de maní	
Maní azucarado	
Maíz	

**3.14 Mecanismos de resistencia y genotipos resistentes**

Los mecanismos de resistencia a la contaminación con AF son diversos. Existen proteínas de resistencia en los granos de maíz como las hidrolasas, quitinasas y glucanasas, que degradan polisacáridos estructurales de la pared celular de los hongos (Cobielles, 2007), algunas proteínas se encuentran en el pericarpio del grano, por lo cual la posible resistencia a la contaminación del hongo *A. flavus*, esto dependerá del tipo de grano de maíz, como los maíces con pericarpio más delgado son más susceptibles a la contaminación con AF. Los hongos del género *A. flavus* comúnmente contaminan alimentos ricos en almidón (Cobielles, 2007), donde realizan la síntesis de AF en el embrión y la aleurona, posteriormente la infección puede progresar dentro del endospermo, estudios han demostrado mayor contaminación en maíces blancos, debido al alto contenido de endospermo harinoso que tienen en comparación con maíces amarillos (Vázquez *et al.*, 2012), además de que Norton (1997) demostró que pigmentos en el endospermo (carotenoides) de maíces amarillos pueden disminuir la cantidad de AF producidas por *A. flavus*. Los granos de maíz contaminados con AF están distribuidos al azar dentro del elote (Arrúa *et al.*, 2012).

Existen estudios donde se demuestra que a mayor densidad de población en el cultivo de maíz, se limita la formación de células y de gránulos de almidón, por lo que se reduce la capacidad de crecimiento del endospermo, el tamaño del grano, se reducen los contenidos de proteína y triptófano, aunque aumenta la suavidad

(Vázquez *et al.*, 2013), pérdidas similares de aminoácidos, por lo que la alta densidad de población ayuda a disminuir la contaminación con AF (Rojas *et al.*, 2008).

Otro mecanismo de resistencia a la contaminación con AF, se logra mediante el uso de semillas vigorosas y longevas, ya que se desarrolla una planta con resistencia a diferentes tipos de estrés, por lo cual se evita cierta susceptibilidad del desarrollo del hongo y una posible contaminación (Cobielles, 2007).

En el proceso de germinación de la semilla de maíz se producen compuestos proteicos que confieren resistencia a la contaminación con AF, como lo es la proteína inactivadora del ribosoma (RIP), la cual altera e inactiva ribosomas foráneos. Debido a esto, los materiales de alta calidad proteica (QPM), son más susceptibles a la contaminación con esta toxina, ya que tienen la proteína RIP en niveles de 50 a 100 veces inferiores, comparando estos materiales con isolíneas de calidad proteica normal (Alezones *et al.*, 2014).

Dentro de una especie de patógeno, existen razas fisiológicas que son morfológicamente idénticas pero que difieren en su capacidad para infectar a una serie de variedades distintas de un mismo hospedante, por lo que ciertos materiales de maíz son resistentes a la contaminación con AF en un área geográfica, pero son susceptibles en otra, debido a que la resistencia cambia de un año a otro, ya que es difícil que las razas fisiológicas del hongo sean las mismas en cada ciclo de cultivo (Agrios, 2005).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización de la investigación

El presente proyecto de investigación se desarrolló en el Campo Experimental Bajío del INIFAP dentro del Programa de maíz, en colaboración con el Departamento de Estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque. Ubicado en el km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, en Celaya, Guanajuato y la Unidad de Investigación en Granos y Semillas de la UNAM, ubicada en el Centro de Asimilación Tecnológica de la FES Cuautitlán, en Cuautitlán Izcallí, Estado de México.

Para cumplir con los objetivos planteados de este trabajo experimental, se realizaron actividades desde campo, en las siguientes localidades:

- 1) Campo Experimental Morelia del Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en la localidad Peña del Panal en Tarimbaro, Michoacán.  
Latitud 19° 42' - Longitud 101° 11' - Altitud 1,941 msnm.
- 2) Campo Experimental Río Bravo del Instituto Nacional De Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en el Km 61 Carretera Matamoros-Reynosa en Reynosa, Tamaulipas.  
Latitud 25° 57' - Longitud 98° 1' - Altitud 36 msnm.
- 3) Área experimental agrícola, del Departamento de estudios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Roque. Ubicado en el km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas en Celaya, Guanajuato.  
Latitud 20° 34' - Longitud 100° 50' - Altitud 1,765 msnm.

El trabajo de laboratorio se llevó a cabo en la Unidad de Investigación en Granos y Semillas (UNIGRAS) de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Cuautitlán de la Universidad Autónoma de México (UNAM), ubicada en la Av. Doctor Jorge Jiménez Cantú, s/n, Infonavit Nte, 54740 Cuautitlán Izcalli, México; Donde se realizó la Inoculación de muestras de semilla y grano con el hongo *A. flavus*, así como la extracción y cuantificación de AF.

#### **4.2 Material Genético**

El material genético utilizado en esta investigación fue desarrollado a través de un proyecto colaborativo entre el INIFAP-CEBAJ y la UNIGRAS-UNAM, cuyos objetivos se han enfocado a la identificación de fuentes de resistencia a AF; el estudio de los mecanismos hereditarios de la resistencia a las AF y el desarrollo de maíces agrónomicamente competitivos resistentes a estas toxinas.

El germoplasma involucrado en este proyecto, fue derivado de diversos genotipos de maíz, proporcionados originalmente por el INIFAP, los cuales se pueden agrupar en:

- 1) Variedades nativas provenientes de accesiones del Banco de Germoplasma del INIFAP originarias de diversas localidades del país.
- 2) Variedades precoces desarrolladas por el INIFAP en el Campo Experimental Calera en Zacatecas, seleccionadas para resistencia a la sequía en el altiplano semiárido.
- 3) Variedades desarrolladas por el INIFAP en el Campo Experimental Río Bravo en Tamaulipas.
- 4) Líneas elite normales y de alta calidad de proteína desarrolladas por los Programas de maíz del Bajío y del Trópico.

En las primeras etapas del proyecto se identificaron materiales resistentes y susceptibles a contaminación con AF, posteriormente se llevaron a cabo cruza entre los genotipos resistentes con miras a fijar dicha característica, sin embargo el

desempeño agronómico de los genotipos resistentes era pobre y con bajos rendimientos, por lo que se realizaron cruzas con líneas elite tropicales y subtropicales del INIFAP para desarrollar nuevas líneas con resistencia a AF y características agronómicas superiores a través de reciclaje de líneas por el método genealógico. En el 2014, con líneas derivadas en este proceso, inicio la formación de híbridos experimentales.

El cuadro 4.2.1, muestra el germoplasma utilizado en la formación de los híbridos experimentales que se evaluaron en esta investigación y que fueron derivados a partir de los materiales antes mencionados a través del método pedigree o genealógico, en donde se trató de incorporar la resistencia a las AF en líneas de buen desempeño agronómico mediante la selección de líneas segregantes con resistencia a contaminación con AF y buena calidad agronómica.

Debido a que fueron generados un gran número de híbridos experimentales, para iniciar con esta investigación, con base en su genealogía fueron seleccionados híbridos que provinieran de líneas heteróticamente contrastantes, para su posterior evaluación en los Campos Experimentales del INIFAP en Rio Bravo Tamaulipas (con presencia endémica de *A. flavus* en suelo), y Morelia Michoacán, además de Celaya Guanajuato en el área experimental del Instituto Tecnológico de Roque.

Tabla 4.2.1 Germoplasma que conforma la genealogía de los híbridos evaluados.

D471	Línea Elite Tropical generada en el Programa de Maíz del Inifap en el Campo Experimental de Iguala.
CML175	Línea de QPM Subtropical generada por el CIMMYT.
INIFAP-UNIGRAS 10	Población de ciclo intermedio resistente a las aflatoxinas, proveniente del Banco de Germoplasma del INIFAP.
INIFAP-UNIGRAS 9	Población de ciclo intermedio resistente a las aflatoxinas, proveniente del Banco de Germoplasma del INIFAP.
INIFAP-UNIGRAS 15	Población de ciclo intermedio resistente a las aflatoxinas, proveniente del Banco de Germoplasma del INIFAP.
INIFAP-UNIGRAS 31	Población de ciclo precoz resistente a las aflatoxinas, generada por el INIFAP en Zacatecas.
CML 150	Línea de QPM Tropical generada por el CIMMYT.
CML 311	Línea Subtropical generada por el CIMMYT.
INIFAP-UNIGRAS 33	Población de ciclo precoz resistente a las aflatoxinas, generada por el INIFAP en Zacatecas
INIFAP-UNIGRAS 24	Población de ciclo intermedio resistente a las aflatoxinas, proveniente del Banco de Germoplasma del INIFAP
INIFAP-UNIGRAS 27	Población de ciclo precoz resistente a las aflatoxinas, generada por el INIFAP en Zacatecas.
HC47-55	Línea elite Subtropical generada por el Programa de Maíz del INIFAP en el Campo Experimental Bajío derivada de la Población de amplia base genética.
CML176	Línea de QPM Subtropical generada por el CIMMYT.
P47331	Línea elite Subtropical generada por el Programa de Maíz del INIFAP en el Campo Experimental Bajío derivada de la Población de amplia base genética.
INIFAP-UNIGRAS 38	Línea de ciclo tardío resistente a las aflatoxinas, generada por el INIFAP en Río Bravo.
LT 155	Línea elite Tropical generada por el Programa de Maíz del INIFAP en el Campo Experimental Cotaxtla.
LT 154	Línea elite Tropical generada por el Programa de Maíz del INIFAP en el Campo Experimental Cotaxtla.
CML 338	Línea Subtropical generada por el CIMMYT.
CARMELITA 2	Línea elite Subtropical de ciclo intermedio generada por el Programa de Maíz del INIFAP en el Campo Experimental Bajío.
CARMELITA 5	Línea elite Subtropical de ciclo intermedio generada por el Programa de Maíz del INIFAP en el Campo Experimental Bajío.

### 4.3 Diseño experimental

#### a) Desarrollo del trabajo de campo

Para la evaluación de los híbridos resistentes a la contaminación con AF, en el Campo Experimental Río Bravo Tamaulipas se utilizó un diseño experimental látice parcialmente balanceado 9x9 con tres repeticiones. Este ensayo se realizó en esta localidad debido a la presencia endémica del hongo en cuestión, ya que con esta localidad se evaluó la resistencia a la contaminación con AF. La unidad experimental

se formó de un surco de 5 m de longitud y 80 cm de separación; cada parcela constó de un surco en donde se sembraron 35 semillas por híbrido evaluado, los híbridos establecidos fueron 78 y 3 testigos locales.

El mismo diseño experimental, pero con 2 repeticiones fue utilizado en los ensayos de evaluación de los híbridos experimentales conducidos en el Instituto Tecnológico de Roque y en el Campo Experimental de Morelia. En ambas localidades, la unidad experimental cambió al usar dos surcos por parcela, variando solamente en la distancia de separación entre ellos, de 76 y 80 cm, y con la misma longitud de cada surco de 5 m; de igual forma se usaron 35 semillas por parcela, teniendo 78 híbridos y 3 testigos locales para cada localidad.

b) Desarrollo del trabajo de laboratorio

Para la Inoculación y evaluación de la resistencia a la contaminación con AF, de la semilla que se sembró en las tres localidades, se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), con 81 tratamientos incluidos 3 testigos, con 2 repeticiones cada tratamiento.

Para la extracción y cuantificación de AF, así como la evaluación de la resistencia a la contaminación de esta toxina, del grano cosechado proveniente del campo experimental de rio Bravo Tamaulipas (con presencia endémica de *A. flavus* en suelo), se utilizó un DCA, con 81 tratamientos incluidos 3 testigos, con 3 repeticiones cada tratamiento.

## **4.4 Manejo agronómico del ensayo conducido en Rio Bravo, Tamps. Ciclo P-V 2015**

### **4.4.1 Preparación del terreno**

La preparación del terreno consistió en realizar:

- 1) Barbecho.
- 2) Dos pasos de rastra con rotura.
- 3) Cruza.
- 4) Surcado a una distancia de 80 cm.
- 5) Trazado de fajas para las parcelas experimentales.

### **4.4.2 Siembra**

La siembra se realizó a tierra venida, aprovechando la humedad del suelo debido a las precipitaciones previas que se presentaron. Cada parcela experimental constó de un surco de 5 m de longitud y una distancia entre surco de 80 cm, con una distancia entre semilla de 14.2 cm, teniendo un total de 35 semillas por parcela experimental, no hubo necesidad de aclareo, ya que la siembra consistió en una semilla por golpe.

### **4.4.3 Fertilización**

Se aplicó en la siembra 140 unidades de nitrógeno y 52 de fósforo.

### **4.4.4 Control de malezas**

Con el fin de evitar en menor proporción el control químico se llevó a cabo un aclareo a los 20 días después de la siembra y una primer escarda al día siguiente. Posteriormente se llevó a cabo una segunda escarda y un desyerbe manual.



Finalmente para tener un control de malezas más eficiente se realizó un aplicación de Atrazina con bomba manual, a una dosis de  $1.1 \text{ kg/ha}^{-1}$ .

#### **4.4.5 Control de plagas**

Se aplicó en presiembra el insecticida COUNTER (Terbufos) granulado al 5 %, para el control de plagas del suelo, y de esta manera aprovechar la humedad de la lluvia. Posteriormente se aplicó POUNCE granulado, para el control del gusano elotero (*Helicoverpa zea*) y cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

### **4.5 Manejo agronómico del ensayo conducido en Celaya, Gto. Ciclo P-V 2015**

#### **4.5.1 Preparación del terreno**

La preparación del terreno consistió en realizar:

- 1) Barbecho.
- 2) Rastra.
- 3) Surcado a una distancia de 76 cm.
- 4) Trazado de fajas para las parcelas experimentales.

#### **4.5.2 Siembra**

La siembra se realizó bajo condiciones de riego, cada parcela experimental constó de dos surcos de 5 m de longitud y una distancia entre surco de 76 cm, con una distancia entre semilla de 14.2 cm, teniendo un total de 70 semillas por parcela experimental, no hubo necesidad de aclareo, ya que la siembra consistió en una semilla por golpe.

### 4.5.3 Fertilización

Se empleó como fuente de fertilización la mezcla física 18-24-12 incorporando 250 kg ha<sup>-1</sup> en la siembra, con esta cantidad de fertilizante se aplicaron 45 unidades de nitrógeno, 60 de fósforo y 30 de potasio; posteriormente se llevó una aplicación de 445.65 kg ha<sup>-1</sup> de Urea, para cubrir la fórmula 250-60-30. Además se hicieron dos aplicaciones de macro y micronutrientes de manera foliar con Bayfolán Forte a razón de 4 litros ha<sup>-1</sup>.

### 4.5.4 Control de malezas

Se llevó a cabo un control químico con la aplicación en forma pre-emergente de PRIMAGRAM GOLD (Atrazina y S-Metolaclor), a razón de 4 litros ha<sup>-1</sup>. Posteriormente se llevó a cabo un control de malezas de manera manual, durante la fase de crecimiento de la planta.

### 4.5.5 Control de plagas

Se aplicaron 20 kg ha<sup>-1</sup> en presiembra de FURADAN 5G cuyo ingrediente activo es Carbofuran, esto para el control de plagas del suelo (aplicación mezclada con fertilizante). Para el control de trips durante la etapa vegetativa, se aplicó FOLIMAT (insecticida/acaricida) cuyo ingrediente activo es Ometoato: 0,0-dimetil-S-(2-metilamino2-oxoetil fosforotioato) a razón de 600 ml ha<sup>-1</sup>. Para controlar gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se aplicó PALGUS<sup>TM</sup> cuyo ingrediente activo es Spinetoram a una dosis de 250-350 cc ha<sup>-1</sup>.

## **4.6 Manejo agronómico del ensayo conducido en Morelia, Mich. Ciclo P-V 2015**

### **4.6.1 Preparación del terreno**

La preparación del terreno consistió en realizar:

- 1) Barbecho.
- 2) Rastra.
- 3) Surcado a una distancia de 80 cm.
- 4) Trazado de fajas para las parcelas experimentales.

### **4.6.2 Siembra**

La siembra se realizó bajo condiciones de riego, cada parcela experimental constó de dos surcos de 5 m de longitud y una distancia entre surco de 80 cm, con una distancia entre semilla de 14.2 cm, teniendo un total de 70 semillas por parcela experimental, no hubo necesidad de aclareo, ya que la siembra consistió en una semilla por golpe.

### **4.6.3 Fertilización**

Se aplicó la fórmula 125-46-60; las fuentes fueron Urea, DAP y Cloruro de Potasio. Posteriormente se llevó a cabo una segunda fertilización aportando 125 unidades de nitrógeno. Finalmente se aplicaron macro y micronutrientes de manera foliar con GUANOFOL a razón de 4 litros ha<sup>-1</sup>.

### **4.6.4 Control de malezas**

Se llevó a cabo un control químico con la aplicación en forma pre-emergente de PRIMAGRAM GOLD (Atrazina y S-Metolaclor), a razón de 4 litros ha<sup>-1</sup>.

Posteriormente se llevó a cabo una aplicación localizada con el herbicida post-emergente GRAMOCIL a razón de 1.5 litros ha<sup>-1</sup>, con estas aplicaciones se logró un control efectivo.

#### **4.6.5 Control de plagas**

Se llevó a cabo una aplicación del insecticida LORSBAN™ EM 480 en su presentación líquida a razón de 0.750 cc ha<sup>-1</sup>. Posteriormente se aplicó PALGUS™ granulado, para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en sus primeros estadios. Finalmente se aplicó PROCLAIM 05 SG a razón de 150 g ha<sup>-1</sup>, con lo anterior fue suficiente para evitar daños significativos de plagas foliares.

### **4.7 Variables evaluadas**

#### **4.7.1 Agronómicas**

##### **4.7.1.1 Floración masculina**

Para floración masculina (FM) se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas más una tuvieron espigas con el 50% de las anteras liberando polen (días).

##### **4.7.1.2 Floración femenina**

Para floración femenina (FF) se contabilizó el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas más una tuvieran estigmas entre 2-3 cm de largo (días).

##### **4.7.1.3 Altura de planta**

Para altura de planta (AP) se midió la distancia en centímetros en dos plantas tomadas al azar con competencia completa, desde la base de la planta hasta el nudo de la espiga, antes del punto de inserción con espiguillas; Se tomó el promedio.

#### **4.7.1.4 Altura de mazorca**

Para altura de mazorca (AM) se determinó la distancia en centímetros desde la base del tallo al nudo de la inserción de la mazorca principal, esto en las mismas plantas seleccionadas para altura de planta. Las alturas de planta y mazorca se midieron un mes después de la floración.

#### **4.7.1.5 Número de plantas**

Se registró el número de plantas establecidas por parcela total.

#### **4.7.1.6 Acame de raíz y tallo**

Los datos sobre el acame de raíz y tallo (ACAM) se registraron al final del ciclo vegetativo del cultivo, antes de la cosecha. Fueron consideradas con acame de raíz aquellas plantas que tuvieron una inclinación de 30° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta donde comienza la zona radicular, y el acame de tallo se consideró al número de plantas con tallos rotos debajo de la mazorca principal. Se encontraron dentro de las parcelas plantas débiles con tallos de poca calidad, fue necesario presionar los tallos suavemente y las plantas que se cayeron fueron consideradas como plantas acamadas de tallo.

#### **4.7.1.7 Número de mazorcas totales**

Se consideró al total de mazorcas cosechadas dentro de cada parcela útil.

#### **4.7.1.8 Cobertura de mazorca**

Para cobertura de mazorca (COB) se consideró al número de mazorcas de cada parcela que antes de la cosecha presentaron expuesta la punta de la mazorca. Este

dato se expresó en porcentaje dividiendo el número de mazorcas con mala cobertura entre el total de mazorcas cosechadas (%).

#### **4.7.1.9 Número de mazorcas podridas**

Para el número de mazorcas podridas (POD), del total de las mazorcas cosechadas dentro de cada parcela, se contaron las mazorcas dañadas por *Diplodia spp*, *Fusarium spp*, *Aspergillus spp* ó *Gibberella spp*, de cada genotipo. Para obtener la variable en porcentaje, se dividió el número de mazorcas podridas entre el número de mazorcas cosechadas y se multiplicó por 100 (%).

#### **4.7.2 Componentes de rendimiento**

##### **4.7.2.1 Peso de campo**

El peso de campo se determinó con la cosecha de todas las plantas de cada parcela útil, el peso de campo de las mazorcas con olote se registró en kilogramos con ayuda de una báscula digital (kg).

##### **4.7.2.2 Determinación de humedad**

Se tomó una muestra de cinco mazorcas tomadas al azar; se desgranaron dos hileras de cada mazorca. El contenido de humedad se determinó por medio del porcentaje de humedad del grano empleando un determinador de humedad (mini GAC® plus moisture tester DICKEY-john® COPORATION), la muestra se vació en la tolva del determinador de humedad, previamente ajustado para determinar humedad en maíz; la humedad fue medida en base al paso de la corriente eléctrica a través de la muestra de granos, entre más húmedos mayor fue el paso de corriente (%).

### 4.7.2.3 Porcentaje de desgrane

Para determinar porcentaje de desgrane se seleccionaron las 5 mejores mazorcas de cada parcela, las cuales se pesaron para posteriormente desgranarse y pesar solo el grano, este peso último se multiplicó por 100 y se dividió entre el peso de las 5 mazorcas, el resultado se dividió entre 100 para obtener el porcentaje de desgrane.

## 4.8 Pruebas de laboratorio

La metodología de las técnicas utilizadas en las pruebas de laboratorio desarrolladas en este proyecto, son metodologías utilizadas por el laboratorio de la UNIGRAS, basadas en Análisis físico y biológico de semillas agrícolas (Moreno, 1996).

### 4.8.1 Inoculación con el hongo *Aspergillus flavus*

En muestras de semillas de los genotipos que se evaluaron en las tres localidades, se llevó a cabo la inoculación en el laboratorio de la UNIGRAS, con el fin de identificar híbridos resistentes a la contaminación con AF, dicha inoculación se realizó artificialmente con la cepa 28 de la UNIGRAS.

Tabla 4.8.1.1 Material utilizado en la Inoculación inicial de laboratorio.

- 81 cajas de aluminio	- 1 vaso de precipitados
- 81 frascos con tapa de 250 ml	- 2 pipetas de vidrio de 10 ml
- Cucharas desechables	- 2 embudos
- 1 probeta de 100 ml	- gasas
- 1 matraz de 1 litro de agua destilada	- 1 mechero de bunsen
- Solución twin	- Alcohol etílico
- Cajas tipo panera	

Tabla 4.8.1.2 Equipo utilizado en la Inoculación inicial de laboratorio.

- Bascula analítica	- Incubadora
- Autoclave	- Estufa
- Microscopio	- Cámara de neubauer

#### 4.8.1.1 Lavado y esterilizado

Se llevó a cabo un lavado y una limpieza general del material y equipo previamente mencionado, además de esterilizar el material en el autoclave para obtener una limpieza total de este.

#### 4.8.1.2 Determinación de contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad (CH) de la semilla, se sometió a secado por medio de la estufa, por un periodo de 72 horas a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , una muestra por duplicado de semilla de peso conocido en cajas de aluminio de igual forma previamente pesadas, transcurrido el tiempo se extrajeron las cajas y se ubicaron en un desecador para disminuir la temperatura y evitar que adquirieran humedad del medio. Posteriormente se tomó el peso de las cajas con los granos secos y se calculó el porcentaje de humedad a través del peso que se perdió durante el proceso.

Para obtener el porcentaje de humedad, se dividió la pérdida de peso de la muestra entre el peso original de ella y el resultado se multiplicó por 100 (Moreno, 1996).

#### 4.8.1.3 Preparación de medios de cultivo

Se llevó a cabo la preparación de los medios de cultivo para el desarrollo del hongo *A. flavus*; Se utilizó el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar, el cual nos indicó la etiqueta que se deben disolver 39 gramos en un litro, por lo que se utilizaron 750 ml



de agua, correspondiendo a esta cantidad 29.25 gramos, los cuales se pesaron en la báscula analítica para posteriormente disolverse y preparar los medios de cultivo en cajas de Petri.

#### 4.8.1.4 Propagación de *Aspergillus flavus*

Para el desarrollo del hongo *A. flavus* (Figura 4.8.1.4.1), se utilizaron los medios de cultivo preparados previamente, en donde se depositó micelio del hongo de la especie en estudio, la cepa 28 propiedad de la UNIGRAS; posteriormente se colocaron las cajas Petri con el micelio del hongo en cuestión, en la incubadora por 7 días a 28°C.



Figura 4.8.1.4.1 Desarrollo de *Aspergillus flavus*.

#### 4.8.1.5 Cuantificación de esporas

Se obtuvo una porción del medio de cultivo, agregándole 10 ml de agua destilada estéril con solución Tween 80 al 0.05 %, posteriormente se agitó para que se homogenizaran las esporas en el agua. Después se realizó el conteo de esporas, aproximadamente 260, 000 esporas por ml, solución que se disolvió para agregar

solo 15,000 esporas por cada unidad experimental, este conteo se realizó con la cámara de Neubauer.

#### 4.8.1.6 Ajuste de humedad e Inoculación

Al tener 81 muestras, se tomaron dos repeticiones por cada una, de 30 g de semilla cada unidad experimental, previamente se desinfecto con hipoclorito de sodio al 2% cada muestra y se colocaron en frascos esterilizados de 200 g. Al saber el contenido de humedad (inicial) de las 81 muestras, se agregó la suspensión de esporas (15,000 esporas/frasco) y la cantidad de agua necesaria para el ajuste de humedad a 18 % (final) de cada muestra (Figura 4.8.1.6.1), debido a que es el CH idóneo para el desarrollo de *A. flavus*, finalmente se almacenaron los frascos a una temperatura de 27°C durante 10 días.



Figura 4.8.1.6.1 A) Inoculación de semilla con *Aspergillus flavus*. B) Ajuste de humedad por medio de vibración.

#### 4.8.2 Primera extracción y cuantificación de aflatoxinas

A la semana de mantener las muestras en la incubadora, se detectó el desarrollo del hongo *A. flavus*, por lo que se sacaron las muestras, y de manera visual se determinó en escala del 1-5 en base al grado de contaminación del hongo (Figura 4.8.2.1); siendo 1 para la menor cantidad y 5 para la mayor cantidad de contaminación.



Figura 4.8.2.1 Muestras con diferente grado de contaminación del hongo *Aspergillus flavus*.

Tabla 4.8.2.1 Material utilizado en la extracción y cuantificación de aflatoxinas.

---

- Vasos de plástico con tapa	- Probeta graduada
- Cuchillas	- Jeringas
- Empaques	- Filtros
- Cajas de aluminio	- Pipeta electrónica
- Cucharas de plástico	- Alcohol
- Vaso de precipitado	- MeDH 70%

---

Tabla 4.8.2.2 Equipo utilizado en la extracción y cuantificación de aflatoxinas.

- 
- Kit de cuantificación de aflatoxinas (dilución buffer, tiras, incubadora ROSA-M, Lector ROSA-M, impresora)
  - Licuadora
  - Centrifuga
  - Balanza analítica
- 

Posteriormente se midió nuevamente el CH de las muestras por el método de la estufa antes mencionado, esto para saber si existió un desajuste de humedad, después se molieron todas las muestras en licuadora, ya molidas las unidades experimentales se pesaron 10 g de c/u, para posteriormente realizar la extracción y cuantificación de AF.

#### **4.8.2.1 Extracción de la muestra**

Se agregó a cada muestra de 10 gramos de semilla molida 40 ml de metanol al 70 % (Figura 4.8.2.1.1 - A), se disolvió por un minuto y se dejó asentar hasta obtener un ml del líquido sobrenadante, el cual se centrifugo por un minuto.

#### **4.8.2.2 Dilución del extracto**

De las muestras extraídas se tomaron 100 microlitros del sobrenadante en 1 ml del Buffer dilución que viene en el Kit de cuantificación de AF, posteriormente se filtraron todas las muestras en jeringas de 1 ml (Figura 4.8.2.1.1 - B).

#### **4.8.2.3 Cuantificación de aflatoxinas**

La UNIGRAS determina la cantidad de aflatoxinas, por medio de dos métodos:

- Método 991.31 de la AOAC (1995). (Aplicable para la determinación de AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 a concentraciones mayores, o iguales, a 10 ppb en maíz o crema de cacahuete).
- Método Afla-V (Vicam Micotoxin Tests). (Aplicable para la determinación de AFB1, AFB2, AFG1 y AFG2 a concentraciones tan bajas como 2 ppb y tan altas como 150 ppb en maíz y otros cereales). Por lo que este método solo determina aflatoxinas por debajo de 150 ppb.

La determinación de AF en esta investigación se realizó por medio del Método Afla-V, por lo que al tener las muestras diluidas se tomaron 300 microlitros de c/u y se aplicaron en las tiras del kit de cuantificación, una tira por cada muestra, se incubaron a 45 °C por cinco minutos (Figura 4.8.2.1.1- C); Finalmente cada tira se colocó en el lector ROSA-M, donde la impresora registró la cantidad de AF en partes por billón (ppb).



Figura 4.8.2.1.1. A) Muestras molidas con metanol al 70 %. B) Dilución y filtrado de muestras. C) Incubación de tiras. D) Impresión de la cantidad de aflatoxinas en ppb.

### **4.8.3 Segunda extracción y cuantificación de aflatoxinas**

En muestras del grano cosechado del ensayo de Río Bravo, Tamaulipas 2015, se realizó una segunda extracción y cuantificación de AF; el material, equipo y procedimientos fueron los mismos que se describieron para la primera determinación.

Esta extracción y cuantificación de AF se llevó a cabo en muestras de grano tomadas del experimento conducido en Río Bravo sin inoculación artificial previa, además de constar con más unidades experimentales, ya que este ensayo proveniente de campo, consto de tres repeticiones.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en los ensayos de campo, así como los de laboratorio de esta investigación que se presentan a continuación en las tablas de las variables evaluadas, son provenientes de las medias obtenidas a través de las repeticiones de cada unidad experimental.

### 5.1 Ensayo conducido en Celaya, Guanajuato PV 2015

En la Tabla 5.1.1 se muestran los resultados del análisis de varianza individual de las variables evaluadas en Celaya. Las variables analizadas fueron rendimiento (REND), floración masculina (FM) y femenina (FF), altura de planta (AP) y de mazorca (AM), acame total (ACT), cobertura de mazorca (COB) y mazorcas podridas (POD).

El análisis de varianza de esta localidad para genotipos muestra diferencias estadísticas significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) para ACT, y diferencias altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) en las variables REND, FF, COB y POD; al menos un híbrido tuvo un comportamiento superior; no existieron diferencias estadísticas en las variables FM, AP y AM. Los coeficientes de variación (CV) para las variables REND, FM, FF, AP y AM se consideran buenos al indicarnos confiabilidad en los resultados, en la conducción del experimento y en la comparación de los tratamientos. Con respecto a las demás variables, los valores fueron más altos, posiblemente a que estas variables no tienen una distribución normal.

Para las variables de ACT, COB y POD se llevó a cabo una transformación de datos, debido a que son variables que no tienen distribución normal y suelen incrementar los CV.

Tabla 5.1.1 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de la evaluación de híbridos de maíz resistentes a AF para rendimiento y características agronómicas en la localidad de Celaya Guanajuato, PV 2015.

Fuentes de variación	GL	CUADRADOS MEDIOS							
		REND	FM	FF	AP	AM	ACT	COB	POD
Repetición	1	279005	015	0.22	74.69	7.56	60.48	0.12	0.92
Bloques en repetición	16	3454478	2.15	1.42	438.23	407.74	13.62	0.72	0.49
Tratamientos	80	5858397**	2.95 <sup>NS</sup>	4.61**	408.58 <sup>NS</sup>	454.56 <sup>NS</sup>	7.90*	1.30**	1.58**
Error intrabloque	64	862851	1.16	1.75	263.88	291.50	2.64	0.44	0.46
CV (%)		10.99	1.59	1.93	7.03	13.96	29.18	31.92	25.49

\*, \*\*, Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente <sup>NS</sup> = Indica no significativo. CV= Coeficiente de variación, GL= Grados de libertad, REND= Rendimiento de grano, FM= Floración masculina, FF= Floración femenina, AP= Altura de planta, AM= Altura de mazorca, ACT= Acame total, COB= Cobertura de mazorca y POD= Mazorcas podridas.

En la Tabla 5.1.2 se muestra la comparación de medias mediante la prueba de Tukey para las variables que mostraron significancia estadística. Para REND se obtuvo una media general de 8.44 t ha<sup>-1</sup>, en donde existieron 37 híbridos y dos testigos que superaron esta media; el testigo DK2027 fue el de mayor REND; de los 37 híbridos mencionados 11 superaron las 10 ton ha<sup>-1</sup> y 6 de estos superaron a SULTAN otro de los testigos, considerándose estos 11 con buen potencial de REND para esta localidad; Se obtuvieron híbridos superiores a uno de los testigos, esto cumple uno de los objetivos planteados.

Para la variable FF se formaron tres grupos estadísticos, en donde existió un rango de 64 a 71 días a floración femenina, con una media general de 68.5 días, obteniendo con esto 31 híbridos precoces por debajo de la media general, considerándose a los testigos tardíos al superar esta media, se observó que los 10 híbridos de mayor REND, incluidos los testigos DK2027 y SULTAN fueron de ciclo tardío en un rango de la media general a 71 días.



Para las variables de ACT, COB y POD se expresaron los valores en porcentaje. Para ACT varió de 1.3 a 9.2 y la media general fue de 5.5; este ensayo fue dañado por los fuertes vientos que se presentaron en la estación de crecimiento de esta localidad; sin embargo, esta situación nos ayudó para identificar híbridos con mayor resistencia al acame; se obtuvieron 38 híbridos con porcentaje menor al de la media general, entre estos, los tres testigos; DK2027 y SULTAN fueron los materiales de mayor resistencia en toda la localidad; se identificaron 14 híbridos con menor porcentaje de ACT respecto al testigo H-317, con valores de 1.5 a 3.6, por lo cual son considerados de buenas características agronómicas y entre estos se identificaron 3 híbridos (28, 17 y 54) con REND por arriba de las 10 t ha<sup>-1</sup>.

Para COB se presentaron valores de 0.7 a 4.7, con una media general de 2.0, obteniendo 39 híbridos por debajo de la media general incluidos los tres testigos, identificando 5 híbridos con menor porcentaje de mala COB; estos últimos híbridos fueron mejores en comparación con los testigos y tres (30, 54 y 24) de estos rindieron más de 10 t ha<sup>-1</sup>.

En la variable POD se obtuvieron valores de 1.1 a 4.9, se obtuvo como media general 2.6 y por debajo de esta 43 híbridos, entre ellos dos de los testigos (DK2027 y SULTAN), se obtuvieron 23 híbridos con mejores resultados que estos últimos, lo cual es importante debido a que la POD reduce significativamente los rendimientos hasta en 40% (Arrúa *et al.*, 2012); 7 (45, 30, 43, 6, 24, 53 y 54) de los 23 híbridos fueron de los que se obtuvieron más de 10 t h<sup>-1</sup> y 10 híbridos de los que se obtuvieron mayores porcentajes en esta variable, fueron de los que se obtuvieron rendimientos por debajo de 7.1 t h<sup>-1</sup>, como lo son el testigo H-317 y los híbridos 12, 36, 62, 26, 58, 59, 1, 19 y 20. Esta variable se relaciona con COB, ya que para evitar pudriciones de la mazorca, debe existir buena COB, como fue el caso de los híbridos (30, 6, 45, 54 y 33) con bajo porcentaje de POD y de malas COB, y viceversa, existieron híbridos con alto porcentaje de POD que a su vez tuvieron porcentajes altos de mala COB, como fueron los híbridos (59, 20, 62, 58, 65 y 1).

Tabla 5.1.2 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables evaluadas que mostraron significancia en la localidad de Celaya Guanajuato, PV 2015.

No. Híbrido	Origen B14R	REND (t ha <sup>-1</sup> )	FF (días)	ACT (%)	COB (%)	POD (%)
80	DK2027*	14.15 <sup>a</sup>	69.5	1.3	1.5	2.0
45	1789 X 1781	12.26AB	70	8.1	1.4	1.4
44	1789 X 1776	11.52ABC	68.5	5.0	1.5	2.2
30	1782 X 1789	11.34ABCD	68.5	8.1	0.7	1.3
17	1776 X 1807	10.89ABCDE	71	2.6	2.4	2.9
43	1789 X 1772	10.49ABCDEF	68.5	8.5	2.2	1.5
28	1781 X 1789	10.45ABCDEF	71	3.4	1.6	2.3
81	SULTAN*	10.40ABCDEFGF	69.5	1.5	1.1	2.4
6	1772 X 1789	10.28ABCDEFGH	69.5	5.4	1.1	1.3
24	1779 X 1813	10.24ABCDEFGH	69	5.3	1.0	1.9
10	1774 X 1804	10.15ABCDEFGHI	66.5	9.2	1.7	2.4
53	1793 X 1781	10.10ABCDEFGHIJ	69	7.1	1.7	1.1
54	1795 X 1782	10.03ABCDEFGHIJ	67	3.6	0.7	1.4
42	1788 X 1777	9.82 BCDEFGHIJ	68	2.7	1.5	1.9
57	1797 X 1782	9.81 BCDEFGHIJ	69	2.8	1.2	1.9
33	1782 X 1812	9.80 BCDEFGHIJ	68	4.0	0.7	1.7
68	1809 X 1784	9.74 BCDEFGHIJ	70	4.9	2.0	2.9
16	1776 X 1790	9.72 BCDEFGHIJ	69	7.6	1.5	1.5
70	1809 X 1786	9.68 BCDEFGHIJ	68	6.8	2.4	2.5
67	1809 X 1778	9.68 BCDEFGHIJ	68.5	7.2	1.5	2.5
41	1787 X 1776	9.65 BCDEFGHIJ	69	3.0	2.6	2.8
29	1782 X 1787	9.62 BCDEFGHIJK	70	4.2	1.6	2.1
15	1776 X 1789	9.44 BCDEFGHIJK	70	4.1	1.3	2.0
32	1782 X 1805	9.43 BCDEFGHIJK	70.5	5.9	1.3	1.7
2	1770 X 1810	9.32 BCDEFGHIJK	68.5	6.4	2.0	1.5
14	1776 X 1788	9.30 BCDEFGHIJK	69.5	4.4	2.9	2.7
27	1781 X 1787	9.27 BCDEFGHIJK	69	6.4	1.5	2.6
46	1789 X 1782	9.22 BCDEFGHIJK	70	4.0	1.8	1.8
7	1772 X 1790	9.21 BCDEFGHIJK	71	3.9	2.2	2.5
22	1778 X 1808	9.05 BCDEFGHIJK	70.5	6.7	2.2	2.6
4	1771 X 1811	9.03 BCDEFGHIJK	66.5	5.7	2.1	1.9
21	1778 X 1804	9.01 BCDEFGHIJK	67.5	5.8	2.5	3.2
11	1775 X 1810	8.90 BCDEFGHIJK	70	6.3	1.7	2.6
9	1773 X 1810	8.85 BCDEFGHIJK	67.5	6.3	2.2	4.5
69	1809 X 1785	8.79 BCDEFGHIJK	67.5	3.6	1.9	2.6
76	1812 X 1775	8.70 BCDEFGHIJK	69	5.8	2.1	1.8
52	1793 X 1777	8.55 BCDEFGHIJKL	69	7.2	2.2	1.9
49	1791 X 1781	8.53 BCDEFGHIJKL	71	7.7	2.4	2.3
60	1804 X 1779	8.50 BCDEFGHIJKL	67.5	8.0	2.8	2.4
3	1771 X 1810	8.39 BCDEFGHIJKL	69	4.9	1.5	1.5
18	1776 X 1811	8.38 BCDEFGHIJKL	67	6.8	1.8	2.8
25	1780 X 1808	8.36 BCDEFGHIJKL	70	8.8	2.1	3.0
50	1792 X 1782	8.32 BCDEFGHIJKL	69	4.4	2.1	1.9
73	1811 X 1771	8.32 BCDEFGHIJKL	67	5.1	2.5	1.8
72	1810 X 1793	8.26 BCDEFGHIJKL	68	7.7	1.7	2.2
5	1772 X 1788	8.19 BCDEFGHIJKL	70	6.2	2.2	2.4
47	1790 X 1772	8.03 CDEFGHIJKL	68.5	6.5	3.4	2.4

77	1812 X 1776	8.00	CDEFGHIJKL	69.5	2.9	1.5	3.5
55	1795 X 1783	7.96	CDEFGHIJKL	67	5.3	3.2	1.9
40	1786 X 1809	7.95	CDEFGHIJKL	68.5	8.3	1.4	2.4
38	1785 X 1809	7.94	CDEFGHIJKL	68.5	6.2	2.6	1.7
64	1804 X 1789	7.86	CDEFGHIJKL	68	6.5	1.9	3.3
56	1796 X 1783	7.81	CDEFGHIJKL	69	1.5	1.3	2.2
8	1773 X 1804	7.78	CDEFGHIJKL	66	1.73	3.3	3.5
48	1791 X 1777	7.66	CDEFGHIJKL	67.5	6.9	2.7	3.5
31	1782 X 1804	7.65	CDEFGHIJKL	65	1.8	1.1	2.4
63	1804 X 1785	7.56	CDEFGHIJKL	65.5	6.7	1.1	2.0
71	1810 X 1790	7.41	CDEFGHIJKLM	70	6.5	1.6	3.1
75	1811 X 1779	7.36	DEFGHIJKLM	70	4.1	1.3	3.3
39	1786 X 1804	7.35	DEFGHIJKLM	65	8.0	2.9	3.4
13	1775 X 1812	7.35	DEFGHIJKLM	68	4.7	1.5	2.4
34	1783 X 1787	7.34	DEFGHIJKLM	67.5	6.3	2.5	2.1
20	1777 X 1804	7.12	EFGHIJKLM	69	8.8	3.6	4.5
65	1808 X 1770	7.11	EFGHIJKLM	67.5	5.0	3.5	4.1
78	1814 X 1783	7.08	EFGHIJKLM	68.5	3.1	3.2	2.9
23	1779 X 1811	7.08	EFGHIJKLM	67.5	6.3	0.7	3.1
1	1770 X 1804	6.81	EFGHIJKLM	68.5	7.9	2.8	3.8
19	1777 X 1787	6.80	EFGHIJKLM	70	3.2	1.4	3.5
51	1793 X 1776	6.80	EFGHIJKLM	69.5	4.7	2.1	3.1
59	1804 X 1773	6.79	EFGHIJKLM	66.5	6.4	3.5	4.9
66	1808 X 1771	6.66	FGHIJKLM	71	5.6	2.4	2.8
74	1811 X 1775	6.64	FGHIJKLM	66	6.4	1.1	2.8
61	1804 X 1783	6.53	FGHIJKLM	67.5	7.7	3.8	3.0
58	1804 X 1770	6.37	FGHIJKLM	64	8.3	2.8	4.4
26	1780 X 1811	6.31	GHIJKLM	69.5	5.7	2.3	4.6
62	1804 X 1784	6.16	HIJKLM	67	2.8	4.7	4.5
36	1784 X 1804 A	6.02	IJKLM	69	5.2	3.2	3.6
35	1783 X 1789	5.99	JKLM	68.5	4.8	2.7	3.2
12	1775 X 1811	5.50	KLM	66.5	9.2	2.4	4.3
37	1784 X 1804 B	4.55	LM	68	4.4	2.7	3.4
79	H-317*	3.29	M	71	3.9	1.2	3.7
MEDIA		8.44		68.5	5.5	2.0	2.6
TUKEY (DMS)		4.13		5.8	7.2	2.97	3.03

Medias con la misma letra para REND, son estadísticamente iguales, de acuerdo con Tukey ( $p < 0.05$ ).  
 REND= Rendimiento, FF= Floración femenina, ACT= Acame total, COB= Cobertura de mazorca, POD= Mazorcas podridas.\*= Testigos, A= Amarillo, B= Blanco y DMS= Diferencia mínima significativa.

Los híbridos 45, 43, 28 y 6 tienen progenitores en común y alto potencial de rendimiento, así como buenas características agronómicas, por lo que se identificó al progenitor 1789 con buen potencial agronómico en la formación de híbridos, ya que es el progenitor en común, en cruzas directas y recíprocas, de los híbridos sobresalientes.

## 5.2 Ensayo conducido en Morelia, Michoacán PV 2015

En la Tabla 5.2.1 se muestran los resultados del análisis de varianza individual de las variables evaluadas en la localidad de Morelia, Michoacán. Las variables analizadas fueron REND, FM, FF, AP, AM, ACT y POD.

El análisis de varianza de esta localidad para genotipos, muestra diferencias estadísticas significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) para AP, y altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) en las variables de REND, FM, FF y POD, en cuanto AM y ACT no existieron diferencias estadísticas. Los CV para las variables REND, FM, FF, AP y AM se consideran buenos, lo que indica confiabilidad en los resultados, en la conducción del experimento y en la comparación de los tratamientos. Con respecto a las demás variables los valores fueron más altos, posiblemente a que estas variables no tienen una distribución normal.

Tabla 5.2.1 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza individual de la evaluación de híbridos de maíz resistentes a AF para rendimiento y características agronómicas en la localidad de Morelia Michoacán, PV 2015.

Fuentes de variación	G L	CUADRADOS MEDIOS						
		REND	FM	FF	AP	AM	ACT	POD
Repetición	1	24645660	0.02	0.50	304.22	148.30	0.01	1.86
Bloques en repetición	16	745224	2.92	2.01	238.63	248.48	1.81	0.51
Tratamientos	80	3244093**	6.23**	6.72**	387.70*	278.74 <sup>NS</sup>	1.90 <sup>NS</sup>	0.83**
Error intrabloques	64	1352663	2.33	1.26	210.78	174.04	1.44	0.31
CV (%)		16.03717	2.02	1.50	6.53	11.72	141.68	23.68

\*, \*\*, Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente <sup>NS</sup> = Indica no significativo. CV= Coeficiente de variación, GL= Grados de libertad, REND= Rendimiento de grano, FM= Floración masculina, FF= Floración femenina, AP= Altura de planta, AM= Altura de mazorca, ACT= Acame total y POD= Mazorcas podridas.

Para la variable de POD se llevó a cabo una transformación de datos, debido a que es una variable que no tiene distribución normal y suele incrementarse el CV.

En la Tabla 5.2.2 se muestra la comparación de medias de las variables que mostraron significancia estadística. Para REND se obtuvo una media general de 7.25 t ha<sup>-1</sup>, 35 híbridos y dos testigos superaron esta media general, los híbridos (45 y 6) con rendimientos de 10.92 y 10.22 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, superaron al testigo de mayor REND que fue DK2027 con 9.98 t ha<sup>-1</sup>; el híbrido 28 tuvo un REND de 9.84 t ha<sup>-1</sup>, por lo que es de buen potencial al superar al testigo H-377 con REND de 9.82 t ha<sup>-1</sup>.

Para la variable FM se formaron cinco grupos estadísticos, en donde existió un rango de floración de 71 a 81 días, con una media general de 75.5 días, 34 híbridos fueron precoces con respecto y por debajo de la media general, los testigos fueron de ciclo tardío; el testigo DK-2027 fue más precoz con un valor igual a la media general. Los resultados también muestran que 16 híbridos de los de mayor REND en esta localidad, con valores por arriba de las 8.0 t ha<sup>-1</sup> incluidos los testigos DK2027 y H-377, fueron tardíos en un rango de la media general a 81 días.

Para la variable FF hubo mayores diferencias al formarse más grupos estadísticos, existió un mayor rango de floración de 69 a 80.5 días, con una media general de 74.7 días, 37 híbridos fueron precoces con respecto y por debajo de la media general, los testigos fueron de ciclo tardío; 13 híbridos de los de mayor REND en esta localidad, con valores por arriba de las 8.0 t ha<sup>-1</sup> incluidos los testigos DK2027 y H-377, fueron de ciclo tardío en un rango de la media general a 80.5 días.

Para la variable AP hubo diferencias estadísticas al formarse tres grupos, el rango de altura fue de 190 a 260 cm, con una media general de 222.27 cm, 45 híbridos incluido el testigo DK-2027 fueron de mayor AP con respecto a la media general, 13 de estos 45 híbridos tuvieron REND superior a 8 t ha<sup>-1</sup>, incluido el testigo DK-2027.

Para la variable de POD los resultados se expresaron en porcentaje, con valores de 0.73 a 4.21, la media general fue de 2.37 y por debajo de esta 43 híbridos, entre ellos los tres testigos (DK2027, H-377 y H317), que a su vez seis de los 43 híbridos tuvieron menor porcentaje de POD con respecto al mejor testigo para esta variable que fue H-377, y cuatro (45, 32, 28 y 53) de estos fueron de REND superior a 8 t ha<sup>1</sup>. La variable POD se relaciona directamente con REND, ya que la pudrición merma en la producción, como se puede observar en la Tabla 5.2.2, seis (18, 12, 20, 8, 73 y 61) de los híbridos con mayor porcentaje de POD, tienen rendimientos por debajo de las 7 t h<sup>-1</sup>.

Tabla 5.2.2 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables evaluadas que mostraron significancia en la localidad de Morelia Michoacán, PV 2015.

No. Híbrido	Origen B14R	REND (t ha <sup>-1</sup> )	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	POD (%)
45	1789x1781	10.92 <sup>a</sup>	78.00	76.50	227.50	1.48
6	1772x1789	10.22AB	75.50	74.50	240.00	2.03
80	DK-2027*	9.98 ABC	75.50	77.00	232.50	1.96
28	1781x1789	9.84 ABC	80.50	80.00	230.00	0.75
81	H-377*	9.82 ABC	81	80.50	207.50	1.53
43	1789x1772	9.67 ABC	76.00	76.00	245.00	1.74
32	1782x1805	9.31 ABC	76.00	74.50	225.00	0.83
29	1782x1787	8.83 ABC	74.50	73.00	217.50	1.75
42	1788x1777	8.72 ABC	73.50	72.00	232.50	2.35
30	1782x1789	8.61 ABC	76.50	76.50	215.00	2.24
19	1777x1787	8.53 ABC	77.50	74.50	217.50	2.77
44	1789x1776	8.47 ABC	76.00	76.00	225.00	2.86
41	1787x1776	8.46 ABC	76.00	74.50	215.00	2.27
27	1781x1787	8.41 ABC	75.00	75.00	225.00	1.83
26	1780x1811	8.39 ABC	75.00	74.00	212.50	2.82
7	1772x1790	8.36 ABC	75.50	75.50	225.00	2.35
17	1776x1807	8.34 ABC	79.50	77.00	230.00	2.82
54	1795x1782	8.24 ABC	76.00	75.50	220.00	2.08
14	1776x1788	8.08 ABC	76.00	75.50	222.50	2.74
53	1793x1781	8.08 ABC	76.50	76.50	245.00	0.73
62	1804x1784	7.96 ABC	75.00	75.00	222.50	2.09
51	1793x1776	7.94 ABC	75.50	75.50	230.00	2.50
49	1791x1781	7.89 ABC	78.00	76.50	235.00	2.23
3	1771x1810	7.86 ABC	75.50	75.00	230.00	2.52
25	1780x1808	7.84 ABC	76.50	76.50	227.50	1.64
46	1789x1782	7.78 ABC	76.50	76.00	210.00	1.91
23	1779x1811	7.70 ABC	73.00	72.00	225.00	2.61
24	1779x1813	7.70 ABC	75.00	75.00	230.00	1.80
10	1774x1804	7.64 ABC	75.00	74.00	212.50	2.57
37	1784x1804 B	7.53 ABC	75.50	75.00	227.50	2.38
15	1776x1789	7.45 ABC	75.50	75.00	225.00	2.77
68	1809x1784	7.44 ABC	77.00	75.50	242.50	2.26
57	1797x1782	7.39 ABC	76.50	76.50	220.00	1.55
60	1804x1779	7.39 ABC	74.50	74.50	260.00	2.20
70	1809x1786	7.30 ABC	76.50	75.00	225.00	2.48
55	1795x1783	7.30 ABC	76.00	74.00	235.00	1.47
50	1792x1782	7.26 ABC	77.00	75.50	217.50	2.27
40	1786x1809	7.23 ABC	74.50	74.00	232.50	2.24
21	1778x1804	7.19 ABC	73.00	72.50	220.00	2.76
39	1786x1804	7.18 ABC	71.00	69.00	200.00	2.74
48	1791x1777	7.16 ABC	76.00	74.00	242.50	3.24
64	1804x1789	7.05 ABC	74.50	74.50	225.00	2.45
34	1783x1787	7.00 ABC	74.50	73.50	220.00	1.83
13	1775x1812	6.99 ABC	74.00	73.00	220.00	1.92
36	1784x1804 A	6.93 ABC	73.50	73.00	217.50	3.23
72	1810x1793	6.86 ABC	76.00	75.00	247.50	2.10
59	1804x1773	6.86 ABC	76.00	75.00	227.50	2.50

18	1776x1811	6.84	ABC	75.00	74.00	222.50	4.21
16	1776x1790	6.83	ABC	76.00	76.00	220.00	2.23
33	1782x1812	6.83	ABC	76.00	75.50	240.00	1.03
56	1796x1783	6.82	ABC	78.50	76.50	237.50	2.31
8	1773x1804	6.82	ABC	73.00	71.00	222.50	3.41
5	1772x1788	6.69	ABC	78.00	76.50	225.00	2.74
1	1770x1804	6.69	ABC	75.50	75.50	220.00	3.11
76	1812x1775	6.69	ABC	75.00	73.50	212.50	2.46
20	1777x1804	6.68	ABC	72.50	71.50	232.50	3.64
2	1770x1810	6.54	ABC	73.50	73.50	195.00	2.20
4	1771x1811	6.47	ABC	75.00	73.00	210.00	2.34
65	1808x1770	6.44	ABC	75.00	75.00	207.50	2.90
31	1782x1804	6.38	ABC	73.50	73.50	230.00	1.94
67	1809x1778	6.31	ABC	75.00	74.50	212.50	1.92
75	1811x1779	6.29	ABC	75.50	75.50	210.00	2.25
52	1793x1777	6.28	ABC	77.00	75.00	257.50	3.05
79	H-317*	6.26	ABC	77.00	77.00	190.00	1.94
77	1812x1776	6.14	ABC	73.50	73.00	200.00	3.08
22	1778x1808	6.11	ABC	76.00	75.50	202.50	2.35
12	1775x1811	5.96	ABC	72.50	71.00	202.50	3.71
63	1804x1785	5.94	ABC	73.50	73.50	202.50	2.39
58	1804x1770	5.93	ABC	72.00	72.00	205.00	2.90
61	1804x1783	5.89	ABC	76.00	74.50	232.50	3.30
11	1775x1810	5.83	ABC	76.00	75.50	227.50	2.83
47	1790x1772	5.83	ABC	78.00	77.00	225.00	2.05
9	1773x1810	5.80	ABC	75.00	74.50	237.50	2.97
71	1810x1790	5.70	BC	78.00	76.50	231.50	2.83
73	1811x1771	5.69	BC	74.00	72.00	195.00	3.33
35	1783x1789	5.66	BC	73.50	73.50	210.00	1.79
69	1809x1785	5.60	BC	76.00	75.50	205.00	2.12
66	1808x1771	5.32	BC	75.50	75.50	212.50	2.25
74	1811x1775	5.00	C	74.50	72.50	225.00	3.18
38	1785x1809	4.86	C	76.00	75.50	207.50	2.39
78	1814x1783	4.86	C	73.50	72.50	200.00	2.78
MEDIA		7.25		75.50	74.70	222.27	2.37
TUKEY (DMS)		5.17		6.78	4.99	64.56	2.50

Medias con la misma letra para REND, son estadísticamente iguales, de acuerdo con Tukey ( $p < 0.05$ ).  
 REND= Rendimiento, FM= Floración masculina, FF= Floración femenina, AP= Altura de planta, POD= Mazorcas podridas.\*= Testigos, A= Amarillo, B= Blanco y DMS= Diferencia mínima significativa.

Los híbridos 45, 43, 28 y 6 con progenitores en común, nuevamente fueron los de mayor potencial de rendimiento, así como mejores características agronómicas.

En la Tabla 5.2.3 se muestra el resultado del análisis de varianza combinado de las variables evaluadas en Celaya Guanajuato y Morelia Michoacán. En el análisis de varianza combinado a través de localidades se puede observar que en genotipo se



presentaron diferencias altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) en las variables REND, FM, FF, AP, ACT y POD; para AM se observaron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ), lo cual nos indica que al menos un genotipo presenta diferencias respecto al resto.

Respecto a localidad; Se observan diferencias altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) en todas las variables; este resultado nos indica que las localidades tienen diferencias en sus condiciones ambientales que permiten la manifestación de efectos diferentes en todas las variables y que las localidades fueron bien seleccionadas para detectar respuestas diferentes.

En la interacción genotipo por localidad existieron diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) en las variables REND, FF y POD, lo cual nos indica que las condiciones ambientales influyeron con efectos específicos para los genotipos, en las variables mencionadas. El análisis de varianza no detectó ninguna diferencia estadística para FM, AP, AM y ACT, esto debido a que no existieron efectos específicos en los genotipos, a través de ambas localidades para estas variables.

Las diferencias estadísticas altamente significativas en genotipos, localidad y las diferencias de la interacción genotipo por localidad, confirman la variabilidad que existe entre los híbridos evaluados. Los CV en el análisis combinado para las variables; REND, FM, FF, AP y AM se consideran confiables. Los CV de ACT y POD nuevamente resultaron con valores altos debido a que no tienen una distribución normal a pesar del ajuste realizado en estas variables.

Tabla 5.2.3 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza combinado de la evaluación de híbridos de maíz resistentes a AF para rendimiento y características agronómicas en las localidades de Celaya Guanajuato y Morelia Michoacán, PV 2015.

Fuentes de variación	GL	CUADRADOS MEDIOS						
		REND	FM	FF	AP	AM	ACT	POD
Repetición	1	10.30	0.02	0.70	29.40	41.32	28.57	2.75
Genotipo	79	6.94**	6.39**	8.57**	516.12**	453.07*	5.47**	1.81**
Localidad	1	115.52**	4843.82**	3007.37**	5839.65**	7950.07**	1819.32**	7.15**
Genotipo*Repetición	79	1.47	1.86	1.62	295.06	235.31	3.66	0.44
Genotipo*Localidad	79	2.00*	2.08 <sup>NS</sup>	2.02*	283.73 <sup>NS</sup>	254.50 <sup>NS</sup>	4.02 <sup>NS</sup>	0.61*
Error	80	1.24	1.87	1.37	226.68	271.95	3.12	0.38
CV (%)		14.27	1.91	1.64	6.64	14.01	54.53	24.59

\*, \*\*, Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente <sup>NS</sup> = Indica no significativo, CV= Coeficiente de variación, GL= Grados de libertad, REND= Rendimiento de grano, FM= Floración masculina, FF= Floración femenina, AP= Altura de planta, AM= Altura de mazorca, ACT= Acame total y POD= Mazorcas podridas.

En la Tabla 5.2.4 se muestra la comparación de medias del combinado de Celaya Guanajuato y Morelia Michoacán, los híbridos evaluados se ordenaron con base en los rendimientos obtenidos en forma descendente. Los genotipos evaluados tuvieron un REND medio de 7.82 t ha<sup>-1</sup> y el testigo DK-2027 fue el de mayor REND con 12.06 t ha<sup>-1</sup>, en ambas localidades. Se observaron cuatro híbridos (45, 6, 28, 43) de buen potencial en ambas localidades, con rendimientos por arriba de las 10 t ha<sup>-1</sup>.

Tomando en cuenta los análisis individuales de cada localidad, en Celaya existió mayor REND promedio que en Morelia, lo cual se ve claramente al comparar los híbridos en ambas localidades. El testigo DK2027 fue el de mayor REND, en Celaya con 14.15 t h<sup>-1</sup>, cuando en Morelia rindió 9.98 t ha<sup>-1</sup>. En Celaya, los híbridos 45 y 28 con rendimientos de 12.26 y 10.45 t h<sup>-1</sup> respectivamente, fueron de los de mayor REND al igual que en Morelia con rendimientos de 10.92 y 9.84 t h<sup>-1</sup>.

El híbrido 43 se adapta mejor a las condiciones agroclimáticas de Celaya, ya que figura entre los de mayor REND con  $10.49 \text{ t h}^{-1}$ , cuando en Morelia no es de los más rendidores, teniendo un REND de  $9.67 \text{ t h}^{-1}$ . En Morelia se adapta el híbrido 6, con REND de  $10.22 \text{ t h}^{-1}$ , cuando en Celaya se obtuvieron  $10.28 \text{ t h}^{-1}$ , sin embargo no es considerado de los de mayor REND en esta última localidad.

Tabla 5.2.4 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey de las variables evaluadas que mostraron significancia en el análisis combinado de Celaya Guanajuato y Morelia Michoacán, PV 2015.

No. Híbrido	Origen B14R	REND (t ha <sup>-1</sup> )	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	POD (%)
80	DK2027*	12.06 <sup>a</sup>	72.00	73.25	231.25	1.99
45	1789x1781	11.59AB	73.50	73.25	227.50	1.46
6	1772x1789	10.25ABC	72.00	72.00	232.50	1.70
28	1781x1789	10.15ABCD	74.75	75.50	231.25	1.52
43	1789x1772	10.08ABCD	72.25	72.25	242.50	1.64
44	1789x1776	9.99 ABCDE	72.00	72.25	227.50	2.57
30	1782x1789	9.98 ABCDE	71.25	72.50	213.75	1.78
17	1776x1807	9.61 ABCDEF	74.25	74.00	243.75	2.87
32	1782x1805	9.37 ABCDEFG	72.50	72.50	225.00	1.31
42	1788x1777	9.27 ABCDEFGH	70.50	70.00	241.25	2.14
29	1782x1787	9.23 ABCDEFGH	71.25	71.50	227.50	1.93
54	1795x1782	9.14 ABCDEFGHI	71.50	71.25	232.50	1.77
53	1793x1781	9.09 ABCDEFGHI	72.25	72.75	237.50	0.92
41	1787x1776	9.05 ABCDEFGHI	72.25	71.75	230.00	2.54
24	1779x1813	8.97 ABCDEFGHI	71.75	72.00	228.75	1.85
10	1774x1804	8.89 ABCDEFGHI	70.25	70.25	218.75	2.49
27	1781x1787	8.84 ABCDEFGHI	72.00	72.00	238.75	2.25
7	1772x1790	8.78 ABCDEFGHI	72.00	73.25	232.50	2.44
14	1776x1788	8.69 ABCDEFGHI	72.00	72.50	221.25	2.76
57	1797x1782	8.60 ABCDEFGHI	72.50	72.75	225.00	1.76
68	1809x1784	8.59 BCDEFGHI	73.00	72.75	243.75	2.61
46	1789x1782	8.50 BCDEFGHI	72.75	73.00	211.25	1.85
70	1809x1786	8.49 BCDEFGHI	71.50	71.50	225.00	2.50
15	1776x1789	8.45 BCDEFGHI	72.25	72.50	235.00	2.39
33	1782x1812	8.31 BCDEFGHI	71.25	71.75	248.75	1.37
16	1776x1790	8.27 BCDEFGHI	72.50	72.50	227.50	1.88
49	1791x1781	8.21 BCDEFGHIJ	73.50	73.75	236.25	2.27
3	1771x1810	8.12 BCDEFGHIJ	71.50	72.00	240.00	2.02
25	1780x1808	8.10 CDEFGHIJ	72.75	73.25	233.75	2.35
21	1778x1804	8.10 CDEFGHIJ	69.75	70.00	216.25	2.99
67	1809x1778	7.99 CDEFGHIJ	71.25	71.50	228.75	2.22
60	1804x1779	7.94 CDEFGHIJ	71.00	71.00	247.50	2.34
2	1770x1810	7.93 CDEFGHIJ	70.50	71.00	210.00	1.87
50	1792x1782	7.79 CDEFGHIJ	72.75	72.25	223.75	2.11
4	1771x1811	7.75 CDEFGHIJ	70.25	69.75	200.00	2.16
76	1812x1775	7.69 CDEFGHIJ	71.25	71.25	216.25	2.17
19	1777x1787	7.67 CDEFGHIJ	72.75	72.25	232.50	3.16
55	1795x1783	7.63 CDEFGHIJ	71.00	70.50	236.25	1.72
18	1776x1811	7.61 CDEFGHIJ	71.00	70.50	217.50	3.51
40	1786x1809	7.59 CDEFGHIJ	71.25	71.25	231.25	2.34
22	1778x1808	7.58 CDEFGHIJ	72.50	73.00	211.25	2.49
72	1810x1793	7.56 CDEFGHIJ	71.50	71.50	230.00	2.17
64	1804x1789	7.45 CDEFGHIJ	71.50	71.25	228.75	2.90
5	1772x1788	7.44 CDEFGHIJ	73.00	73.25	232.50	2.59
52	1793x1777	7.41 CDEFGHIJ	72.25	72.00	233.75	2.50
48	1791x1777	7.41 CDEFGHIJ	71.00	70.75	241.25	3.37
23	1779x1811	7.39 CDEFGHIJ	69.25	69.75	226.25	2.88

51	1793x1776	7.37	CDEFGHIJ	71.75	72.50	233.75	2.83
11	1775x1810	7.37	CDEFGHIJ	72.50	72.75	223.75	2.75
26	1780x1811	7.35	CDEFGHIJ	71.50	71.75	220.00	3.74
9	1773x1810	7.33	CDEFGHIJ	71.25	71.00	240.00	3.74
56	1796x1783	7.31	CDEFGHIJ	73.75	72.75	236.25	2.26
8	1773x1804	7.30	CDEFGHIJ	69.75	68.50	222.50	3.49
39	1786x1804	7.26	CDEFGHIJ	68.00	67.00	207.50	3.09
69	1809x1785	7.20	CDEFGHIJ	71.75	71.50	201.25	2.37
13	1775x1812	7.17	CDEFGHIJ	70.50	70.50	230.00	2.21
34	1783x1787	7.17	CDEFGHIJ	70.50	70.50	242.50	1.98
77	1812x1776	7.07	CDEFGHIJ	70.75	71.25	215.00	3.31
62	1804x1784	7.06	CDEFGHIJ	71.75	71.00	226.25	3.29
31	1782x1804	7.02	CDEFGHIJ	69.50	69.25	228.75	2.21
73	1811x1771	7.01	CDEFGHIJ	69.75	69.50	206.25	2.58
47	1790x1772	6.93	CDEFGHIJ	73.50	72.75	228.75	2.25
20	1777x1804	6.90	CDEFGHIJ	70.50	70.25	240.00	4.12
75	1811x1779	6.83	CDEFGHIJ	71.50	72.75	225.00	2.78
59	1804x1773	6.82	CDEFGHIJ	72.50	70.75	235.00	3.75
65	1808x1770	6.78	DEFGHIJ	71.25	71.25	220.00	3.50
1	1770x1804	6.75	DEFGHIJ	71.75	72.00	223.75	3.49
63	1804x1785	6.75	DEFGHIJ	69.75	69.50	200.00	2.24
71	1810x1790	6.56	EFGHIJ	73.00	73.25	247.00	2.98
36	1784x1804 A	6.47	FGHIJ	71.00	71.00	235.00	3.46
38	1785x1809	6.40	FGHIJ	72.00	72.00	212.50	2.08
61	1804x1783	6.21	FGHIJ	71.25	71.00	222.50	3.17
58	1804x1770	6.15	FGHIJ	68.50	68.00	213.75	3.65
37	1784x1804 B	6.04	GHIJ	71.50	71.50	225.00	2.91
66	1808x1771	5.99	GHIJ	72.25	73.25	217.50	2.57
78	1814x1783	5.97	GHIJ	71.00	70.50	218.75	2.85
35	1783x1789	5.83	HIJ	70.50	71.00	223.75	2.49
74	1811x1775	5.82	HIJ	69.50	69.25	221.25	3.00
12	1775x1811	5.73	IJ	69.00	68.75	217.50	4.03
79	H 317*	4.78	J	73.00	74.00	203.75	2.83
MEDIA		7.82		71.54	71.57	226.72	2.53
TUKEY (DMS)		3.46		4.25	3.64	46.78	1.93

Medias con la misma letra para REND, son estadísticamente iguales, de acuerdo con Tukey ( $p < 0.05$ ).

REND= Rendimiento, FM= Floración masculina, FF= Floración femenina, AP= Altura de planta, POD= Mazorcas podridas. \*= Testigos, A= Amarillo, B= Blanco y DMS= Diferencia mínima significativa.

Para la variable FM, la media de las dos localidades fue de 71.54 días, donde el rango fue de 68 a 74.75 días; para esta variable no existieron diferencias en la interacción genotipo ambiente. Sin embargo en los análisis individuales de cada localidad la media general de FM es más precoz en Celaya con 67.67 días la media general, no existieron diferencias significativas entre genotipos para esta localidad, cuando en Morelia la media general fue de 75.5 días con diferencias altamente significativas ( $\alpha \leq 0.01$ ) entre genotipos para esta localidad.

En FF la media fue de 72 días a floración, en un rango de 67 a 75 días, al observar la Tabla 5.2.4, se puede identificar los híbridos 17, 30, 44, 43, 28 y 45, además del testigo DK2027, que son de ciclo tardío al tener su FF en un rango de la media general a 75 días, estos híbridos tienen rendimientos por arriba de las  $9 \text{ t h}^{-1}$ ; En los análisis por localidad, se identificaron estos híbridos mencionados para esta variable, con la misma tendencia de ser de ciclo tardío y tener buenos rendimientos, en Celaya se encuentran entre los 10 híbridos de mayor REND y en Morelia de igual forma, aunque con menor REND, este por arriba de  $8 \text{ t h}^{-1}$ . Esta variable fue altamente significativa ( $\alpha \leq 0.01$ ) en los análisis por localidad y por genotipo; en la comparación de medias de ambas localidades, se observa que la localidad de Celaya, proporciona los factores agroclimáticos para adelantar la FF, mismos genotipos que en Morelia son de ciclo tardío. La media general en Celaya fue de 68 días de FF y en Morelia fue de 75 días para esta variable.

La variable AP en el análisis combinado tuvo una media general de 227 cm, en un rango de 200 a 249 cm, los híbridos 41, 53, 54, 29, 42, 17, 44, 43, 28, 6 y 45 superan la media general de AP y tienen buenos rendimientos por arriba de  $9 \text{ t h}^{-1}$ . En los análisis por localidad, se obtuvo que para Celaya no existieron diferencias significativas en esta variable, a diferencia de la localidad de Morelia donde hubo diferencias significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) para esta variable, donde sobresalen los híbridos 53, 42, 17, 44, 43, 28, 6 y 45, ya que superaron la media general de la localidad y tuvieron rendimientos por arriba de  $8 \text{ t h}^{-1}$ , resultados similares al análisis combinado.

Para la variable POD en el análisis combinado se obtuvo una media de 2.53 %, en un rango de 0.92 a 4.12%, esta variable se relaciona directamente con REND, ya que a menor porcentaje de POD, mayor es el REND, como lo muestra la Tabla 5.2.4 con los híbridos 53, 54, 29, 42, 32, 30, 43, 28, 6, 45 y el testigo DK2027, al tener porcentajes inferiores a la media general de POD y tener rendimientos superiores a  $9 \text{ t h}^{-1}$ , los híbridos 45 y 53 en ambas localidades tienen bajos porcentajes de POD y son de los de mayor REND, además de los híbridos 32 y 28 con la misma tendencia

por arriba de las  $8 \text{ t h}^{-1}$  en ambas localidades. En los análisis por localidad se observó que hubo ligeramente mayor incidencia de POD en Celaya, al tener una media general de 2.6 % en un rango de 1.1 a 4.9 % para esta variable, cuando en Morelia la media general fue de 2.37 % en un rango de 0.73 a 4.21 % de POD.

En la variable ACT, en el análisis combinado, no existieron diferencias significativas, sin embargo en los análisis por localidad existieron diferencias ( $\alpha \leq 0.05$ ) para Celaya solamente; estas variaciones, posiblemente se presentaron a causa de los fuertes vientos que existieron en la estación de crecimiento de los híbridos evaluados en Celaya, condiciones climáticas que no se presentaron para la localidad de Morelia.

### **5.3 Inoculación con el hongo *Aspergillus flavus***

Los resultados de la Inoculación y Cuantificación de AF de los híbridos de maíz sembrados en las tres localidades se muestran en la Tabla 5.3.1. El grado de contaminación visual se muestra en escala de 1-5; 1 para las muestras con menos cantidad de micelio y 5 la muestra más contaminada, esto determinado visualmente. Es importante mencionar que las muestras de los genotipos Sultán, DK-2027 y H-317 que fueron utilizados como testigos, fueron inoculadas con tratamiento químico la semilla.

Tabla 5.3.1 Resultados de la inoculación y cuantificación de aflatoxinas de los híbridos sembrados en las tres localidades.

Muestra	AF	Cv	Muestra	AF	Cv
Sultan*	24.5	1	1772 x 1788	150	1
1809 x 1785	150	1	1793 x 1776	136	1
1804 x 1773	148	1	1776 x 1789	150	1
1779 x 1813	150	1	1804 x 1779	150	3
1770 x 1810	150	1	1780 x 1811	150	1
1812 x 1776	150	1	1809 x 1778	35.5	1
1783 x 1787	150	3	1789 x 1776	150	2
1808 x 1770	150	2	1776 x 1788	150	2
H-377*	150	1	1776 x 1811	131.5	2
1791 x 1781	62.5	1	1778 x 1808	150	1
1791 x 1777	150	1	1782 x 1812	150	3
1786 x 1804	149.5	1	1804 x 1770	150	1
1789 x 1782	30.5	1	1812 x 1775	150	2
1775 x 1811	150	1	1788 x 1777	150	4
1810 x 1793	103	1	1774 x 1804	150	2
1796 x 1783	150	1	1784 x 1804 B	150	1
1787 x 1776	150	1	1772 x 1790	150	1
1795 x 1782	150	1	1782 x 1805	150	3
1782 x 1804	150	1	1809 x 1784	25.5	1
1777 x 1804	150	3	1771 x 1811	150	1
1793 x 1777	150	1	1792 x 1782	150	1
1773 x 1810	150	2	1804 x 1784	150	1
1782 x 1789	150	3	DK-2027*	33	1
H-317*	150	1	1804 x 1785	150	1
1793 x 1781	143.5	1	1770 x 1804	150	1
1789 x 1781	134.5	1	1776 x 1790	150	3
1810 x 1790	126.5	1	1778 x 1804	150	1
1811 x 1779	142.5	1	1772 x 1789	150	1
1781 x 1787	150	1	1814 x 1783	150	1
1781 x 1789	150	2	1804 x 1789	150	2
1782 x 1787	150	3	1773 x 1804	150	2
1775 x 1810	150	2	1790 x 1772	150	1
1784 x 1804 A	150	1	1771 x 1810	150	1
1811 x 1771	150	1	1797 x 1782	150	2
1775 x 1812	150	3	1811 x 1775	150	1
1795 x 1783	150	1	1808 x 1771	150	2
1789 x 1772	100	1	1776 x 1807	150	1
1783 x 1789	150	5	1804 x 1783	150	2
1785 x 1809	150	1	1779 x 1811	150	1
1809 x 1786	150	1	1786 x 1809	150	3
1780 x 1808	150	1			

AF= Cantidad de aflatoxinas en partes por billón.

Cv= Contaminación visual de micelio en escala de 1-5. A= amarillo.

B= Blanco. \*= Testigos.



La Tabla 5.3.2 muestra los híbridos con menor cantidad de AF, ya que la mayoría resultó con más de 150 partes por billón de acuerdo método de cuantificación utilizado (Afla-V).

Tabla 5.3.2 Híbridos con menor cantidad de AF inoculados artificialmente.

Muestra	AF	Cv
1786 x 1804	149.5 A	1
1804 x 1773	148 A	1
1793 X 1781	143.5 AB	1
1811 X 1779	142.5 AB	1
1793 X 1776	136 ABC	1
1789 X 1781	134.5 ABC	1
1776 X 1811	131.5 ABC	2
1810 X 1790	126.5 ABC	1
1810 x 1793	103 BCD	1
1789 X 1772	100 CD	1
1791 x 1781	62.5 DE	1
1809 X 1778	35.5 E	1
DK-2027*	33 E	1
1789 x 1782	30.5 E	1
1809 X 1784	25.5 E	1
Sultan*	24.5 E	1

AF= Cantidad de aflatoxinas en partes por billón.

Cv= Contaminación visual de micelio en escala de 1-5.

\*=Testigos. Medias con la misma letra indica que son estadísticamente iguales al ( $\alpha \leq 0.05$ ) de probabilidad.

Es importante señalar que cuando la inoculación del hongo es inducida, los valores de AF siempre son más altos por arriba de lo normal. La anterior muestra que los progenitores 1789, 1810 y 1809 utilizados como hembras, provocaron aparentemente cierta resistencia a la contaminación con AF en las muestras inoculadas artificialmente.

#### 5.4 Ensayo conducido en Río Bravo Tamaulipas, 2015

Este ensayo fue sembrado fuera de la fecha ideal para la región, con la finalidad de que las condiciones agroclimáticas fueran favorables para el desarrollo del hongo *A. flavus*, y como consecuencia una producción de AF en el grano cosechado. En la Tabla 5.4.1 se muestra la cantidad de AF en partes por billón del grano cosechado proveniente de este ensayo, así como la cantidad de AF en muestras de grano sembradas en las tres localidades inoculadas artificialmente; los resultados de 150 ppb de AF en muestras inoculadas artificialmente, se consideran altos debido al método (Afla-V) de detección de AF utilizado, por lo que solo los híbridos con menos de esta cantidad de AF se consideran resistentes para este proyecto, en la inoculación artificial. También se presentan los resultados de REND de los híbridos en cuestión, los rendimientos son muy bajos debido a la fecha en que se sembraron.

Los resultados previos de las otras 2 localidades, muestran que los materiales de mayor rendimiento y calidad agronómica, fueron los híbridos 45, 43, 28 y 6, que resultaron con 2, 5.67, 9.67 y 16 ppb de AF respectivamente en el grano cosechado del ensayo conducido en esta localidad; en la inoculación artificial de las muestras sembradas en las tres localidades, los híbridos 45 y 43 no tuvieron la cantidad máxima de AF determinada por el método de detección utilizado, sin embargo los híbridos 28 y 6, resultaron con la cantidad máxima de 150 ppb de AF.

Tabla 5.4.1 Resultados del ensayo conducido en la localidad de Río Bravo Tamaulipas, 2015.

No. De Hibrido	Origen B14R	Cantidad de AF	AF en muestras inoculadas artificialmente	No. De Hibrido	REND (t ha <sup>-1</sup> )
17	1776x1807	0.67	150	49	1.04
37	1784x1804 B	1.67	150	25	0.91
45	1789x1781	2	134.5	80	0.87
32	1782x1805	2.33	150	57	0.84
60	1804x1779	2.67	150	50	0.82
53	1793x1781	3.33	143.5	21	0.80
7	1772x1790	3.67	150	60	0.79
79	H-317	3.67	150	1	0.77
69	1809x1785	4	150	28	0.76
9	1773x1810	4	150	73	0.76
31	1782x1804	4	150	26	0.75
51	1793x1776	4	136	67	0.74
4	1771x1811	4	150	62	0.74
68	1809x1784	4	25.5	27	0.73
27	1781x1787	4.67	150	24	0.73
64	1804x1789	4.67	150	54	0.73
46	1789x1782	4.67	150	38	0.72
63	1804x1785	5	150	3	0.71
14	1776x1788	5	150	66	0.71
38	1785x1809	5	150	53	0.71
30	1782x1789	5	150	45	0.70
70	1809x1786	5	150	71	0.70
3	1771x1810	5.33	150	75	0.70
67	1809x1778	5.33	35.5	20	0.69
5	1772x1788	5.33	150	32	0.69
43	1789x1772	5.67	100	11	0.69
22	1778x1808	5.67	150	39	0.69
34	1783x1787	5.67	150	48	0.69
13	1775x1812	6	150	41	0.69
16	1776x1790	6	150	42	0.69
65	1808x1770	6.33	150	68	0.68
61	1804x1783	6.67	150	58	0.68
26	1780x1811	6.67	150	19	0.68
77	1812x1776	7	150	2	0.67
50	1792x1782	7	150	10	0.67
20	1777x1804	7	150	56	0.67
40	1786x1809	7.33	150	69	0.66
42	1788x1777	7.67	150	59	0.65
44	1789x1776	7.67	150	40	0.65
78	1814x1783	8.33	150	16	0.65
39	1786x1804	8.67	149.5	63	0.65
58	1804x1770	9	150	9	0.64
28	1781x1789	9.67	150	8	0.63
80	Testigo local 1	10	N/I	33	0.62
1	1770x1804	11	150	61	0.62

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

56	1796x1783	12.67	150	47	0.61
75	1811x1779	14.33	142.5	76	0.60
15	1776x1789	14.67	150	34	0.60
81	Testigo local 2	15.33	N/I	35	0.60
66	1808x1771	15.67	150	72	0.60
6	1772x1789	16	150	65	0.59
41	1787x1776	16.67	150	14	0.59
71	1810x1790	17.33	126.5	81	0.59
62	1804x1784	18.33	150	4	0.59
19	1777x1787	22.33	150	70	0.59
29	1782x1787	25.33	150	77	0.59
21	1778x1804	29.33	150	37	0.59
57	1797x1782	30	150	74	0.59
12	1775x1811	31.67	150	15	0.58
52	1793x1777	32	150	12	0.58
8	1773x1804	32.67	150	7	0.58
74	1811x1775	33	150	17	0.58
59	1804x1773	34.33	148	30	0.57
55	1795x1783	35.33	150	55	0.57
72	1810x1793	37.33	103	78	0.57
47	1790x1772	40.33	150	29	0.57
10	1774x1804	40.67	150	51	0.56
54	1795x1782	43.67	150	46	0.56
35	1783x1789	44.33	150	5	0.55
11	1775x1810	45	150	36	0.55
24	1779x1813	46.67	150	6	0.55
49	1791x1781	47	62.5	18	0.54
2	1770x1810	50.33	150	23	0.54
76	1812x1775	51.67	150	43	0.53
18	1776x1811	53.33	131.5	22	0.53
73	1811x1771	53.33	150	52	0.52
36	1784x1804 A	55	150	44	0.52
23	1779x1811	59.67	150	13	0.50
33	1782x1812	65.33	150	79	0.47
48	1791x1777	69	150	31	0.45
25	1780x1808	100.67	150	64	0.43

AF= aflatoxinas en partes por billón, REND= rendimiento de grano y  
N/I= no se llevó a cabo inoculación artificial.

La Tabla 5.4.2 muestra los híbridos de mayor REND y con resistencia a la contaminación con AF para la localidad de Río Bravo Tamaulipas. Los híbridos sobresalientes para esta localidad, resultaron muy distintos a los híbridos de mejores características evaluadas en las otras localidades.

Tabla 5.4.2 Híbridos de mayor rendimiento y resistentes a la contaminación con aflatoxinas en Río Bravo, Tamaulipas.

No. de híbrido	Origen B14R	REND (t ha <sup>-1</sup> )	AF (ppb)	AF en muestras inoculadas artificialmente.
50	1792x1782	0.82	7	150
60	1804x1779	0.79	2.67	150
1	1770x1804	0.77	11	150
<b>28</b>	<b>1781x1789</b>	<b>0.76</b>	9.67	150
26	1780x1811	0.75	6.67	150
67	1809x1778	0.74	5.33	35.5
62	1804x1784	0.74	18.33	150
27	1781x1787	0.73	4.67	150
38	1785x1809	0.72	5	150
3	1771x1810	0.71	5.33	150

REND= rendimiento de grano y AF= cantidad de aflatoxinas en partes por billón.

La Tabla 5.4.3 muestra el germoplasma que conforma los híbridos con las mejores características evaluadas para la localidad de Río Bravo Tamaulipas. El germoplasma de los híbridos sobresalientes para esta localidad, en su mayoría proviene de poblaciones resistentes a la contaminación con AF generadas por el INIFAP, así como líneas elite subtropicales, solo los híbridos 50, 60 y 1 se derivan de germoplasma de líneas elite tropicales.

Tabla 5.4.3 Germoplasma que conforma los híbridos de mejores características agronómicas evaluados en Río Bravo, Tamaulipas.

No. de Híbrido	GENEALOGÍA		CRUZA
50	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)x(LT 155)	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1792x1782
60	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 15)	1804x1779
1	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	1770x1804
28	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	1781x1789

La Tabla 5.4.4 muestra los híbridos de mayor REND y con resistencia a la contaminación con AF para Celaya Guanajuato y Morelia Michoacán, así como en el análisis combinado.

Tabla 5.4.4 Híbridos de mayor rendimiento y resistentes a la contaminación con aflatoxinas en Celaya Guanajuato, Morelia Michoacán y en el Análisis combinado.

Celaya Guanajuato				
No. de híbrido	Origen B14R	REND (t ha <sup>-1</sup> )	AF (ppb)	AF en muestras inoculadas artificialmente.
<b>45</b>	<b>1789x1781</b>	<b>12.26</b>	<b>2.00</b>	134.5
44	1789x1776	11.52	7.67	150
30	1782x1789	11.34	5.0	150
17	1776x1807	10.89	0.67	150
<b>43</b>	<b>1789x1772</b>	<b>10.49</b>	<b>5.67</b>	100
<b>28</b>	<b>1781x1789</b>	<b>10.45</b>	<b>9.67</b>	150
<b>6</b>	<b>1772x1789</b>	<b>10.28</b>	<b>16.00</b>	150
53	1793x1781	10.10	3.33	143.5
Morelia Michoacán				
<b>45</b>	<b>1789x1781</b>	<b>10.92</b>	<b>2.00</b>	134.5
<b>6</b>	<b>1772x1789</b>	<b>10.22</b>	<b>16.00</b>	150
<b>28</b>	<b>1781x1789</b>	<b>9.84</b>	<b>9.67</b>	150
<b>43</b>	<b>1789x1772</b>	<b>9.67</b>	<b>5.67</b>	100
32	1782x1805	9.31	2.33	150
Análisis Combinado				
<b>45</b>	<b>1789x1781</b>	<b>11.59</b>	<b>2.0</b>	134.5
<b>6</b>	<b>1772x1789</b>	<b>10.25</b>	<b>16.00</b>	150
<b>28</b>	<b>1781x1789</b>	<b>10.15</b>	<b>9.67</b>	150
<b>43</b>	<b>1789x1772</b>	<b>10.08</b>	<b>5.67</b>	100
44	1789x1776	9.99	7.67	150
30	1782x1789	9.98	5.0	150
17	1776x1807	9.61	0.67	150
32	1782x1805	9.37	2.33	150
42	1788x1777	9,27	7.67	150
53	1793x1781	9.09	3.33	143.5
41	1787x1776	9.05	16.67	150

REND= rendimiento de grano y AF= cantidad de aflatoxinas en partes por billón.

La Tabla 5.4.5 muestra el germoplasma que conforma los híbridos con las mejores características evaluadas para la localidad de Celaya Guanajuato. El germoplasma de los híbridos sobresalientes para esta localidad, en su mayoría proviene de poblaciones resistentes a la contaminación con AF generadas por el INIFAP, así como líneas elite subtropicales, solo los híbridos 44 y 17 contienen germoplasma de líneas elite tropicales.

Tabla 5.4.5 Germoplasma que conforma los híbridos de mejores características agronómicas evaluados en Celaya, Guanajuato.

No. de Híbrido	GENEALOGÍA	CRUZA	
45	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	1789x1781
44	INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1789x1776
30	P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	1782x1789
17	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	INIFAP- UNIGRAS 10 x LT 154	1776x1807

La Tabla 5.4.6 muestra el germoplasma del cual se derivan los híbridos con las mejores características evaluadas para la localidad de Morelia Michoacán, así como en el análisis combinado (las dos localidades); estos híbridos fueron 45 (1789x1781), 43 (1789x1772), 28 (1781x1789) y 6 (1772x1789), los cuales resultaron con 2, 5.67, 9.67 y 16 ppb de AF respectivamente en el grano cosechado del ensayo conducido en Río Bravo, en la inoculación artificial de las muestras sembradas en las tres localidades, los híbridos 45 (1789x1781) y 43 (1789x1772) no tuvieron la cantidad máxima de AF determinada por el método de detección utilizado, sin embargo los



híbridos 28 (1781x1789) y 6 (1772x1789), resultaron con la cantidad máxima de 150 ppb de AF.

Tabla 5.4.6 Germoplasma que conforma los híbridos de mejores características agronómicas evaluados en Morelia, Michoacán y en el análisis combinado.

No. de Híbrido	GENEALOGÍA	CRUZA	
45	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	1789x1781
43	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15 x INIFAP-UNIGRAS 31)	1789x1772
28	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	1781x1789
6	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15 x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	1772x1789

El germoplasma de los híbridos sobresalientes para estas dos localidades, en su mayoría proviene de poblaciones resistentes a la contaminación con AF generadas por el INIFAP, así como líneas elite subtropicales, solo los híbridos 43 y 6 se derivan en menor proporción de líneas elite tropicales.

El progenitor 1789 induce resistencia a la contaminación con AF en la formación de híbridos, ya sea utilizado como progenitor femenino o masculino; por lo que los híbridos 45 (1789x1781), 64 (1804x1789), 46 (1789x1782), 30 (1782x1789), 43 (1789x1772), 44 (1789x1776), 28 (1781x1789), 15 (1776x1789) y 6 (1772x1789) con progenitor en común, muestran valores de 2, 4.67, 4.67, 5, 5.67, 7.67, 9.67, 14.67 y 16 ppb de AF respectivamente en el grano cosechado del ensayo conducido en Río Bravo; en la inoculación artificial solo el híbrido 45 (1789x1781), no tuvo la cantidad

máxima de AF determinada por el método de detección utilizado. El germoplasma que conforma al progenitor 1789 se deriva de poblaciones resistentes a la contaminación con AF generadas por el INIFAP y una línea subtropical generada por el CIMMYT.

El progenitor 1809 induce resistencia a la contaminación con AF en la formación de híbridos, cuando se utiliza como progenitor femenino, como se puede observar en los híbridos 69 (1809x1785), 68 (1809x1784), 70 (1809x1786) y 67 (1809x1778) con valores de 4, 4, 5 y 5.33 ppb de AF respectivamente en el grano cosechado del ensayo conducido en Río Bravo; en la inoculación artificial solo el híbrido 67 (1809x1778) no tuvo la cantidad máxima de AF. El germoplasma que conforma a este progenitor se deriva de una población de ciclo intermedio resistente a la contaminación con AF (INIFAP-UNIGRAS 15) proveniente del banco de Germoplasma del INIFAP y de una Línea elite tropical (155) generada por esta misma dependencia.

También existieron cruzas directas y recíprocas, que resultaron con resistencia a la contaminación con AF, como lo son los híbridos 45 (1789x1781) y 28 (1781x1789), 69 (1809x1785) y 38 (1785x1809), 46 (1789x1782) y 30 (1782x1789), 70 (1809x1786) y 40 (1786x1809), 43 (1789x1772) y 6 (1772x1789), 44 (1789x1776) y 15 (1776x1789), 58 (1804x1770) y 1 (1770x1804), con valores de 2 y 9.67, 4 y 5, 4.67 y 5, 5 y 7.33, 5.67 y 16, 7.67 y 14.67, 9 y 11 ppb de AF respectivamente en el grano cosechado del ensayo conducido en Río Bravo.

Las condiciones agroclimáticas de Río Bravo Tamaulipas y Celaya Guanajuato, determinaron híbridos específicos sobresalientes para las características evaluadas, situación que en la localidad de Morelia Michoacán no sucedió, ya que los híbridos sobresalientes de esta localidad se adaptan de mejor manera en Celaya Guanajuato.

Las líneas elite subtropicales, germoplasma del cual derivan varios híbridos evaluados, tuvieron mayor incidencia en la mejora de las características agronómicas, así como mejor interacción con las poblaciones resistentes a la contaminación con AF, para que se mantuviera dicha resistencia, ya que este germoplasma conforma en su mayoría, a los híbridos sobresalientes para las tres localidades.

## VI. CONCLUSIONES

- Se identificaron híbridos con buena calidad agronómica y resistentes a la contaminación con aflatoxinas con valores menores a 20 ppb, los cuales son :
  - Para la localidad de Celaya los híbridos 45 (1789x1781), 44 (1789x1776), 30 (1782x1789), 17 (1776x1807), 43 (1789x1772), 28 (1781x1789), 6 (1772x1789) y 53 (1793x1781).
  - Para la localidad de Morelia los híbridos 45 (1789x1781), 6 (1772x1789), 28 (1781x1789), 43 (1789x1772), y 32 (1782x1805).
  - Para ambas localidades los híbridos 45 (1789x1781), 6 (1772x1789), 28 (1781x1789), 43 (1789x1772), 44 (1789x1776), 30 (1782x1789), 17 (1776x1807), 32 (1782x1805), 42 (1788x1777), 53 (1793x1781) y 41 (1787x1776).
  - Para la localidad de Río Bravo Tamaulipas los híbridos 50 (1792x1782), 60 (1804x1779), 1 (1770x1804), 28 (1781x1789), 26 (1780x1811), 67 (1809x1778), 62 (1804x1784), 27 (1781x1787), 38 (1785x1809) y 3 (1771x1810).
- Los progenitores de los híbridos 45, 28, 43 y 6 pueden aprovecharse tanto en cruzas directas como recíprocas, teniendo buena calidad agronómica y resistentes a la contaminación con aflatoxinas.
- Se Identificó al híbrido 54 (1795x1782) con potencial agronómico, ya que tuvo buen rendimiento, resistencia al acame, buena cobertura y bajo porcentaje de mazorcas podridas, para la localidad de Celaya.
- Los híbridos evaluados se adaptan mejor para la localidad de Celaya, además de presentar mayor precocidad en esta región en comparación con la localidad de Morelia.

- El progenitor 1809 puede utilizarse para posteriores estudios, ya que induce resistencia a la contaminación con aflatoxinas en la formación de híbridos, esto cuando se utiliza como progenitor femenino, como es el caso los híbridos 69 (1809x1785), 68 (1809x1784), 70 (1809x1786) y 67 (1809x1778).
- Del total de híbridos evaluados, el 66.66% tiene resistencia a la contaminación con AF.

**VII. LITERATURA CITADA**

Abarca, M. L. 2000. Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de micología* 17: 79-84.

AESAN. 2012. Aflatoxinas en los alimentos. Agencia española de seguridad alimentaria y nutrición. Madrid, España.

Agrios, G. N. 2005. *Fitopatología*. 2da edición limusa, 952 p. México.

Agrios, G. N. 1988. *Plant pathology*. Academic press, Inc. San Diego, California.

Ahumada C. R., Velázquez A. G., Flores T. E. y Romero G. J. 2014. Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Universidad Autónoma de Aguascalientes. Investigación y Ciencia* 22: 48-53.

Alezones J., Asdrúbal A. M. y González A. 2014. Evaluación de germoplasma tropical de maíz para resistencia a *Aspergillus flavus* y a la producción de aflatoxinas en grano. *Universidad Central de Venezuela. Interciencia* 39 (11): 803-808.

AOAC. 1995. *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*. The Association: Arlington, 395 p.

Arellano V. J., Virgen V. J., Rojas M. I. y Avila P. M. 2011. H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del altiplano central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2 (4): 619-626.

Arias, C. 1993. *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago, Chile.

Arrúa, A. A. 2009. Tesis de Maestría. Caracterización morfológica y toxigénica de cepas de *Aspergillus flavus* Link Fr. y de *Aspergillus parasiticus* Speare, aisladas de grano de maíz proveniente de 14 estados de la República Mexicana. *Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. p. 119

Arrúa A. A., Moreno M. E., Quezada V. M., Moreno L. J., Vázquez B. M. y Flores O. A. 2012. *Aspergillus* aflatoxigénicos: enfoque taxonómico actual. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (5): 1047-1052.

Barrios M., García J. y Basso C. 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrato y amonio en el suelo y la planta de maíz. *Bioagro* 24 (3): 213-220.

Blanco V. Y., Leyva G. Á. y Castro L.I. 2014. Determinación del período crítico de competencia de arvenses en el cultivo del maíz (*Zea mays L.*). Cultivos Tropicales 35 (3): 62-69.

Bogantes L. P., Bogantes L. D. y Bogantes L. S. 2004. Aflatoxinas. Acta Médica Costarricense 46 (4): 174-178.

Briones, R. D. 2007. Tesis de Maestría. Resistencia a pudrición de mazorca en poblaciones de maíz bajo mejoramiento participativo en el altiplano de México. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. p. 66

Carvajal, M. 2013. Transformación de la aflatoxina B1 de alimentos, en el cancerígeno humano, aducto AFB1-ADN. Universidad Nacional Autónoma de México. TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas 16 (2): 109-120.

Castillo N. J. y Chávez M. C. 2013. Caracterización campesina del manejo y uso de la diversidad de maíces en San Felipe del Progreso. Universidad Autónoma del Estado de México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 10 (1): 23-38.

Castro N. S., Lopez S. J. A., Pecina M. J. A., Mendoza C. M. y Reyes M. C. A. 2013. Exploración de germoplasma nativo de maíz en el centro y sur de Tamaulipas, México. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas 4 (4): 645-653.

Cervantes S. T., Oropeza R. M. A. y Reyes L. D. 2002. Selección para rendimiento y heterosis de líneas endogámicas de maíz irradiado. Colegio de Postgraduados. Agrociencia 36 (4): 421-431.

CESAVEG. 2015. Manual de plagas y enfermedades en Maíz. Campaña de Manejo Fitosanitario de Maíz. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato, A.C. Guanajuato.

Chassaigne R. A., Barrientos A. V. y Hernández J. A. 2012. Obtención de una población de maíz para tolerancia a factores adversos en tres Estados de Venezuela. Bioagro 24 (3): 221-226.

CIMMYT. 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. Programa de Maíz del CIMMYT. p. 118.

Cobielles, C. G. 2007. Tesis de Maestría. Identificación de genes relacionados a vigor, longevidad y contaminación con aflatoxinas en semillas de maíz. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcallí, Edo. de México. p. 61

CONABIO. 2012. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/maices/razas2012.html>

Damián H. M., Cruz L. A., Ramirez V. B., Romero A. O., Moreno L. S. y Reyes M. L. 2013. Maíz, Alimentación y Productividad: Modelo tecnológico para productores de temporal de México. Universidad Autónoma de Puebla. Agricultura, Sociedad y Desarrollo 10 (2): 157-176.

Diario Oficial de la Unión Europea. 2003. REGLAMENTO (CE) No 2174/2003 de la comisión de 12 de diciembre de 2003 que modifica el Reglamento (CE) no 466/2001 por lo que respecta las aflatoxinas. L 326/12

Diario Oficial de la Unión Europea. 2010 REGLAMENTO (EU) no. 165/2010 de la comisión de 26 de febrero de 2010 que modifica el Reglamento (CE) no. 1881/2006 por lo que respecta a las aflatoxinas.  
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:050:0008:0012:ES:PDF>

El Economista. 2014. Romper récord importaciones mexicanas de maíz .  
<http://eleconomista.com.mx/industrias/2014/01/07/rompen-record-importaciones-mexicanas-maiz>

Espinosa C. A., Tadeo R. M., Arteaga E. I., Turrent F. A., Sierra M. M. y Gómez M. N. 2012. Rendimiento de las generaciones F1 y F2 de Híbridos trilineales de maíz en los valles altos de México. Universidad y Ciencia. 28 (1): 57-64.

FAO. 2003. Manual sobre la aplicación del sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control (APPCC) en la prevención y control de las micotoxinas. Estudio FAO alimentación y nutrición. Roma, Italia.

FND. 2014. Panorama del maíz. Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero.  
<http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Ma%C3%ADz.pdf>

García A. G., Martínez F. R. y Melgarejo H. J. 2001. Inspección para aflatoxinas en el maíz almacenado o transportado en el Estado de Sonora, 1998: Informe técnico. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 72 (2): 187-193.

Gaytan B. R. y Mayek P. N. 2010. Heterosis en híbridos de maíz producidos de cruzamientos entre progenitores de valles altos x tropicales. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Investigación y Ciencia, 18 (48): 4-8.

Goldblatt, L. A. 1972. Implications of mycotoxins. Clinical Toxicology 5:453

González E. A., Islas G. J., Espinosa C. A., Vázquez C. J. y Wood S. 2007. Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: híbrido H-50. Publicación especial INIFAP. p. 83.



Klich, M. A. 2007. *Aspergillus flavus*: the major producer of aflatoxin. *Molecular Plant Pathology* 8 (6): 713-722.

Martínez P. H., Hernández D. S., Reyes M. C. y Vázquez C. G. 2013. El género *Aspergillus* y sus micotoxinas en maíz en México: Problemática y perspectivas. *Revista Mexicana de Fitopatología* 31 (2): 126-146.

Mazón G. M. A., Escobedo G., Herrera C., Macías L., Hernández P., Vázquez C. y Wesche E. 2012. Maíz de alto contenido proteínico (*Zea mays* L.) en hogares rurales marginados del Estado de Puebla. *Estud. Soc.* 20 (39): 133-154.

Moreno E. y Gil M. 1991. La biología de *Aspergillus flavus* y la producción de aflatoxinas. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 42.

Moreno, J. 2004. Tesis de Maestría en Ciencias. Estudio comparativo de *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus* en la producción de aflatoxinas bajo diferentes condiciones de humedad y temperatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcallí, Edo. de México. p.146

Moreno, M. E. 1988. Manual para la identificación de hongos de granos y sus derivados. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 109.

Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 393.

NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008

[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/NOMcereales\\_12434.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/NOMcereales_12434.pdf)

Norton, R.A. 1997. Effect of carotenoids on aflatoxin B1 synthesis by *Aspergillus flavus*. *Phytopathology*. p. 814-821.

Palafox A., Sierra M., Espinosa C., Rodríguez M. y Becerra L. 2008. Tolerancia a infestación por gorgojos (*Sitophilus spp.*) en genotipos de maíz comunes y de alta calidad proteínica. *Agronomía Mesoamericana* 19 (1): 39-46.

Paliwal, R. L. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. p. 392.

Pincay, F. B. 2014. Tesis de Maestría. Presencia de aflatoxina total y hongos micotoxigénicos en harina de pescado producida en la costa Ecuatoriana en los años 2012 y 2013. Universidad de Guayaquil. p. 120.

Pixton, S. W. 1982. The importance of moisture and equilibrium relative humidity in stored products. *Tropical Stored Products Information* 43: 16-29.

Ramírez D. J. L., Chuela B. M., Vidal M. V. A., Ron P. J. y Caballero H. F. 2007. Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (4): 453-461.

Ramos, G. E. 2013. Tesis de Maestría. Estudio espacio-temporal de riesgos por plaga de maíz en el Estado de Guanajuato. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 80.

Reglamento Técnico Mercosur sobre Límites Máximo de Aflatoxinas.  
[https://viejaweb.senasa.gov.ar/Archivos/File/File4244-rc-0066\\_y\\_0344-02.pdf](https://viejaweb.senasa.gov.ar/Archivos/File/File4244-rc-0066_y_0344-02.pdf)

Reyes M. C., Cantú A. M., Garza C.M., Vázquez C. G. y Córdova O.H. 2009. H-443A, Híbrido de maíz de grano amarillo para el noreste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32 (4): 331-333.

Rivas V. P., Virgen V. J., Rojas M. I., Cano S. A. y Ayala E.V. 2011. Evaluación de pudrición de mazorca de híbridos de maíz en valles altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2 (6): 845-854.

Rodríguez P. G., Zavala G. F., Gutiérrez D. A., Treviño R. J., Ojeda Z. C. y De la Rosa L. A. 2013. Comparación de dos tipos de selección en poblaciones de maíces criollos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4 (4): 569-583.

Rojas M. I., Gutiérrez E., Cortés A., Falcón A., Bressani R., Rojas A., Ibarra C., Pons H., Guzmán M., Cornejo V. y Rodríguez M. E. 2008. Analysis of quality protein changes in nixtamalized QPM flours as a function of steeping time. *Cereal Chemistry* 85 (3): 401-416.

Rosenzweig C., Iglesias A., Yang X.B., Epstein P.R. y Chivian E. 2001. Climate change and extreme weather event-implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change and Human Health* 2 (2): 90-104.

Santos, C. O. M. 2012. Importancia y efectos de la aflatoxina en los seres humanos. *Universidad Autónoma de Bucaramanga* 2 (6): 124-129.

Sargent K., Sheridan A., Kelly J. y Carnaghan R. 1961. Toxicity associated with certain samples of groundnuts. *Nature* 192: 1096-1097.

Sarmiento B. y Castañeda Y. 2011. Políticas públicas dirigidas a la preservación de variedades nativas de maíz en México ante la biotecnología agrícola. El caso del maíz cacahuacintle. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. *El Cotidiano*, no. 166: 101-110.

Serrano C. H. y Cardona C. N. 2015. Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. Instituto Colombiano de Medicina Tropical. *Revista CES Med* 29 (1): 143-152.

Ureta C., Martínez E., Perales H. y Álvarez E. 2012. Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology* 18 (3): 1073-1082.

Valdivia F. A., Quezada T. T., Ortíz M. R. y Martínez A. A. 2000. Implicaciones de la contaminación de alimentos por aflatoxinas. Universidad Autónoma de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia*. p. 1-10.

Vázquez C. M. G., Mejía A. H., Salinas M. Y. y Santiago R. D. 2013. Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36 (3): 225-232.

Vázquez C. M. G., Mejía A. H., Tut C. C., Gómez M. N. 2012. Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los valles altos centrales de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (1): 23-31.

Vázquez C. M., Santiago R. D., Salinas M. Y., Rojas M. I., Arellano V. J., Velázquez, C. G. y Espinosa C. A. 2012. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en valles altos de Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (3): 229-237.

Vicam Micotoxin Tests. AOAC and FGIS approved testing solutions for aflatoxins. Afla-V. <http://www.vicames.com/tiras-de-prueba-cuantitativas>

## ANEXOS

No. de Híbrido	GENEALOGÍA	CRUZA
1	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155 1770x1804
2	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155 1770x1810
3	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155 1771x1810
4	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 154 1771x1811
5	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15 x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(LT 155) 1772x1788
6	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15 x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338) 1772x1789
7	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15 x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)x(LT 154) 1772x1790
8	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155 1773x1804
9	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155 1773x1810
10	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 15)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155 1774x1804
11	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155 1775x1810
12	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 154 1775x1811
13	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 155 1775x1812
14	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(LT 155) 1776x1788
15	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338) 1776x1789

	1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)		
16	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)x(LT 154)	1776x1790
17	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	INIFAP- UNIGRAS 10 x LT 154	1776x1807
18	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 154	1776x1811
19	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(LT 155)	1777x1787
20	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	1777x1804
21	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	1778x1804
22	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	1778x1808
23	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 15)	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 154	1779x1811
24	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 15)	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 155	1779x1813
25	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	1780x1808
26	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 154	1780x1811
27	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(LT 155)	1781x1787
28	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	1781x1789
29	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(LT 155)	1782x1787
30	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	1782x1789
31	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	1782x1804
32	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	INIFAP- UNIGRAS 10 x LT 154	1782x1805
33	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 155	1782x1812

34	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 38)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP- UNIGRAS 33)x(LT 155)	1783x1787
35	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 38)	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP- UNIGRAS 33)x(CML 338)	1783x1789
36	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	1784x1804 A
37	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	1784x1804 B
38	(CARMELITA 2)x(INIFAP- UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	1785x1809
39	(CARMELITA 5)x(INIFAP- UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	1786x1804
40	(CARMELITA 5)x(INIFAP- UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	1786x1809
41	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP- UNIGRAS 33)x(LT 155)	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)- 45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1787x1776
42	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP- UNIGRAS 33)x(LT 155)	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)- 45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	1788x1777
43	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP- UNIGRAS 33)x(CML 338)	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B- 1)x(INIFAP-UNIGRAS 15 x INIFAP- UNIGRAS 31)	1789x1772
44	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP- UNIGRAS 33)x(CML 338)	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)- 45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1789x1776
45	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP- UNIGRAS 33)x(CML 338)	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B- 1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP- UNIGRAS 27)	1789x1781
46	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP- UNIGRAS 33)x(CML 338)	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1789x1782
47	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP- UNIGRAS 10)x(LT 154)	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B- 1)x(INIFAP-UNIGRAS 15 x INIFAP- UNIGRAS 31)	1790x1772
48	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP- UNIGRAS 10)x(LT 155)	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)- 45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	1791x1777
49	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP- UNIGRAS 10)x(LT 155)	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B- 1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP- UNIGRAS 27)	1791x1781
50	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP- UNIGRAS 10)x(LT 155)	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1792x1782
51	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP- UNIGRAS 10)x(CML 338)	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)- 45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1793x1776
52	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP- UNIGRAS 10)x(CML 338)	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)- 45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP-UNIGRAS 27)	1793x1777
53	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP- UNIGRAS 10)x(CML 338)	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B- 1)x(INIFAP-UNIGRAS 24 x INIFAP- UNIGRAS 27)	1793x1781
54	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP- UNIGRAS 10)x(CML 338)	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1795x1782

55	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)x(CML 338)	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 38)	1795x1783
56	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)x(LT 154)	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 38)	1796x1783
57	(LT 154)x((INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10))	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 31)	1797x1782
58	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1804x1770
59	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1804x1773
60	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 15)	1804x1779
61	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 38)	1804x1783
62	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1804x1784
63	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	(CARMELITA 2)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1804x1785
64	INIFAP- UNIGRAS 9 x LT 155	(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)x(CML 338)	1804x1789
65	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1808x1770
66	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	1808x1771
67	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1809x1778
68	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	(P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1809x1784
69	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	(CARMELITA 2)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1809x1785
70	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	(CARMELITA 5)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 33)	1809x1786
71	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)x(LT 154)	1810x1790
72	INIFAP- UNIGRAS 15 x LT 155	(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)x(CML 338)	1810x1793
73	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 154	(D471 X CML175)-1-1-1-11-8-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	1811x1771
74	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 154	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	1811x1775
75	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 154	(HC47-55xCML176)-1-1-1-13-4-B-1)x(INIFAP-UNIGRAS 10 x INIFAP-UNIGRAS 15)	1811x1779
76	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 155	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS 9 x INIFAP-UNIGRAS 10)	1812x1775
77	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 155	((CML150xCML311)-5-1-8xCML311)-45 Espiga Roja-1)x(INIFAP-UNIGRAS	1812x1776

---

78	INIFAP- UNIGRAS 33 x LT 155	15x INIFAP-UNIGRAS 31) (P 47331)x(INIFAP-UNIGRAS 15x INIFAP-UNIGRAS 38)	1814x1783
79		H-317	
80		DK 2027	
		T2 Local Tamaulipas	
81		SULTAN	
		H- 377 C	
		T3 Local Tamaulipas	

---



SEP  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE

T E S I S

REGENERACIÓN *in vitro* DE CHILE JALAPEÑO  
(*Capsicum annuum* L.)

QUE PRESENTA

ADRIANA PAOLA MARTÍNEZ CAMACHO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS

DIRECTOR: DR. GABRIEL ITURRIAGA DE LA FUENTE

ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2017

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**REGENERACIÓN *IN VITRO* DE CHILE JALAPEÑO (*CAPSICUM ANNUUM L.*)**

**QUE PRESENTA**

**ADRIANA PAOLA MARTÍNEZ CAMACHO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. GABRIEL ITURRIAGA DE LA FUENTE**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**DICIEMBRE DE 2017**

La tesis “Regeneración *in vitro* de Chile Jalapeño (*Capsicum annuum*)”, fue realizada por la alumna **Adriana Paola Martínez Camacho**, bajo la dirección del Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente y asesoría de Dr. Juan Carlos Raya Pérez, Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente**

**Cédula: 7625496**

**Asesor:**

---

**Dr. Juan Carlos Raya Pérez**

**Cédula: 4798249**

**Asesor:**

---

**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**

**Cédula: 4875646**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por haberme puesto en el camino que ahora estoy, porque ahora sé que quiero saber más y que me falta mucho más por aprender.

A mis papás y a mi hermana que siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional en cada una de las etapas y decisiones de mi vida, guiándome y aconsejándome.

Al Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente, por aceptarme como asesorada durante el transcurso de la maestría, por compartir con nosotros su pasión por la ciencia, conocimientos y experiencias.

A Alberto, por cruzar en mi camino y ahora compartirlo, por darme aliento cuando creo ya no poder, por ser mi nuevo compañero de vida.

Al posgrado del Instituto Tecnológico de Roque por haberme permitido pertenecer a él y así crecer un poco más en el ámbito profesional.

A los doctores que me impartieron clases durante estos cuatro semestres, por haber compartido sus conocimientos.

## **DEDICATORIA**

A mis papás, porque gracias a ellos soy la persona que

## ÍNDICE

I INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Objetivos .....	12
1.1.1 Objetivo general.....	12
1.1.2 Objetivos específicos .....	12
1.2 Hipótesis .....	12
II REVISIÓN DE LITERATURA .....	13
2.1 Generalidades de Capsicum annum L. ....	13
2.1.1 Origen.....	13
2.1.2 Características botánicas.....	14
2.1.3 Propiedades nutricionales.....	15
2.1.4 Comercialización .....	15
2.2 Cultivo de Tejidos Vegetales .....	16
2.2.1 Antecedentes del cultivo de tejidos.....	16
2.2.2 Generalidades del cultivo de tejidos.....	18
2.2.2.1 Medio de cultivo .....	20
2.2.2.2 Agua.....	20
2.2.2.3 Carbohidratos.....	20
2.2.2.4 Vitaminas .....	21
2.2.2.5 Aminoácidos.....	22
2.2.2.6 Reguladores de crecimiento.....	23
2.2.2.6.1 Auxinas.....	25
2.2.2.6.2 Citocininas .....	26

2.2.2.6.3 Giberelinas .....	28
2.2.3 Respuestas morfogénicas.....	28
2.2.3.1 Embriogénesis somática .....	30
2.2.3.2 Organogénesis.....	32
2.2.4 Factores que afectan la organogénesis.....	34
2.2.4.1 Tipo de explante.....	34
2.2.4.2 Elección del medio de cultivo .....	35
2.2.4.3 Reguladores de crecimiento.....	36
2.2.4.4 Otros factores.....	37
2.2.4.4.1 Nitrato de Plata.....	38
2.3 Regeneración in vitro de <i>Capsicum annum</i> L. antecedentes .....	39
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.1 Ubicación del desarrollo del experimento.....	45
3.1 Material vegetal.....	45
3.1.1 Características.....	45
3.2 Desinfección superficial de las semillas y germinación .....	45
3.3 Germinación de las semillas .....	46
3.4 Corte de explante.....	47
3.5 Preparación del medio de cultivo MS (Murashige y Skoog 1967).....	48
3.5.1 Soluciones Stock para medio MS .....	48
3.6 Inducción.....	49
3.6.1 Experimento 1 Prueba utilizando dos reguladores de crecimiento BAP y AIA en tres concentraciones diferentes en cuatro genotipos comerciales de <i>Capsicum annum</i> L. (chile jalapeño) con dos diferentes tipos explantes.....	49

3.6.2 Experimento 2 Efecto de la utilización de BAP y AIA en cuatro concentraciones diferentes en la regeneración de <i>Capsicum annuum</i> utilizando un solo genotipo comercial de chile jalapeño.....	50
3.6.3 Experimento 3 Utilización de tres explantes diferentes para la organogénesis directa de <i>Capsicum annuum</i> L. usando dos combinaciones de reguladores de crecimiento BAP y AIA (Orlinzka y Nowaczyk, 2015) .....	51
3.6.4 Experimento 4 Evaluación de tres explantes con una combinación de BAP y AIA para la organogénesis directa de <i>Capsicum annuum</i> L. (chile jalapeño) (Valdez et al., 2009) 52	
3.6 Elongación .....	53
3.6.1 Experimento 1 Prueba de la reducción del medio de cultivo al 50% para la elongación de brotes en la segunda etapa de la regeneración de chile jalapeño.....	53
3.6.2 Experimento 3 Utilización de una auxina para la elongación de brotes de <i>Capsicum annuum</i> L. (Orlinzka y Nowaczyk, 2015) .....	53
3.6.3 Experimento 4 Uso de tres reguladores de crecimiento para la elongación de brotes en la regeneración de chile jalapeño (Valdez et al., 2009). .....	53
3.7 Enraizamiento .....	53
3.7 Análisis estadísticos.....	54
4.1 Respuesta de los cuatro genotipos en el Experimento 1 .....	55
4.2 Respuesta del genotipo C en el Experimento 2 .....	58
4.3 Resultados en el experimento 3 utilización de una auxina para la elongación de brotes de <i>Capsicum annuum</i> L. (Orlinzka y Nowaczyk, 2015).....	62
4.4 Resultados del experimento 4, evaluación de tres explantes con una combinación de BAP y AIA para la organogénesis directa de <i>Capsicum annuum</i> L. (chile jalapeño) (Valdez et al., 2009).....	63
VI CONCLUSIONES.....	67



VII LITERATURA CITADA..... 68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Zonas productoras de chile verde en México .....	16
Tabla 2 Revisión bibliográfica para la inducción de brotes en la especie <i>Capsicum annuum</i> L.....	44
Tabla 3 Stock para macronutrientes.....	48
Tabla 4 Stock para micronutrientes .....	48
Tabla 5 Stock para Vitaminas y Sustancias Orgánicas .....	48
Tabla 6 Concentraciones de BAP y AIA empleadas para la organogénesis de diferentes marcas comerciales de <i>Capsicum annuum</i> L. (jalapeño) .....	49
Tabla 7 Concentraciones de BAP y AIA para la producción de brotes para "Caloro" .....	50
Tabla 8 Utilización de tres explantes diferentes usando la combinación de reguladores de crecimiento BAP y AIA, para obtención de Organogénesis directa (Orlinzka y Nowaczyk, 2015).....	51
Tabla 9 Evaluación de tres explantes diferentes con una combinación de BAP y AIA para la obtención de organogénesis de <i>Capsicum annuum</i> L. (Valdez <i>et al.</i> 2009)...	52
Tabla 10 Respuesta del genotipo B en el Experimento 1.....	55
Tabla 11 Respuesta del genotipo C en el Experimento 1 .....	56
Tabla 12 Cuadros medios del ANOVA bifactorial para las variables en la inducción. ....	58
Tabla 13 Respuesta en la inducción de brotes para el genotipo C .....	58
Tabla 14 Respuesta del Experimento 3 en la etapa de inducción.....	62
Tabla 16 Respuesta del experimento 4 en la etapa de inducción y elongación de brotes .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Usos culturales del chile en la época prehispánica (Anónimo, 1540).....	14
Figura 2 Estructura química de las diferentes fitohormonas .....	23
Figura 3 Factores que influyen en la respuesta de un tejido cultivado in vitro, adicionando fitohormonas exógenas .....	25
Figura 4 Respuesta a las concentraciones auxinas vs citocininas.....	27
Figura 5 Diferentes respuestas de la morfogénesis en los explantes.....	30
Figura 6 Ubicación del Instituto Tecnológico de Roque .....	45
Figura 7 Germinación de las semillas en medio MS.....	46
Figura 8 Corte de explantes: cotiledones e hipocotilo .....	47
Figura 9 Formación de brotes en cotiledones en el genotipo Hortaflores .....	57
Figura 10 Formación de callo en los explantes de cotiledon (A) e hipocotilo (B). .....	59
Figura 11 Formación de brotes en cotiledones en presencia de BAP .....	59
Figura 12 Respuesta de los explantes del genotipo C en el Experimento 2 .....	60
Figura 13 Formación de raíz en hipocotilos en presencia de AIA.....	61
Figura 14 Formación de compuestos fenólicos en cotiledon (A) e hipocotilo (B) .....	61
Figura 15 Inducción de brotes en hipocotilos .....	63
Figura 16 Inducción de brotes en cotiledones con 3 mg/L de BAP y 0.24 mg/L de AIA .....	63
Figura 17 Inducción de brotes en hipocotilos .....	64
Figura 18 Comienzo de la elongación de brotes provenientes de cotiledones.....	65
Figura 19 Elongación de brotes .....	66

## RESUMEN

Actualmente las variedades de chile (*C. annuum* L.) son de gran importancia debido a su demanda en el consumo y comercialización; con origen, domesticación y diversificación en México, el chile se dispersó a través del mundo en la época colonial después de que fue llevado a Europa y Asia por los españoles hace más de 500 años. Por ello, nuestro país se ha consolidado como uno de los principales exportadores a nivel mundial de chile. Para el año 2016 se produjeron 3 millones de toneladas con un valor de más de 20 millones pesos. Sin embargo la producción de esta solanacea se ha visto afectada debido a diversos factores bióticos y abióticos, como hongos, bacterias y virus, así como por temperaturas extremas, sequía, y salinidad entre otros. La alta dependencia genotípica del chile y su naturaleza recalcitrante lo han desfavorecido para combatir los diferentes tipos de estrés. Por ese motivo, las herramientas de la biotecnología como el cultivo de tejidos y las técnicas del ADN recombinante, pueden ayudar a complementar el fitomejoramiento tradicional y así poder acelerar la adquisición de características favorables en el cultivo de *Capsicum*. Los estudios siguen avanzando para lograr la mejora de este cultivo y así darle un valor adicional, es por ello que el objetivo de esta tesis fue montar un sistema de regeneración *in vitro* para chile jalapeño. Para cumplir esta meta se llevaron a cabo varias pruebas donde se sometieron a prueba principalmente dos tipos de explantes: cotiledones e hipocotilos, ya antes reportados con éxito para otras variedades de *Capsicum annuum*. Además, estos dos explantes fueron sometidos a diferentes concentraciones de las fitohormonas AIA y BAP; con estas pruebas se comprobó que es posible la formación de brotes y la elongación de los mismos utilizando una semilla comercial del estado de Guanajuato.

## SUMMARY

Currently the varieties of chili pepper (*C. annuum*) are of great importance due to their consumer demand and commercialization; with origin, domestication and diversification in Mexico, the chili pepper was dispersed throughout the world in the Colonial era after it was brought to Europe and Asia by the Spaniards more than 500 years ago. For this reason, our country has consolidated as one of the main exporters of chili pepper worldwide. During the year 2016 3 million tons were produced with a value of 20 million pesos. However, the production of this solanaceous is affected by biological and abiotic factors, such as fungi, bacteria and viruses, as well as extreme temperatures, drought, and salinity, among others. The high genotypic dependence and its recalcitrant nature of chili pepper have undermined its capacity to fight against different types of stress. Therefore, the tools of biotechnology such as tissue culture and Recombinant DNA can help to complement traditional plant breeding and thus accelerate the acquisition of favorable characteristics in *Capsicum* cultivation. The studies continue advancing to achieve the improvement of this crop and thus give it additional value, that is why the objective of this thesis was the set up of an *in vitro* regeneration system of jalapeño pepper. To accomplish this goal several tests were carried out using two types of explants: cotyledon and hypocotyl, previously reported successfully for other varieties of *Capsicum annuum*. Besides, these explants were subjected to AIA and BAP at different concentrations; with these tests it was shown shoot formation and shoot elongation using commercial seed of the Guanajuato State.

## I INTRODUCCIÓN

La especie de chile más importante *Capsicum annuum*, cuenta con más de 100 variedades que se consumen por todo el mundo, después de que fue llevada a Europa y Asia por los españoles hace 500 años. A esta especie pertenecen algunos de los chiles más importantes como el chile jalapeño, chile serrano, chile ancho, chile guajillo, pimiento morrón, entre otros. (Aguilar, 2006). Actualmente las variedades de *C. annuum* son de gran importancia debido a su demanda en el consumo y comercialización, por ello, México se ha consolidado como uno de los principales exportadores a nivel mundial. Para el año 2016 se produjeron 3,061,094 t con un valor de 20,047,101 pesos (SIAP, 2017) teniendo como principales compradores a países como Estados Unidos, Japón, Canadá, Reino Unido y Alemania (SAGARPA 2017). El chile es un fruto tipo baya de diversas especies del género *Capsicum*, pertenecientes a la familia de las *Solanaceas*. Además de su gran valor nutricional, es un ingrediente básico en una gran cantidad de cocinas alrededor del mundo, añadiéndole aroma, sabor y color a la comida. Sin embargo, la producción de plántulas de esta solanacea se ve afectada por su vulnerabilidad al estrés abiótico como temperaturas extremas, pH, sequía, exceso de humedad, nutrientes, entre otros (Ochoa-Alejo y Ramírez-Malagón, 2001); y al estrés abiótico que incluye la susceptibilidad a hongos (*Phytophthora capsici*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*) (Egea *et al.*, 2002), bacterias y virus tales como el virus del mosaico del tabaco, virus Y de la papa, virus moteado de la pimienta, etc. (Suzuki y Mori, 2003). Estas enfermedades virales implican una gran amenaza y pérdida económica (Venkataiah *et al.*, 2003), además de las variaciones genéticas, característica de esta planta, que pueden ocurrir durante la producción dando origen a plantas anormales. Todos estos factores disminuyen significativamente el rendimiento debido a que no siempre se obtiene un producto uniforme.

El fitomejoramiento convencional en combinación con las prácticas agrícolas ha ayudado a mejorar la calidad y el uso de este cultivo. Sin embargo, existen limitaciones a esta tecnología debido a la reserva genética limitada o a una restringida gama de organismos entre los cuales los genes se puedan transferir (Kothari *et al.*, 2009), por

lo que la transferencia de genes que confieran nuevos caracteres de tolerancia será de gran utilidad. La propagación masiva *in vitro* puede superar aquellas dificultades mencionadas, proporcionando un número ilimitado de plántulas sanas y totalmente homogéneas, independientemente de la temporada, (Song *et al.*, 2007) por lo que la utilización de herramientas biotecnológicas como el cultivo de tejidos vegetales y la ingeniería genética, están tomando un papel fundamental en los programas de mejoramiento impulsando la mejora en el cultivo de *Capsicum* (Kothari *et al.*, 2010). Para poder introducir nueva información genética requiere que se cumplan los siguientes requisitos: disponer de un método para la regeneración *in vitro* de la especie de interés y contar con método de transformación eficiente para la misma. Por eso es indispensable, a través de las técnicas de ingeniería genética, contar con un método eficaz de regeneración (Binzel *et al.*, 1996).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Montar un sistema de regeneración in vitro para chile jalapeño

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Identificar un genotipo de jalapeño con alta eficiencia de regeneración.

Generar brotes a partir de explantes, de hipocotilos y cotiledones de chile jalapeño bajo distintas concentraciones de hormonas.

Obtener plantas completas de chile.

## **1.2 Hipótesis**

A partir de explantes cultivados in vitro de distintos tejidos de plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) se regenerarán plantas completas.



## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades de *Capsicum annum* L.

#### 2.1.1 Origen

Chile, es el nombre común en español proveniente del náhuatl a la especie miembro del género *Capsicum*. Es una de las solanáceas de mayor producción a nivel mundial, ha sido cultivada en América desde la época prehispánica, que después fue difundida por los europeos en todo el mundo (Eshbaugh, 1993). Las especies de mayor impacto económico son *Capsicum annum* L., *Capsicum frutescens* L., *Capsicum baccatum* L., *Capsicum pubescens* Ruiz. & Pav., y *Capsicum chinense* Jacq. (Perry et al., 2007). Se cree que estas especies fueron domesticadas en dos regiones del nuevo mundo, *C. annum* L. y *C. frutescens* L. en Mesoamérica y *C. baccatum* L., *C. pubescens* Ruiz. & Pav., y *C. chinense* Jacq., en América del Sur (Pickersgill, 2007).

La evidencia arqueológica en México muestra que se ha usado el chile silvestre como alimento desde aproximadamente el año 8000 a.C., no solo como condimento ocasional, sino también como componentes de una dieta diaria (Smith, 1967). La evidencia más antigua encontrada de chiles domesticados se encontró dentro de una cueva en el Valle de Tehuacán, con una antigüedad de aproximadamente 6000 a.C. (Perry et al., 2007; Pickersgill, 2007). Tradicionalmente en México al chile se le suele dar algunos otros usos. En la artesanía sirviendo de adorno, extrayendo el colorante para teñir algunas figuras de barro. Desde la época prehispánica se le confieren varias propiedades medicinales las cuales prevalecen en la actualidad, entre ellas está la utilización en el aceleramiento del parto, para el control del dolor molar, como un estímulo en el crecimiento del cabello, en el tratamiento de enfermedades renales, así como antidiarreico, antiinflamatorio, antineurálgico, antipirético, antiséptico, entre muchos otros. En el ámbito cultural, el chile era utilizado en torturas para sofocar a la víctima con el humo liberado al quemar esta solanácea. En cuanto a los usos gastronómicos, este condimento era esencial en la preparación de chocolate con

cacao, miel, achiote y otros aditivos (Berdan y Anawalt, 1997; Waizel y Camacho, 2011).



**Figura 1 Usos culturales del chile en la época prehispánica (Anónimo, 1540)**

### 2.1.2 Características botánicas

Las plantas del género *Capsicum* son angiospermas, dicotiledóneas, herbáceas o arbustivas, de ciclo anual (en zonas templadas), que pueden convertirse en perennes si las condiciones son favorables. El género fue descrito y publicado por Carlos Linneo en 1753 en su monumental obra *Species Plantarum*. El nombre científico del género deriva del griego *kapso* (picar), siendo la pungencia su principal característica (Salazar y Silva, 2004). Según otros autores, el nombre proviene de *kapsakes* que significa cápsula (Nuez et al., 1996).

De tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro, con hojas generalmente ovaladas de 10 cm aproximadamente, glabras, flores solitarias en las axilas foliares. Las flores son hermafroditas, regulares y están constituidas por 5 sépalos, 5 pétalos y 5 estambres. Su ovario es súpero y su fruto es una baya de tipo carnoso hueca y en forma de cápsula, en donde se encuentran las semillas. El número de flores es uno, con algunas diferencias entre especies, color blanco y a veces color púrpura, el fruto es variable en tamaño, color, forma y sabor entre las diferentes especies. Su forma varía desde ovada hasta globosa, lanceolado-ovada, cilíndrica o cuadrado-lobada, hasta de 15 cm de diámetro o más grande, roja, naranja, amarilla,

verde o blanca, con sabor picante en diferentes grados o no picante; semillas amarillas, de hasta 5 mm de largo (Nee, 1986).

### **2.1.3 Propiedades nutricionales**

El valor nutritivo de Capsicum y sus propiedades medicinales, como se había mencionado anteriormente se conocen desde la época prehispánica. Su valor nutritivo es alto ya que es una excelente fuente de vitaminas C (ácido ascórbico), vitamina A, complejo B y vitamina E, además contiene algunos minerales como el molibdeno, manganeso y potasio. El chile posee siete veces más vitamina C que la naranja. Los beta-carotenos y vitaminas C y A en chile son considerados como potentes antioxidantes que destruyen los radicales libres (Simmone et al., 1997). Los colores vívidos que se presentan en Capsicum, son debidos a una mezcla de ésteres como decapsantina, capsorrubina, zeaxantina, criptoxantina y otros carotenoides. Estos colores extraídos del fruto de chile, son utilizados ampliamente en la industria alimentaria (Govindarajan, 1986). Las propiedades terapéuticas y de pungencia se atribuye a un grupo de alcaloides conocidos como capsaicinoides (Ochoa-Alejo y Ramírez-Malagon, 2001). El sabor picante del chile es principalmente debido a la capsaicina (C<sub>18</sub>H<sub>27</sub>NO<sub>3</sub>).

### **2.1.4 Comercialización**

Para su comercialización los chiles se clasifican de acuerdo al grado de madurez del fruto: verdes y secos, y por su pungencia se les denomina picosos, dulces o pimientos. El mencionar chiles verdes, hace referencia a frutos naturales o procesados, la mayoría se utiliza en estado inmaduro y al deshidratarse pasan al grupo de secos, como el chile ancho, mulato, guajillo, entre otros más. El término “secos” es utilizado para los chiles que se dejan madurar y secar o deshidratar, después de éste proceso son muy utilizados en la comida mexicana, principalmente en la cocina artesanal (Montes, 2010).

En la actualidad el chile verde es producido en los 32 estados de la República Mexicana, siendo una alternativa agrícola estratégica para México, ya que su producción aumenta de 9.5 y 12% anualmente, los estados de Chihuahua, Sinaloa,

Guanajuato, Zacatecas y Sonora figuran como los principales productores sumando en conjunto el 50% de la superficie total nacional cultivada de chile verde, obteniéndose el 60% de la producción nacional.

El país se puede dividir en seis zonas geográficas productoras de diferentes morfotipos de chile verde (Tabla 1).

**Tabla 1 Zonas productoras de chile verde en México**

Zona productora	Estados que comprenden la zona	Morfotipo producido
Golfo	Veracruz y Tamaulipas	Jalapeño y Serrano
Sur	Yucatán y Tabasco	Costeño, Jalapeño y Habanero
Bajío	Guanajuato, Jalisco y Michoacán	Ancho, Mulato y Pasilla
Mesa Central	Puebla e Hidalgo	Carricillo, Miahuateco y Poblano
Norte	Chihuahua y Zacatecas	Ancho, Jalapeño y Mirasol
Pacífico Norte	Baja California, Sinaloa y Sonora	Anaheim, Bell, Caribe y Jalapeño

Fuente: Sistema Producto Chile Verde Baja California, 2003.

El país ocupa el segundo lugar a nivel mundial en producción de chile verde con 2.7 millones de ton, involucrando a más de 12 mil productores y 144 mil ha (SIAP, 2016). Además se ha consolidado como uno de los principales exportadores a nivel mundial, con un comercio de aproximadamente 845 mil ton anuales, lo que generó divisas de 560 millones de dólares en 2014, teniendo como principales compradores a países como Estados Unidos, Japón, Canadá, Reino Unido y Alemania (SAGARPA, 2014).

## 2.2 Cultivo de Tejidos Vegetales

### 2.2.1 Antecedentes del cultivo de tejidos

La base de la teoría sobre el cultivo de tejido vegetal fue propuesta por Gottlieb Haberlandt en la Academia Alemana de Ciencias en 1902. Propuso que eventualmente, a partir de una sola célula podría ser regenerada una planta completa

y funcional, ya que aunque todos los organismos multicelulares poseen el mismo ciclo celular, las células vegetales, a diferencia de las células animales, tienen la cualidad de ser totipotentes (Haberlandt, 1902). En su experimento trabajó con células aisladas de hojas fotosintéticas de plantas superiores y con algunas otras células diferenciadas, y aunque en su experimento no obtuvo éxito, pudo establecer claramente el concepto de totipotencia. Este trabajo marcó un hito en la investigación, ya que mostró que la técnica de cultivo de células vegetales en una solución nutritiva, permite la investigación de problemas importantes a partir de un nuevo enfoque experimental. Haberlandt, es reconocido como el padre del cultivo de tejidos (Kotte, 1922; Robbins, 1922).

El cultivo de embriones tuvo su comienzo a principios del siglo pasado con embriones de cebada (Monnier, 1995). Después se obtuvo el rescate de embriones de semillas no viables del cruce entre *Linum perenne* y *Linum austriacum* (Laibach, 1929), y para el desarrollo completo en la maduración temprana de algunas especies de árboles frutales (Tukey, 1934), dando lugar a las primeras aplicaciones de la regeneración *in vitro* o cultivo de tejidos.

Gautheret logró obtener el primer cultivo de tejido verdadero partiendo del tejido del cambium de *Acer pseudoplatanus* poner el nombre común (Gautheret, 1934). También obtuvo algo similar con *Ulmus campestris*, *Robinia pseudoacacia*, and *Salix capraea*, usando un medio Knop adicionado con agar, glucosa y clorhidrato de cisteína. Más adelante, con la disponibilidad del ácido indolacético (IAA) y la incorporación de vitaminas B, fue posible hacer cultivo de tejido utilizando la raíz de la zanahoria (Gautheret, 1939; Nobécourt, 1939), y con tejido tumoral de un híbrido de *Nicotiana glauca* con *Nicotiana langsdorffii* (White, 1939), los cuales no requerían de la adición de auxinas. Estos mostraban crecimiento continuo e incluso se observó diferenciación de brotes y raíces (Nobécourt, 1939; White, 1939).

Entre los años cuarenta y setentas del siglo pasado, se desarrollaron un gran número de técnicas y se mejoraron las ya conocidas hasta ese momento. Una de las mejoras fue la incursión del agua de coco, lo que permitió el cultivo de tejido de embriones jóvenes (Van Overbeek et al., 1941), así como el cultivo de tejidos recalcitrantes,

incluidas las monocotiledóneas. Más tarde, en nuevos estudios utilizando ácidos nucleicos, se condujo al descubrimiento de la primera citocinina, conocida como cinetina (Miller et al., 1955). Este descubrimiento aumentó el número de especies que se podían cultivar, pero lo más importantes es que llegó al reconocimiento de la aplicación exógena y equilibrada entre la auxina y la citocinina, las cuales influían en el destino morfogénético del callo del tabaco. Un nivel alto de la auxina con respecto a la citocinina, favoreció el enraizamiento; y el alto contenido de citocinina con respecto al de auxinas, condujo a la formación de brotes, mientras que a niveles intermedios había proliferación de callo y tejido del parénquima. Se ha demostrado que este modelo morfogénético es aplicable para una gran cantidad de especies (Evans et al., 1981). En 1962 Murashige y Skoog, dieron un paso fundamental en las técnicas de cultivo de tejidos al desarrollar un medio (MS) que contenía las características necesarias para ser usado en el cultivo de un gran número de especies vegetales; este medio MS, en la actualidad sigue utilizándose como base en innumerables trabajos (Murashige y Skoog, 1962).

Los avances siguieron siendo progresivamente lentos hasta finales de los años 70 y principios de los años 80, cuando se logró consolidar al cultivo de tejidos vegetales como parte del campo de la investigación en biología vegetal y comenzó su aplicación para la micropropagación, que consiste en la generación de plantas libres de patógenos y conservación de germoplasma *in vitro*. Para mediados de los años 80, el cultivo de tejidos obtuvo una gran relevancia al ser parte del nacimiento de la ingeniería genética de plantas, con la cual hoy en día integran lo que se conoce como biotecnología vegetal.

### **2.2.2 Generalidades del cultivo de tejidos**

Cuando se habla de cultivo de tejido vegetal *in vitro*, se hace referencia a cultivar una planta dentro de un ambiente controlado en un frasco de vidrio, lo que involucra cierto número de técnicas. Esto consiste básicamente en regenerar plantas a partir de explantes (ápices de raíces o de tallos, primordios de hojas (cotiledones), primordios o partes inmaduras de flores, frutos inmaduros, órganos aislados, embriones maduros

o inmaduros, segmentos de órganos de tallo o de hojas, ovarios, óvulos anteras y polen) cultivados en medios adicionados con nutrientes adecuados, así como reguladores de crecimiento y en forma aséptica. Los avances de la ciencia en los últimos años han permitido el estudio detallado de los tejidos vegetales a nivel molecular y en condiciones de laboratorio es posible recrear el ambiente adecuado para incidir en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Como se había mencionado anteriormente, el fundamento del cultivo de tejidos se basa en la teoría de la totipotencialidad celular, que constituye el principio de estas técnicas. La totipotencia explica la posibilidad de obtener una planta entera partiendo de cualquier célula viva, manteniendo las condiciones artificiales adecuadas de cultivo. Para lograr esto se debe conseguir desdiferenciar la célula inicial, induciendo la pérdida de las características de especialización hasta un estado de desdiferenciación meristemática de esta célula, para después buscar la rediferenciación y así lograr variadas respuestas morfogénicas, como la obtención de un callo, la regeneración de brotes o algunos otros primordios (Sharry et al., 2015). Para lograr obtener estas respuestas es necesario adicionar al medio de cultivo algunos reguladores de crecimiento, principalmente auxinas y citocininas (Pierik, 1990). Las auxinas controlan el crecimiento mediante la elongación de las células y las citocininas estimulan el crecimiento debido a que intervienen en la división celular (Sinha, 2004).

Los tejidos vegetales responden a estímulos externos e internos, que alteran su fisiología, morfología y desarrollo. Los estímulos son los siguientes: luz, nutrientes minerales, compuestos orgánicos, agua, suelo, temperatura, reguladores de crecimiento, pH, gases (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>). Por eso es que deben considerarse los siguientes factores cuando se desea hacer cultivo de tejidos in vitro (Pierik, 1990):

- Fuente de Explante
- Nutrientes inorgánicos y orgánicos
- Reguladores de crecimiento
- Temperatura, luz y pH

En conclusión, el cultivo de tejidos vegetales in vitro, exige el control específico del ambiente físico y químico, en el que se coloca el explante (Tiza Arias, 2010).

El cultivo de tejido vegetal se desarrolla en cinco etapas ya establecidas:

- Etapa 0: El precultivo, se refiere al tratamiento de la planta madre.
- Etapa 1: Introducción in vitro, que incluye el proceso de desinfección y el establecimiento del cultivo.
- Etapa 2: Multiplicación, esto implica el incremento de la masa de material vegetal.
- Etapa 3: Enraizamiento, se induce el desarrollo de raíces
- Etapa 4: Aclimatación, consiste en adaptar a la planta a vivir fuera de las condiciones in vitro.

#### **2.2.2.1 Medio de cultivo**

Los medios de cultivo son soluciones acuosas donde se desarrollan microorganismos o células o tejidos vegetales y/o animales. El medio juega un papel fundamental para el desarrollo del cultivo de tejidos. Sus componentes son básicamente, agua, sales minerales y una fuente de carbono que por lo general es sacarosa. También se utilizan suplementos orgánicos (vitaminas), reguladores de crecimiento y algún agente gelificante. Aunque para cada una de las especies los requerimientos son diferentes y en algunas ocasiones únicos, la formulación propuesta por Murashige y Skoog (1962) es la más utilizada en la actualidad. En el mercado existen más de 80 medios comerciales que se venden, listos para el cultivo de tejidos y en la literatura se mencionan alrededor de 2000 formulaciones diferentes (Mroginski et al., 2004).

#### **2.2.2.2 Agua**

Suele utilizarse agua destilada. En ocasiones específicas puede utilizarse agua corriente, pero debe evitarse porque la presencia de ciertos cationes (como  $\text{Ca}^{2+}$  o  $\text{Mg}^{2+}$ ) puede formar sales insolubles con otros componentes del medio (como los fosfatos) sobre todo, durante el proceso de esterilización.

#### **2.2.2.3 Carbohidratos**

Entre los más utilizados son los azúcares como fuente de carbono y energía, es común el empleo de monosacáridos como la glucosa, disacáridos como la lactosa y polisacáridos como el almidón. Para la gran mayoría de las especies cultivadas in



vitro, la sacarosa y la glucosa se utiliza como fuente de carbono, sin embargo para algunas especies resulta efectivo la utilización de fructuosa, maltosa, celobiosa, rafinosa, entre otras. Siendo la mejor fuente de carbohidratos la sacarosa (2-5%), la cual se hidroliza activamente a fructuosa y glucosa por la invertasa de la pared celular. El manitol es un azúcar alcohol (poliol) que puede ser agregado al medio como aporte nutritivo o para regular el control osmótico del sistema.

#### **2.2.2.4 Vitaminas**

Por lo general las vitaminas son sintetizadas por las plantas, ya que son requeridas para el crecimiento y diferenciación cumpliendo con un papel como cofactor enzimático en el metabolismo celular. Como los demás elementos, cuando las plantas son cultivadas in vitro, la ausencia de vitaminas es un factor limitante del crecimiento. Sin embargo también las necesidades vitamínicas del tejido vegetal dependerán de la especie con la que se trabaje; aunque los requerimientos son adicionados de forma externa, algunos tejidos logran obtenerlas de algunos complejos orgánicos de composición indefinida como en el agua de coco, extracto de levadura, jugos de frutas, etc. A continuación se enlistan las vitaminas más importantes para las plantas y sus propiedades:

- Tiamina (vitamina B1): Resulta ser un componente esencia de las coenzimas que catalizan la oxidación del ácido pirúvico en el ciclo respiratorio. Durante el ciclo normal la planta sintetiza esta vitamina en las hojas y la almacena en las semillas. Algo curioso de esta vitamina es que es fotoestable, sin embargo al esterilizarse en autoclave, la tiamina se descompone en piridimina y tiazol, pero una gran parte de los tejidos son capaces de sintetizar la tiamina a partir de los productos de su descomposición.
- Riboflavina (vitamina B2): Interviene en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas y es el componente principal de los cofactores FAD y FMN por lo que se requiere por todas las flavoproteínas; al contrario de la tiamina, esta vitamina es fotosensible y termoestable.

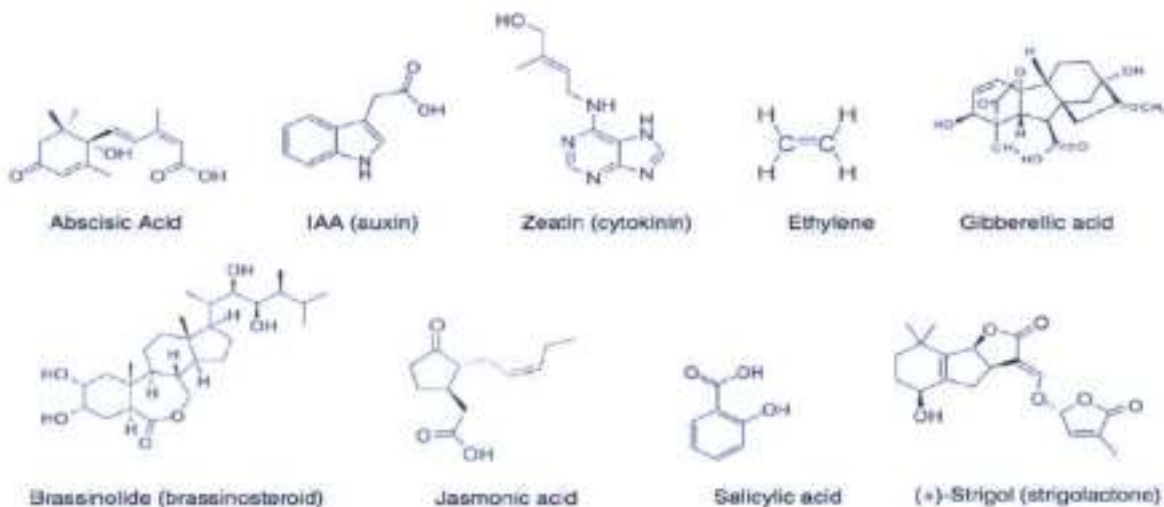
- Ácido nicotínico (niacina o vitamina B3): es componente de las coenzimas que actúan en las reacciones de energía, debido a esto estimula el crecimiento de la planta.
- Adenina (vitamina 4) además de ser un ácido nucleico, actúa como sulfato de adenina para promover la formación de brotes.
- Ácido pantoténico (vitamina B5) es componente de la co-enzima A, interfiere en el metabolismo de las grasas.
- Piridoxina (vitamina B6) participa en el metabolismo de los ácidos grasos, sintetizando purinas y pirimidinas. Induce el crecimiento interviniendo en las reacciones de energía.
- Niacina (vitamina B12) interviene en la respiración formando parte de las coenzimas I y II (grupos portadores de hidrógeno en la fase respiratoria de deshidrogenación).
- Ácido ascórbico (vitamina C) ayuda como antioxidante previniendo la oxidación de compuestos fenólicos.
- Tocoferol (vitamina E) mejora la dispersión de cultivos en suspensión.
- Inositol o myo-inositol es un azúcar alcohol, en ocasiones se puede usar como suplemento de sacarosa, forma parte de varios tipos de membranas de algunos orgánulos (entre ellos de los cloroplastos).

#### **2.2.2.5 Aminoácidos**

Los aminoácidos son la fuente de N más importante, ya que se incorporan con mayor velocidad a la síntesis de proteínas que el N inorgánico (Thom et al., 1981). La incorporación de aminoácidos, por lo general, es requerida cuando se inicia la formación de callo, ya que son estimulantes de la proliferación celular (Gamborg y Jhyluk, 1981). En todos los seres vivos, los isómeros –L de los aminoácidos son los incorporados para el metabolismo y por tanto los utilizados para el cultivo de tejidos, ya que los isómeros –D son tóxicas.

### 2.2.2.6 Reguladores de crecimiento

Debido a diferentes estímulos internos y externos y a que son sésiles, las plantas deben regular su crecimiento y desarrollo casi de manera constante (Wolters y Jurgens, 2009). Las fitohormonas o reguladores de crecimiento, son moléculas de señalización que se encuentran en pequeñas cantidades dentro de las células vegetales. Parte de las funciones de las fitohormonas en la planta han sido bien identificados, siendo fundamentales en la aclimatación de las plantas a los diversos entornos que están en un constante cambio, ya que se encargan de mediar su crecimiento, desarrollo y a la distribución de los nutrientes dentro de la planta (Fahad et al., 2015). Las fitohormonas actúan en su sitio de síntesis o en cualquier otra parte de las plantas después de su transporte (Peleg y Blumwald, 2011). Las fitohormonas incluyen auxinas (AIA, ANA, 2,4-D, Picloram), citocininas (BAP, cinetina, zeatina), ácido abscísico (ABA), etileno (ET), giberelinas (AG), ácido salicílico (SA), brasinosteroides (BR) y jasmonatos (JA). Las estrigolactonas (SL) son fitohormonas relativamente nuevas (Figura 2) (Wani et al., 2016).



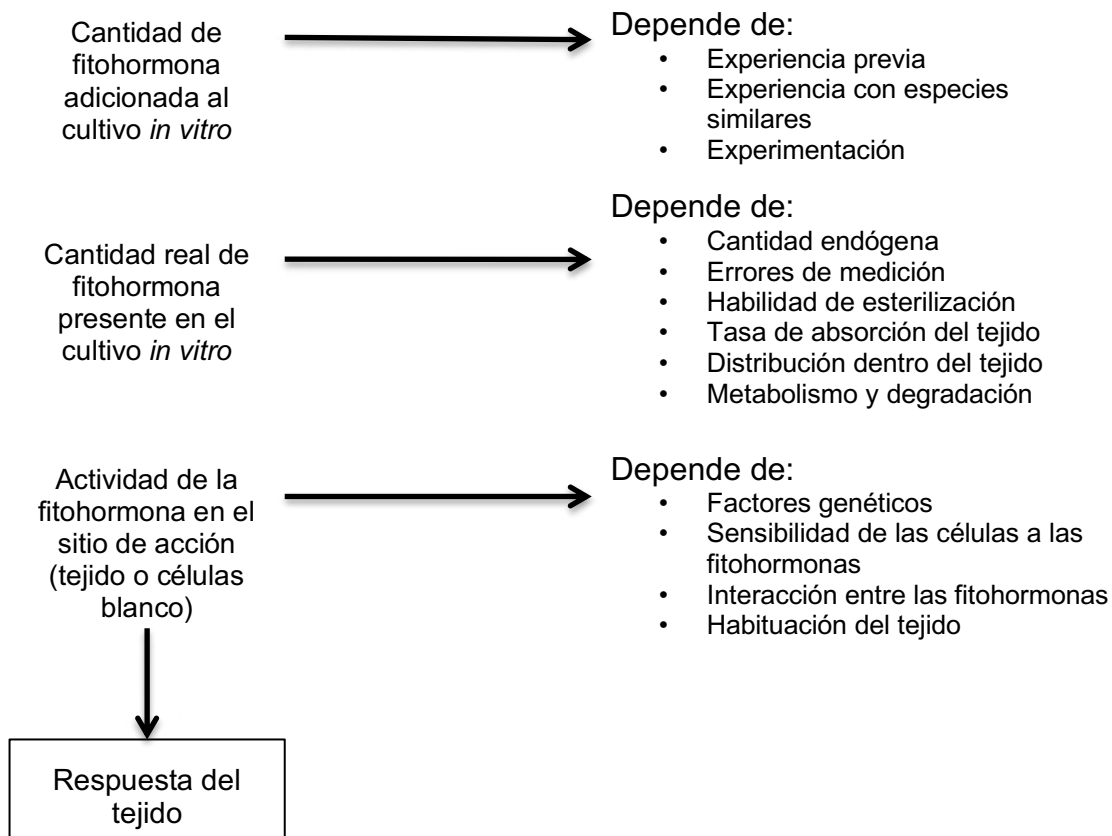
**Figura 2 Estructura química de las diferentes fitohormonas**

A través de la combinación, el manejo y las concentraciones de estos reguladores de crecimiento, en un medio de cultivo se pueden manipular hasta cierto punto los patrones de desarrollo de los tejidos vegetales y obtener diferentes respuestas

deseadas, como la formación de tejido calloso, brotes, embriones somáticos y raíces (Pérez Molphe et al., 1999). Debido a esto la correcta utilización de las fitohormonas es determinante en el éxito de un sistema de regeneración in vitro.

Al utilizar los reguladores de crecimiento o fitohormonas se deben tener en cuenta algunas consideraciones:

La respuesta de un tejido cultivado in vitro se debe a la interacción de las diferentes fitohormonas endógenas (producidas de forma natural por el tejido vegetal) y exógenas (adicionadas al medio de cultivo), debido a esto cada tejido responderá diferente a la misma concentración de fitohormonas exógenas, de acuerdo a los contenidos de fitohormonas endógenos. Además, el estado fisiológico de cada tejido, su origen y los tipos de células presentes en el mismo, afectan la respuesta a las diferentes fitohormonas. Cada uno de los tejidos tiene la capacidad de respuesta a los reguladores de crecimiento y está dada por la cantidad de receptores específicos a estos reguladores, lo que también causa una respuesta diferente de cada tipo de tejido ante un mismo tratamiento. Por lo general, las concentraciones que se utilizan de fitohormonas son mayores a las producidas por el tejido, esto debe ser considerado al intentar explicar las respuestas de un tejido in vivo mediante observaciones hechas in vitro. En la Figura 3, se pueden observar los diferentes factores que influyen en la respuesta de un tejido cultivado in vitro a la adición de las diferentes fitohormonas exógenas.



**Figura 3 Factores que influyen en la respuesta de un tejido cultivado *in vitro*, adicionando fitohormonas exógenas**

Los reguladores de crecimiento más utilizados en el cultivo de tejido *in vitro* son los pertenecientes a los grupos de auxinas y citocinas, debido a que son los que en gran medida regulan los procesos de crecimiento y desarrollo organizado en los tejidos vegetales, en algunas ocasiones también se utilizan giberelinas y ácido abscísico, pertenecientes a grupos diferentes.

#### **2.2.2.6.1 Auxinas**

El estudio de las auxinas se remonta a 100 años atrás, aun así su biosíntesis, el transporte y las vías de señalización aún no están del todo claros (Ke et al., 2015). Se han propuesto dos rutas para la biosíntesis de las auxinas: dependiente de triptófano e independiente de triptófano (Mano y Nemoto, 2011). Por lo general su síntesis se lleva a cabo en los ápices, se conoce que participan en algunos procesos que ocurren

en los tejidos vegetales como el crecimiento celular, la acidificación de la pared celular, el inicio de la división celular, la formación de tejido no diferenciados (tejido calloso), la diferenciación del tejido vascular y la formación de raíces. La auxina más común es el ácido indolacético (AIA), aunque dependiendo de la especie, edad de la planta, estación del año y condiciones de crecimiento pueden aparecer otras auxinas en los tejidos como el ácido 4-cloroindol 3-acético, el ácido indol-3 acrílico o el ácido indolbutírico (AIB). Algunos precursores de las biosíntesis de las auxinas pueden tener actividad propia como auxinas y subsistir así al AIA (Gaspar et al., 1996). El AIA y el AIB, son los que se utilizan con mayor frecuencia en el cultivo de tejidos, ya que estas se encuentran de forma natural en la planta y tienden a ser metabolizadas por el tejido; además, éstos se desnaturalizan con mayor rapidez en el medio de cultivo. Debido a esto, la disponibilidad real de estas auxinas en el medio disminuye paulatinamente, lo cual suele ser de gran utilidad para aquellos procesos que requieren de una gran cantidad de auxina sólo para la inducción inicial por ejemplo en el enraizamiento (Gaspar et al., 1996). En algunas ocasiones se utilizan compuestos sintéticos, estos son más eficientes, ya que las células vegetales carecen en la mayoría de los casos de enzimas para degradarlos, tales como ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), ácido naftalenacético (ANA), y el ácido 4-amino-3,5,6-tricloropiridin-2-carboxílico (Picloram).

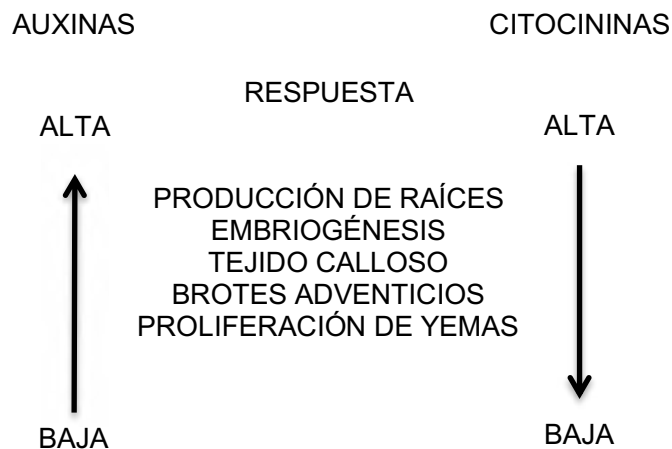
#### **2.2.2.6.2 Citocininas**

El descubrimiento de la cinetina en la en los años 50, se dio como producto de la degradación del ADN de esperma de arenque sometidas a la esterilización en autoclave. Su efecto se visualizó rápidamente en compañía de auxina, mostrando diferentes tipos de morfogénesis en tejido de tabaco y otras especies (Skoog & Miller 1965).

Estas fitohormonas influyen en muchos de los procesos de crecimiento y desarrollo de la planta y son considerados los principales reguladores (Nishiyama et al., 2011; Kang et al., 2012). Siendo derivados de la adenina, cuentan con propiedades que las hacen muy útiles en el cultivo de tejidos: estimulan la división celular y rompen la latencia de las yemas axilares haciéndolas brotar (Pérez Molphe et al., 1999). Las citocininas

producidas naturalmente por la planta, se originan a partir de DMAPP (vía del ácido mevalónico) y 5'-AMP, su síntesis se lleva a cabo principalmente en la raíz, algunas veces en el meristemo apical y en semillas inmaduras (Kakimoto 2003). A las citocininas artificiales se les ha ligado a diversas moléculas, tales como la benciladenina o bencilaminopurina (BAP) o la furfurilaminopurina (cinetina). Posteriormente se sintetizaron otro tipo totalmente diferente de estructura sin adenina. Estos reguladores sintéticos (BAP, kinetina o TDZ), suelen tener mayor potencial que las producidas de manera natural o endógenas (zeatina, trans-zeatina o isopentiladenina), debido no sólo a sus particularidades específicas, si no que no pueden ser degradadas o metabolizadas por el tejido.

Con respecto a sus efectos fisiológicos, las citocininas promueven la división celular, ya que estimulan la progresión del ciclo celular. En la fase G1, estas hormonas más las auxinas, inducen la acumulación de ciclinas lo que promueve un nuevo ciclo (Smith y Atkins, 2002). Estas hormonas provocan la iniciación de brotes, organogénesis y androgénesis, debido a que causan una dominancia apical reducida o nula, con brotación y crecimiento de yemas axilares (Howell et al., 2003). Siendo claves para la formación de *novo* de brotes en diversos explantes in vitro (hojas, raíces, hipocótilos, cotiledones).



**Figura 4** Respuesta a las concentraciones auxinas vs citocininas

Gran parte de las respuestas de totipotencia celular vegetal, de morfogénesis in vitro y de regeneración de plantas, ocurre en presencia de niveles adecuados de las citocininas y auxinas (Coenen y Lomax, 1977). En la Figura 4, se muestran las respuestas de acuerdo a la relación del contenido de citocininas/auxinas; sin embargo, estas respuestas pueden variar dependiendo del tejido y la especie.

### **2.2.2.6.3 Giberelinas**

El descubrimiento del ácido giberélico o giberelinas se remonta a los años 30, cuando científicos japoneses lograron aislar una sustancia que promovía el crecimiento a partir de hongos que parasitaban las plantas de arroz causando la enfermedad “bakanae”. Este compuesto fue aislado del hongo *Gibberella fujikuroi* por el investigador Eichi Kurosawa en 1926, por eso el nombre de “giberelina” (Tamura, 1990; Malonek et al., 2005). Durante la segunda guerra mundial se encontraron varios compuestos con estructuras similares en las plantas que derivaban en una secuencia de síntesis a partir de isopreno, denominado ciclo de los terpenoides, esta ruta también es precursora de otras hormonas.

La síntesis de GAs se lleva a cabo en varias partes de la planta, sin contar las semillas de cereales. En las plántulas, en las hojas y en las yemas en activo crecimiento, la concentración de esta hormona es elevada, mientras que en plantas adultas los niveles altos de GAs se registran en los frutos y en menor cantidad en las raíces (Thomas et al., 1999). Con respecto a su utilización en el cultivo de tejidos, el ácido giberélico en algunos casos es de utilidad para la elongación de estructuras como brotes, para acelerar la brotación en ciertos tipos de yemas y meristemos, y para promover la germinación.

### **2.2.3 Respuestas morfogenéticas**

Se le llama morfogénesis a los cambios en la forma de un tejido que suceden como resultado de los cambios estructurales y/o de organización de las células, durante el desarrollo de un organismo. Esto se debe a la totipotencia de las células vegetales que permite la inducción de estructuras y órganos de *novo*. Por consiguiente la

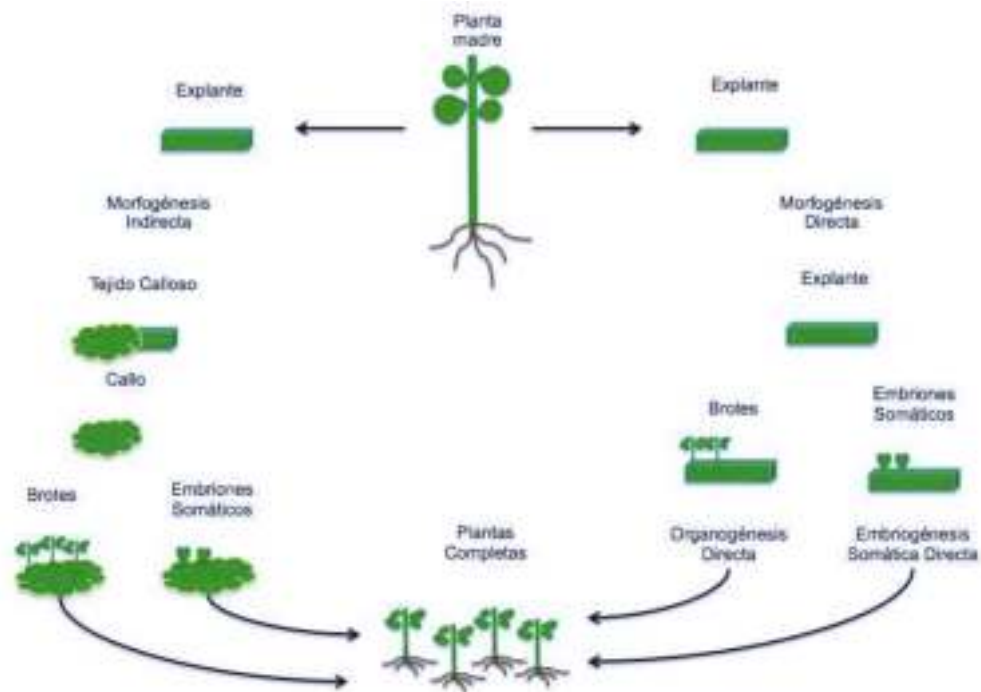


morfogénesis *in vitro* consiste en obtener órganos o embriones a partir de un explante (Villarreal, 2015).

La embriogénesis somática y la organogénesis son dos procesos morfogenéticos, muy utilizados en el cultivo de tejidos vegetales *in vitro*. En resumen, la embriogénesis somática es el proceso por el cual se obtiene una estructura similar a un embrión cigótico sin la fertilización de los gametos, mientras que por organogénesis se pueden obtener tallos, raíces o flores (Radice, 2010). La regeneración comprende diferentes fases que ocurren de forma similar para los diferentes tipos de morfogénesis, y a estas fases se les denomina como adquisición de la competencia; fase de inducción y fase de realización (De Klerk *et al.*, 1997).

Durante la primera fase, las células no responden al estímulo organogénico, pero adquieren esa capacidad durante una fase de desdiferenciación. En la segunda fase o fase de inducción, las células se encuentran receptivas al estímulo morfogenético y hay una relación directa con la concentración, tipo y combinación de las fitohormonas en el medio de cultivo y la respuesta a desarrollar. En la última fase o fase de realización, la célula sufre las sucesivas divisiones para formar el órgano determinado (Radice, 2010).

Hicks en 1980 propuso dos términos, la morfogénesis directa y la morfogénesis indirecta. Partiendo de un explante y en condiciones adecuadas, pueden formarse nuevos órganos de manera directa, estos pueden ser brotes, raíces o flores; a esto se le denomina organogénesis directa. Si se induce la formación de embriones somáticos, a este proceso se le denomina embriogénesis directa. Por el contrario, si la siembra de un explante *in vitro* da como resultado a la proliferación desordenada de células y sin ninguna función predeterminada, se iniciará la producción de callos o suspensiones celulares. Sí a partir de estas células sin diferenciar se observa la formación de órganos, se le denominará morfogénesis indirecta, estará condicionada a la previa formación de los meristemoides (Figura 5).



**Figura 5 Diferentes respuestas de la morfogénesis en los explantes**

### 2.2.3.1 Embriogénesis somática

Se le conoce como embriones somáticos, asexuales o adventicios a aquellos originados a partir de células que no son producto de la fusión de gametos (Tisserat et al., 1979). Estas estructuras no se consideran órganos ya que no tienen conexión vascular con el tejido materno, son bipolares y son capaces de crecer y formar plantas normales (Litz y Jarret, 1991)

La formación de embriones adventicios ocurre in vivo, partiendo de las nucelas en algunas especies de ciertos géneros de plantas (*Citrus* spp., *Mangifera indica*, *Eugenia* spp., etc.). En algunas ocasiones también se origina de las sinérgidas (Cooper, 1943), del suspensor (Crete, 1938) y de otros tejidos que se encuentran dentro del ovario como el endospermo (Muniyamma, 1977), las antípodas, o el cigoto (Cameron y Garber, 1968).

En algunos casos, los embriones somáticos poseen una similitud con los embriones cigóticos; sin embargo, in vivo como in vitro pueden ocurrir algunas anomalías en el desarrollo, como la fasciación y la fusión de los cotiledones (Litz y Jarret, 1991).

Las células que pueden dar origen a los proembriones, poseen un alto contenido de almidón y su vacuola es de un tamaño pequeño (Halperin, 1970).

El regulador de crecimiento necesario para la iniciación de un callo embriogénico es la auxina, comúnmente se utiliza el 2,4-D. Esta auxina provee un estímulo hacia la inducción de la embriogénesis somática en el callo. Sin embargo, el 2,4-D no se requiere para la maduración de los embriones y la germinación (Halperin et al., 1964); por este motivo es necesario remover la auxina del medio o utilizarla en dosis menores. Tanto la inducción de la embriogénesis somática como el desarrollo de los estados subsiguientes de los embriones son dependientes de la presencia de nitrógeno reducido (Halperin et al., 1965; Halperin, 1966; Ammirato et al., 1971).

Existen diferentes explicaciones sobre la naturaleza de la diferenciación que da lugar a la embriogénesis somática. Por una parte, se cree que un explante posee ciertas células que están precondicionadas para los eventos morfogénicos que llevan a la embriogénesis (Thorpe, 1980; Tisserat et al., 1979). Es por ello que los reguladores de crecimiento, en este caso el 2,4-D, no solo inician el desarrollo de los embriones somáticos, sino que también estimula la multiplicación clonal de las células predeterminadas. Por otro lado, se cree que la embriogénesis puede derivarse también de tipos diferenciados de células por medio de la predeterminación; este patrón de desarrollo induce la embriogénesis en determinadas células, y se basa en la suposición de que ciertas células que conducen a la embriogénesis somática han sido reprogramadas in vitro (Evan et al., 1981).

En la embriogénesis, los embriones somáticos pasan por una serie de estadios intermedios denominados globular, de corazón y de torpedo, estos estadios son similares a los que ocurren en la embriogénesis cigótica (Radice, 2004). A la última etapa se le conoce como la germinación, que consiste en la elongación y reactivación metabólica del embrión somático que madura para convertirse en plántula (Vits et al., 1994).

### **2.2.3.2 Organogénesis**

A diferencia con la embriogénesis somática, la organogénesis se refiere al desarrollo de yemas o de meristemos radicales, partiendo de explantes directamente o a partir de callos (Litz y Jarret, 1991).

En el año 1939 se hicieron las primeras observaciones sobre la formación de raíces adventicias por White (cita) y de raíces principales por Nobecourt (cita). En cultivo de tejidos, Skoog en 1944 (cita) demostró el efecto estimulante de las auxinas en la formación de raíces y su efecto inhibitor en la formación de yemas o brotes. También el estímulo de formación de raíces adventicias se puede ver modificado aumentando las concentraciones de sacarosa o de fosfato inorgánico. Skoog et al. (1948) demostraron que el sulfato de adenina promueve el desarrollo de brotes, esto abrió la posibilidad de la formación de órganos in vitro. Tres años más tarde se comprobó que la organogénesis dependía de las concentraciones de los constituyentes en el medio. El descubrimiento de la cinetina condujo a un estudio donde se demostró que las proporciones de auxina/citocinina eran de suma importancia en la determinación de la respuesta morfogénica in vitro (Skoog et al., 1957). También la adición al medio de compuestos como la caseína hidrolizada (CH) modificaban la actividad reguladora de las proporciones de auxina/citocinina. Esto llevó a la conclusión de que el balance de algunos factores afectaría el proceso de diferenciación y se consideraba como la base para el desarrollo de un medio definido para inducir la organogénesis in vitro (Litz y Jarret, 1991).

Varias partes de una planta pueden responder diferente a idénticas condiciones de cultivo, y tales diferencias reflejan el estado fisiológico de la fuente del explante (Tran Thanh Van, 1980). El estado fisiológico determinará además los factores exógenos que se deban añadir o que deban sustraerse de él, para poder inducir la respuesta morfogénica requerida. Los factores endógenos podrán variar cuantitativamente de acuerdo con las condiciones ambientales, el genotipo, el tipo de célula y otros aspectos.

Debido a la gran complejidad de las interacciones entre un gran número de variables que pueden afectar la respuesta de un explante, las influencias del medio ambiente y los efectos del tejido no se pueden examinar individualmente.

Para que la organogénesis ocurra a partir de un callo, se deben producir ciertos cambios que conduzcan a la organización celular (diferenciación celular, interacción celular y reacción a señales específicas (Thorpe, 1980). La organogénesis de novo en el cultivo de tejidos hace referencia a la diferenciación dentro de un explante.

La capacidad morfogenética de algunos tejidos puede no ser notada, debido a la asociación de éstos con tejidos diferenciados que están dentro de un sistema organizado (Chlyah, 1974). La organogénesis a partir de callos subcultivados no ocurre en asociación con las estructuras preexistentes.

Las divisiones al azar de las células pueden dar como resultado la formación de hileras radicales del tejido; las regiones de mayor división celular forman “meristemoides” que hacen que el callo tenga una apariencia nodular (Thorpe, 1980). Algunas zonas de división celular resultan de la capacidad de las células que se están dividiendo constantemente, las que a su vez estimulan la división en las células adyacentes; éstas toman los nutrientes y metabolitos de las células periféricas, limitando la potencialidad divisoria de estas últimas (Street, 1976). Los meristemoides (regiones de células en división activa) se componen de células de un tamaño pequeño, isodiamétricas, con un citoplasma denso, vacuolas pequeñas y núcleos prominentes; que usualmente contienen varios orgánulos (Asbell, 1977) y grandes cantidades de almidón (Thorpe, 1983), del que se requiere en una gran cantidad durante la diferenciación (Thorpe et al., 1970).

Los meristemoides en su gran mayoría se asemejan a meristemas verdaderos y poseen conexiones vasculares con el callo o el tejido circundante. En las condiciones adecuadas de cultivo pueden dar origen a brotes o raíces primarias (Bonnett et al., 1966); esta plasticidad fue observada también por Skoog et al. (1957). Las cantidades internas de los reguladores de crecimiento y los efectos del tejido dentro de un callo, pueden afectar en gran medida el desarrollo (Ross et al., 1973). Las concentraciones de 0.05-46  $\mu$ M de citocininas, cinetina o BAP, han resultado efectivas en el 75% de las

especies para formar brotes partiendo de callos (Evans et al., 1981); mientras que en el caso de las auxinas (AIA y ANA) han resultado efectivas en concentraciones de 0.06-27  $\mu\text{M}$ .

#### **2.2.4 Factores que afectan la organogénesis**

Se conocen ciertos factores que deben ser considerados para obtener una manipulación exitosa de la organogénesis, los cuales están relacionados con el explante (su edad fisiológica y ontogénica, su tamaño, el tejido u órgano del que es extraído) así como el estado fisiológico de la planta madre y la época del año en que se realiza el cultivo.

##### **2.2.4.1 Tipo de explante**

De acuerdo al concepto de totipotencia, cualquier parte de la planta puede ser usado como explante para la iniciación de callo (Flick et al., 1983; Murashige, 1974; Evans et al., 1981). Sin embargo, es bien conocido que los tejidos más jóvenes poseen un alto grado de actividad meristemática y tienden a tener mayor plasticidad *in vitro*.

Algunos de los explantes utilizados con éxito incluyen ramas en floración (Tran Thanh Van et al., 1978), pedúnculos florales (Pelletier et al., 1969), embriones inmaduros (Bajaj et al., 1981) meristemos (Bush et al., 1976), epicótilos (Malmberg, 1979), yemas florales (Konar et al., 1966), etc.

Se puede considerar la variación en la respuesta de ciertos explantes pertenecientes a la misma especie vegetal (Flick et al., 1983; Murashige, 1974). También puede existir variación entre los requerimientos de los reguladores de crecimiento para la organogénesis, dependiendo del tipo de tejido usado como explante (Liz et al., 1983). Por eso es de gran importancia conocer los explantes con potencial morfogenético.

El tamaño del explante también puede afectar la respuesta *in vitro* (Okazawa et al., 1967; Gukasyan et al., 1977). La desventaja de los explantes de mayor tamaño es su manipulación, debido a que son más difíciles de esterilizar que los de menor tamaño; sin embargo, la viabilidad y la capacidad regenerativa de explantes muy pequeños tienden a ser baja. También se ha utilizado de manera exitosa capas delgadas de células con el fin de estudiar los efectos de factores exógenos y endógenos sobre la

morfogénesis cuando no hay influencia de tejidos circundantes (Tran Thanh Van, 1980). Además, los explantes de menor tamaño pueden sufrir fácilmente daños mecánicos en la manipulación.

El potencial organogénico de un explante es inversamente proporcional a su edad fisiológica (Alleweldt et al., 1962). Partiendo de secciones de tallo cercanas a los ápices caulinares se puede producir mayor cantidad de meristemoides que a partir de la parte baja del tallo. Se demostró con discos de hojas de *Echeverria elegans*, que los tejidos inmaduros, los parcialmente maduros y los maduros producían raíces, raíces o brotes y brotes respectivamente (Raju et al. 1970). Murashige (1974), encontró que el estado de la planta madre y la estación del año en la cual se extrae el explante puede afectar notablemente el potencial organogénico.

#### **2.2.4.2 Elección del medio de cultivo**

Los medios usados más frecuente para promover la organogénesis son los de Murashige et al. (1962), White (1963), Gamborg et al. (1968), Linsmaier et al. (1965), Schenk et al. (1972) y Heller (1953) y el medio Cambell y Durzan (1975) para estudios con gimnospermas.

Como fuente de carbono se usa la sacarosa, en algunas ocasiones es sustituida por glucosa o fructosa. La concentración puede influir en la coloración del callo (Narayanaswamy, 1977), también la proporción auxina/citocinina, favoreciendo la formación de brotes (Zwagerman et al., 1979); la sacarosa estimula la formación de callos (Takayama et al., 1979) y cambia la textura de los mismos.

La concentración de carbohidratos afecta el potencial osmótico del medio, por eso es que en algunos casos puede ser sustituida por sorbitol en el medio para la formación de callos en la familia Rosaceae (Coffin et al., 1976). Así también una tercera parte de la sacarosa en el medio mantiene el potencial osmótico requerido para la formación de callos en tabaco (Brown et al., 1979). El manitol sustituye a la sacarosa en el medio sin causar pérdidas en la capacidad de formación de brotes.

En el medio de cultivo se incluyen ciertas vitaminas, la tiamina es esencial para el crecimiento continuo (Murashige, 1974). El inositol es considerado un componente

esencial para el crecimiento y la diferenciación de los callos (Wolter et al., 1966; Kaul et al., 1975). En el caso de la utilización de explantes muy pequeños o para cultivo de células en bajas densidades puede ser útil adicionar mezclas de vitaminas (Gamborg et al., 1981), como el ácido paraaminobenzoico, ácido fólico, cloruro de colina, riboflavina o ácido ascórbico, que pueden estimular el crecimiento.

El nitrógeno orgánico, en algunas ocasiones es benéfico para la iniciación y crecimiento de los callos (Gamborg et al., 1981). Entre los aminoácidos, únicamente son activos los isómeros -L; la presencia los isómeros -D, pueden contrarrestar los efectos benéficos de las primeras si los aminoácidos se usan como mezcla racémica (Murashige, 1974). Para el tabaco, la tirosina como la fenilalanina estimula la organogénesis en callos (Skoog et al., 1957). Los fenoles sustituidos y los alcaloides pueden afectar la respuesta de la organogénesis. Los fenoles monohidroxidos sustituidos en las posiciones de 2 ó 4 estimulan la formación de brotes (Lee et al., 1965). Los ácidos fenólicos como el paracumárico, el ferúlico y el vainílico estimulan la formación de raíces en explantes de algunas especies como la alcachofa de Jerusalén (Rucker et al., 1969). Estas sustancias pueden reaccionar con los niveles endógenos de los reguladores de crecimiento, alterando las proporciones de auxina y de citocinina. El carbón activado ha sido efectivo para remover del medio los compuestos fenólicos inhibidores (Fridborg et al., 1978).

#### **2.2.4.3 Reguladores de crecimiento**

Un medio para que la proliferación de callos sea rápida puede requerir una composición ligeramente diferente de la que se usa para la inducción de los mismos. La diferenciación de brotes se logra subcultivando los callos en un medio que tenga alta relación citocinina/auxina; en cambio para la diferenciación de raíces se requieren medios con una relación citocinina/auxina baja. En medios con citocinina, algunas veces ocurre la organogénesis directamente del explante (Flick et al., 1983). El uso de auxina o citocinina ha sido efectivo para estimular la formación de brotes en explantes de Douglas Fir (Cheng, 1975); la formación de brotes en explantes puede también ser estimulada en presencia de la auxina solamente (Sastri, 1963). Las antiauxinas se han



usado para inducir organogénesis. Estas respuestas *in vitro* suelen ser variables, debido, probablemente, a los distintos niveles endógenos de fitohormonas en el momento de la organogénesis.

Las giberelinas en algunas ocasiones tienen un papel importante en la organogénesis (Murashige, 1964; Thorpe et al., 1973), aunque por lo general inhibe la diferenciación, algunas veces estimulan la formación de brotes (Jarret et al., 1981). En presencia de los precursores de AIA (trptófano desaminado oxidativamente) el ácido giberélico, puede inducir la formación de raíces adventicias a partir de explantes de hojas (Coleman et al., 1977; Thorpe, 1980).

#### **2.2.4.4 Otros factores**

La luz es un factor crítico para la iniciación de brotes en tabaco (Murashige et al., 1968); esto puede deberse a que incrementa la acumulación de almidón en los tejidos cultivados, lo cual es necesario para la formación de primordios de vástagos (Thorpe et al., 1970). En *Heloniopsis orientalis* se puede observar la formación de brotes a partir de callos, esto se regula por medio de las concentraciones de los reguladores de crecimiento y también por medio de la actividad fotosintética. (Kato, 1978). Los reguladores de crecimiento endógenos pueden verse afectados por el fotoperíodo (Heide et al., 1967). Un fotoperíodo de 12-16 h con 1000-3000 lux es suficiente para la inducción de organogénesis; sin embargo, un cambio en la intensidad lumínica puede causar organogénesis, y pueden ocurrir cambios morfológicos específicos debido a la longitud de onda de la iluminación (Hasegawa et al., 1973). Una mezcla de los colores rojo y azul afecta la formación de vástagos en *Heloniopsis orientalis*, aunque la luz verde no afecta esta respuesta (Kato, 1978).

Se dice que la temperatura ideal para el cultivo de tejidos es por lo general de 25 °C (Thorpe, 1980), aunque se ha comprobado que las temperaturas entre 18 y 18 °C también son buenas. En algunos casos como en los tubérculos *Helianthus tuberosus*, las fluctuaciones de las temperaturas entre el día y la noche pueden inducir a la organogénesis (Gautheret, 1969). Para otras especies como la *Begonia x Cheimantha*,

las temperaturas bajas producen mayor número de brotes que cuando se mantiene a temperatura ambiente (Fonnesbech, 1974).

Las interacciones de la temperatura con algunos reguladores de crecimiento puede variar la respuesta del explante (Cheng et al., 1977). En el caso de la lechuga, si los explantes están a una temperatura de 17 °C producen brotes solo si el medio de cultivo contiene cinetina, pero si la temperatura aumenta 10 °C aproximadamente, los brotes se producen aunque la cinetina no se encuentre en el medio.

En cuanto al medio, algunos estudios sobre organogénesis se han hecho en medios semisólidos de 0.3 a 1.0 % de agar. Lo que puede llegar a tener una gran influencia en las respuestas morfogénicas; se cree que las concentraciones altas de agar crean un ambiente de estrés para el explante, lo que puede reducir la formación de meristemoides (Brown et al., 1979); pero este ambiente de estrés puede llegar a estimular la producción de brotes foliares y florales (Mangara et al., 1967).

Otros factores que puede afectar la organogénesis son el pH del medio de cultivo, la polaridad del explante, la humedad relativa y la fase gaseosa del medio de cultivo.

#### **2.2.4.4.1 Nitrato de Plata**

Durante los últimos años, las investigaciones realizadas sobre la regulación del etileno han abierto nuevas perspectivas con relación al estudio en el área de cultivo de tejidos, en estos casos se ha demostrado que el nitrato de plata es un inhibidor eficiente de la acción del etileno, por lo que se usa ampliamente en el cultivo de tejidos vegetales (Kumar et al. 2009). Las respuestas mediadas por iones de plata parecen estar implicadas en poliaminas, etileno y vías mediadas por calcio, y juegan un papel crucial en la regulación del proceso fisiológico que incluye la morfogénesis.

Los iones de plata pueden generar insensibilidad al etileno en las plantas (Zhao et al. 2002). Se cree que las mutaciones insensibles al etileno (Hall et al., 1999) y los iones de plata perturban los sitios de unión al etileno (Rodriguez et al., 1999). Ya que el receptor de etileno (ETR1), contiene un sitio de unión al etileno al formarse el homodímero y dicha unión está mediada por un único ion de cobre presente en el sitio de unión al etileno. La sustitución del cofactor de cobre por el de plata también sirve

para bloquear al receptor de tal manera que reprime de forma constante las respuestas al etileno (Zhao et al., 2002). Además de fungir como inhibidor del etileno, se ha encontrado al AgNO<sub>3</sub> como una herramienta importante en el cultivo de tejidos vegetales, ya que se le atribuyen diferentes beneficios, como promover la formación de brotes múltiples en diferentes plantas, la formación y maduración de embriones somáticos, el alargamiento de raíz y brotes, la androgénesis, y la inducción de floración entre otras (Kumar et al. 2009).

### **2.3 Regeneración *in vitro* de *Capsicum annuum* L. antecedentes**

Varios estudios realizados han mostrado diversos problemas con la regeneración *in vitro* de *Capsicum*; no se ha obtenido tanto éxito como el de otras hortalizas, debido principalmente a su origen recalcitrante tales como la morfogenética, la formación de brotes mal definidos y la dependencia genotípica (Díaz et al., 1988). La recalcitrancia se refiere a la incapacidad de las células, tejidos y órganos de las plantas de responder al cultivo *in vitro* (Benson, 2000); la baja frecuencia de diferenciación, la dificultad en la elongación de los brotes y la baja repetitividad, son de los principales inconvenientes para el desarrollo de la ingeniería genética del cultivo *Capsicum annuum* L. (Tata et al., 2016). La mal formación de brotes es uno más de los factores limitantes para la regeneración, estos brotes no son capaces de alargarse o se resisten a la elongación. Con respecto a este problema se han intentado varias incursiones. Por otro lado, Arroyo y Revilla (1991) obtuvieron raíces directas de brotes y se logró la elongación. También se ha intentado usar adyuvantes de crecimiento como el AgNO<sub>3</sub> (Hyde y Phillips, 1996), ácido fenilacético (Husain et al., 199) y lactona 24-epibrassinolida (Franck-Duchenne et al., 1998) para superar el problema de la elongación de brotes y yemas.

Otro factor muy importante que influye en la regeneración, es la dependencia genotípica, la cual representa un importante factor que limita el cultivo de tejidos de *Capsicum*. Debido a que no se puede estandarizar un protocolo universal para este género, en la mayoría de los casos, estos procedimientos fallaron o tuvieron que

modificarse cuando se usaron para regenerar plantas de otras variedades de Chile en otros laboratorios, debido a la fuerte influencia del genotipo de Chile.

Para la regeneración de este cultivo se ha utilizado principalmente protoplastos, hipocotilo, cotiledón, hoja joven, embriogénesis somática y organogénesis a partir de brotes, utilizando como medio basal MS adicionado con algunos reguladores de crecimiento (Díaz et al., 1988). Las raíces como los cotiledones en plántulas jóvenes, son activos productores de reguladores de crecimiento (Hicks, 1994) por lo que en la mayoría de los casos las técnicas de regeneración dependen del uso adecuado a la cantidad de fitohormonas presentes para cada una de las situaciones.

Guany y Rao (1978) describen la regeneración de *Capsicum annum* L. a partir de explantes de hipocótilos y cotiledones; por otro lado, Fari y Czako (1982) informaron sobre la regeneración a partir de hipocótilo con siete variedades de *C. annum* L. y de un híbrido de *C. annum* y *C. chinense*. Agrawal et al. (1983) regeneraron embriones somáticos en *C. annum* var. Mathania. Fari et al., (1984) lograron regenerar 50 cultivares usando brotes apicales de 50 cultivares entre ellos ocho especies de *Capsicum* L. Phillips y Hubstenberger (1985) obtuvieron plantas partiendo de explantes de hipocotilo, cotiledón, nodo y brote apical, y a partir de algunos cultivares de *Capsicum annum* L., registraron también la regeneración de brotes y raíces a partir de explantes de plántulas de 3-4 semanas de edad. Christopher et al. (1986) informaron sobre la regeneración utilizando cotiledón de embrión maduro de *C. frutescens* y *C. annum*. Subhash; y Prolaram et al., (1987) reportaron múltiples brotes de explantes cotiledones de *Capsicum annum* var. 960, tratados con rayos gamma. Subhash y Christopher (1988) informaron la regeneración directamente de explantes de cotiledón de *C. frutescens*. Agrawal et al. (1989) reportaron diferenciación de brotes a partir de explantes de raíz, punta de brote, hoja, tallo, hipocótilo y cotiledón de *C. annum* var. Mathania. Sun y Wang (1989), trabajando con las accesiones de cuatro especies *C. annum*, *C. frutescens*, *C. pratermissum* y *C. baccatum* observaron la formación de brotes axilares.

Fari et al. (1990) regeneraron brotes in vitro de explantes de cotiledón de siete cultivares de Chile. Arroyo y Revilla (1991) describieron la formación de brotes a partir

de los explantes de cotiledón e hipocótilo de los cultivares Pico y Piquillo de *C. annuum*. Fortunato y Tudisco (1991) informaron una respuesta invariable diferencial de los cultivos de brote pical, cotiledón y primera hoja de cuatro variedades de *C. annuum*. Arroyo y Revilla (1991) informaron sobre la regeneración de plantas a partir de explantes de cotiledón e hipocótilo en dos cultivares de pimiento de *C. annuum* empleando explantes de hipocótilo, cotiledón y raíz. Ebida y Hu (1993) observaron la formación de múltiples brotes de las superficies cortadas de cotiledón, brote apical y explantes hipocótilo de *C. annuum* var. California Wonder. Por otro lado, Ezura et al. (1993) reportaron brotes adventicios de superficies cortadas de hipocótilos de 14 cultivares de *C. annuum*. Empleando explantes de cotiledón Cao y Jia (1993) obtuvieron regeneración de plantas en ocho cultivares de *C. annuum*, concluyendo que la edad de la plántula era un factor importante para la regeneración exitosa de plántulas. Zhou et al. (1994) demostraron una rápida regeneración de la planta partiendo de los explantes cotiledonarios de ocho cultivares de *C. annuum*. Sen-Hualin et al. (1994) encontraron que sólo cinco de los 25 cultivares de *C. annuum* estudiados por ellos poseían una alta capacidad de regeneración a partir de explantes de cotiledón. Christopher y Rajam (1994) informaron de la proliferación de brotes a partir de explantes de brote apical de *C. partermisum* y *C. annuum* L.

Szasz et al. (1995) obtuvieron regeneración de brotes a partir de explantes de hipocótilo arraigado y cotiledones de dos de los siete genotipos italianos y húngaros de *C. annuum*. Binzel et al. (1996) reportaron embriogénesis somática directa del ápice del embrión zigótico, eje del embrión y cotiledones de *C. annuum* var. Nuevo México 6 y Rajur hirapur.

Singh y Shukla (2001) informaron de la diferenciación in vitro de hipocótilo, hoja, segmento nodal y explantes punta de brote de pimiento rojo (*C. annuum* var. *Accuminatum*). Dabauza y Peña (2001) informaron organogénesis de nódulos, hipocótilo, cotiledón, brote apical y segmentos de hoja de pimiento dulce. Amzad Hossain (pon solo el apellido) et al. (2003) observaron las variaciones morfológicas y genéticas somaclonales en cuatro cultivares de *C. annuum* derivados de explantes nodales. Dongzhaolong et al. (2003) obtuvieron regeneración in vitro a partir de

explantes de cotiledón e hipocótilo de pimiento rojo. Anil Kumar (pon solo el apellido) y Ashalatha (2004) reportaron múltiples inducciones de explantes de brotes apicales de *C. annum* var. Maravilla de California. Ahmed et al. (2006) reportaron múltiples inducciones de brotes de explantes nodales escindidos de plántulas asépticas de un mes de pimiento rojo (*C. annum* var. Pusa Jwala). Khan et al. (2006) reportaron embriogénesis somática directa y regeneración de plantas de segmentos de tallo y explantes de brotes apicales de *C. annum*. Sanatombi y Jitendra Sharma (pon solo el apellido) (2006) informaron sobre la regeneración in vitro y la multiplicación en masa de dos cultivares de *C. annum*, Meiteimorok y Haomorok, a partir de brotes apicales y de los explantes de los brotes axilares. Ashrafuzzaman et al. (2009) reportaron el potencial de regeneración de los explantes de hipocótilo, cotiledón y brote apical en *Capsicum annum* L. Kumar y Tata (2010) observaron una diferenciación directa de brotes de explantes de hipocótilo de *Capsicum annum* var. X - 235. Akram et al. (2011) obtuvieron el potencial morfogénico de los explantes de semillas, tallos y brotes apicales en tres variedades de *Capsicum annum* L. Otroshy et al. (2011) observaron el efecto de las citocininas sobre la propagación in vitro partiendo de explantes nodales de *Capsicum annum* L. Kumar et al. (2012) informaron la inducción adventicia directa de brotes en pimiento (*Capsicum annum* L.) var. X - 235. Grozeva et al. (2012) demostraron el efecto de nitrato de plata en explantes de hipocótilo y cotiledón de cuatro variedades de pimiento dulce. Robinson y Maheswari (2013) estudiaron la inducción de brotes in vitro a partir de explantes nodales de *Capsicum annum* var. Kandhari. Verma et al., (2013) observaron la regeneración in vitro a partir de explantes de cotiledón de pimiento (*Capsicum annum* var. California Wonder). Alizah y Zamri (2013) identificaron la influencia del genotipo en la regeneración de explantes de hipocótilo y cotiledón de las variedades de chile pimienta CB4 y MC11. Orlińska y Nowaczyk (2015) estudiaron la regeneración in vitro de hipocótilo, cotiledón, punta de brote de cuatro especies diferentes de *Capsicum*. Grozeva y Todorova (2015) obtuvieron la regeneración de los brotes de explantes de hipocótilo y cotiledón de dos variedades de chiles. En la Tabla 1 se muestran los trabajos revisados de regeneración in vitro de *Capsicum* spp, donde se puede apreciar el año y el autor del trabajo, las

concentraciones de las diferentes fitohormonas que les dieron el mejor resultado, el explante, tipo de chile con el que trabajaron, la utilización de AgNO<sub>3</sub> y la regeneración que obtuvieron.

Tabla 2 Revisión bibliográfica para la inducción de brotes en la especie *Capsicum annum* L.

Año	Autor	Medio	Fitohormonas [ mg/L ]	Explante	Tipo chile	AgNO3 [mg/L]
1989	Agrawal	ms	5.0 BAP	hipocotilos, cotiledones	pimenton	NI
1992	Valera-Montero	ms	5.0 BAP+ 0.3 IAA	hipocotilos	serrano	1.7
1994	Gatz	ms	15.0 BAP +1.0 IAA	cotiledones	pimiento	NI
1996	Binzel	ms	2.0 2,4-D; coconut water (10%)	ejes embrionarios	poblano	NI
1996	Hyde	ms	2.0 BAP + 0.5 IAA	cotiledones	casabel	5.0
1996	Zhu	ms	8.0 BAP+2.0 IAA	cotiledones	sweet pepper	NI
1996	Christopher	ms	5.0 BAP	hoja	sweet pepper	NI
2001	Pozueta-Romero	ms	no indica	cotiledones	pimiento	NI
2001	Arous	ms	5.0 BAP+ 1.0 NAA	hipocotilos	Tunisian pepper	NI
2002	Shivegowda	ms	1.0 TDZ	cotiledones	chilli pepper	NI
2002	Borychowski	ms	5.0 BAP+ 1.0 IAA	hipocotilos	sweet pepper	NI
2002	Gatz	ms	10 BAP+ 1.3 IAA	nudos cotiledonares	bell pepper	NI
2003	Li	ms/gm	5.0 BAP+ 1.0 IAA	cotiledones	annum	10
2003	Venkataiah	ms	1.0-3.0 TDZ (induccin)+ BAP 0.05 Y IAA 0.05(elongación)	cotiledones	hot pepper	NI
2005	Kumar	ms	6 BAP+ 0.5 IAA	descapitated seedling	pimenton	1.7
2005	Delis	ms	5.0 BAP + 1.0 IAA	hipocotilos	sweet pepper	NI
2006	Ahmad	ms	0.2 TDZ	segmentos nodales	red pepper	NI
2006	Mok	ms	3.0 BAP + 0.3 IAA (2 weeks) 2.0 BAP and 0.15 IAA (subcultures)	hipocotilos	chilli pepper	NI
2007	Kyung	ms	2 zeatin+ 0.2 IAA	cotiledones	hot pepper	NI
2009	valadez-bustos	ms	5.0 BAP + 0.3 IAA	hipocotilos	don pancho	2
2010	Song	ms	2.0 TDZ + 0.1 NAA	cotiledones	pimenton	NI
2011	Subramanyam	ms	5.0 BAP+ 1.0 IAA,	discos de hoja	bell pepper	4.0
2012	Grozeva	ms	3.0 BAP+ 0.3 GA,	cotiledones	morrón	0.2
2012	Kumar	ms	2.0, 3.0,4.0 BAP	hipocotilos, cotiledones	pimiento rojo	NI
2013	Rizwan	ms	10 BAP+1 IAA	hipocotilos	pimenton	NI
2013	Verma	ms	6.0 BAP + 0.3 IAA	cotiledones	pimiento	NI
2014	Swamy	ms	2.0 BAP+0.5 IAA.	cotiledones	pimiento	NI
2015	Grozeva	ms	3.0 BAP+ 0.3 IAA+ 0.3 GA3	cotiledones, hipocotilos	pimiento	0.2
2015	Orlinska	ms	6.0 BAP + 0.4 IAA	cotiledones e hipocotilos	jalapeño	1.7



### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del desarrollo del experimento

El desarrollo de este proyecto se realizó en el laboratorio de posgrado del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque, localizado en la Carretera Celaya – Juventino Rosas Km. 8, 38110 Celaya, Guanajuato.



Figura 6 Ubicación del Instituto Tecnológico de Roque

#### 3.1 Material vegetal

Se utilizaron semillas comerciales de *Capsicum annum* L., pertenecientes a la variedad de jalapeño.

##### 3.1.1 Características

Se utilizaron cuatro marcas comerciales de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) Germinal, Hortaflor, Caloro y Mina.

#### 3.2 Desinfección superficial de las semillas y germinación

En tubos Falcon de 50 mL limpios, se colocaron un aproximado de 250 semillas de cada uno de los diferentes genotipos, en un tubo por genotipo. Se le agregaron 25 mL de etanol al 70% y se mantuvieron en agitación en vortex durante 3 min. Transcurrido

este tiempo, se decantó el etanol y se le agregó 25 mL de hipoclorito de sodio al 20%, nuevamente se agitaron en vortex durante 3 min y se decantó el hipoclorito. Para los enjuagues, se utilizó agua destilada estéril; al decantar el hipoclorito de sodio, se le adicióno al tubo 25 mL de agua destilada estéril y se mantuvo en agitación durante un minuto, se decantó el agua y se repitió dos veces más este procedimiento, para obtener tres enjuagues. Todo este proceso se realizó bajo campana de flujo laminar. En seguida las semillas se colocaron bajo el flujo laminar de la campana, sobre sanitas estériles y así eliminar todo exceso de agua para posteriormente ponerlas a germinar.

### 3.3 Germinación de las semillas

Para la germinación se utilizaron cajas Petri de plástico de 9 cm de diámetro que contenían 25 mL de medio básico Murashige y Skoog al 50%, y se colocaron 20 semillas por caja. La incubación se llevó a cabo a más menos 25°C en total oscuridad durante una semana o hasta que emergió la raíz. Trascorridas 72 hrs, las cajas fueron revisadas en busca de semillas contaminadas, en el caso de que se encontrara contaminación por bacteria, las semillas sin contaminación se cambiaron a una caja nueva con medio MS. Después de una semana en condiciones de oscuridad, se colocaron las cajas con las semillas a condiciones estándar de luz, durante dos semanas más.



**Figura 7 Germinación de las semillas en medio MS**

### 3.4 Corte de explante

Para la elección del explante se eligieron hipocótilo y cotiledones. De cada una de las plántulas de chile jalapeño se sacaron tres explantes; para el hipocótilo se realizó un corte por debajo de meristemo apical y hasta dos centímetros por debajo, el explante fue colocado con la parte apical dentro del medio MS adicionado con los reguladores de crecimiento, para así mantenerlo en constante contacto con los reguladores. Para los cotiledones, se realizó un corte horizontal en la parte basal del cotiledón, se colocó en el medio por la parte abaxial, y de igual forma la parte basal donde se realizó el corte, las cuales fueron colocadas en el medio para mantenerlo en constante contacto con los reguladores de crecimiento.



**Figura 8 Corte de explantes: cotiledones e hipocotilo**

Para su desarrollo, se les sometió a las condiciones estándar de fotoperiodo (16 hr de luz por 8 hr de oscuridad). Cada dos semanas se realizó el subcultivo hasta que se observó desarrollo.

### 3.5 Preparación del medio de cultivo MS (Murashige y Skoog 1967)

#### 3.5.1 Soluciones Stock para medio MS

**Tabla 3 Stock para macronutrientes**

Reactivo	1x mg/L
Nitrato de Amonio	1650
Cloruro de Calcio	440
Sulfato de Magnesio	370
Fosfato de Potasio	170
Nitrato de Potasio	1900

**Tabla 4 Stock para micronutrientes**

Reactivo	1x mg/L
Ácido Bórico	6.2
Cloruro de Cobalto	0.025
Sulfato de Cobre	0.025
Sulfato de Magnesio	22.3
Ioduro de Potasio	0.83
Molibdato de Sodio	0.25
Sulfato de Zinc	8.6

**Tabla 5 Stock para Vitaminas y Sustancias Orgánicas**

Reactivo	1x mg/L
NaFeEDTA	0.28
Mioinositol	1
Piridoxina	1
Tiamina	1

Para la preparación del medio MS (base) se le adicionaron 30 gr/L de sacarosa como fuente de carbono, además se ajustó el pH a 5.8 y como gelificante se usó Phytigel™ al 2.5%

Ya estéril el medio MS, antes de vaciar, se le agregó el  $\text{AgNO}_3$

### 3.6 Inducción

#### 3.6.1 Experimento 1 Prueba utilizando dos reguladores de crecimiento BAP y AIA en tres concentraciones diferentes en cuatro genotipos comerciales de *Capsicum annuum* L. (chile jalapeño) con dos diferentes tipos explantes.

De acuerdo a la revisión bibliográfica se propusieron tres tratamientos diferentes para los cuatro genotipos comerciales y los dos explantes. Para el experimento se usaron explantes de plántulas con tres semanas de edad, de cada plántula se sacaron tres explantes uno de cada cotiledón y uno más de hipocotilo. Se colocaron 10 explantes por unidad experimental con cinco repeticiones por tratamiento, cada unidad experimental contenía medio MS adicionado con los diferentes reguladores de crecimiento más 1.7 mg/L de  $\text{AgNO}_3$  (Tabla 6), los explantes fueron subcultivados cada dos semanas. Donde el genotipo A pertenece a la marca “Germinal”, el genotipo B a “Hortaflor”, el genotipo C a la marca “Caloro” y el genotipo D a “Mina”.

Las variables evaluadas fueron:

- Porcentaje de explantes por tratamiento que formaron brotes.
- Número promedio de brotes por explante.
- Formación de callo.

**Tabla 6 Concentraciones de BAP y AIA empleadas para la organogénesis de diferentes marcas comerciales de *Capsicum annuum* L. (jalapeño)**

Explante	Concentraciones mg/L	
	BAP	AIA
Cotiledones	5	0
	5	0.3
	5	1
	5	0
Hipocotilos	5	0.3
	5	1
	5	1

### 3.6.2 Experimento 2 Efecto de la utilización de BAP y AIA en cuatro concentraciones diferentes en la regeneración de *Capsicum annuum* utilizando un solo genotipo comercial de chile jalapeño.

Para el genotipo C ("Caloro"), en un segundo experimento se sometieron los dos explantes cotiledones e hipocotilo de plántulas de tres semanas de edad aproximadamente, los cuales se sembraron en medio MS modificado con cuatro concentraciones de reguladores de crecimiento BAP y AIA adicionando 1.7 mg/L de AgNO<sub>3</sub>, estas se muestran en la siguiente tabla. Para obtener de forma directa brotes de chile jalapeño, cada unidad experimental consto de 10 explantes con cinco repeticiones cada una. Los explantes fueron subcultivados cada dos semanas hasta pasar a la siguiente etapa de la regeneración. Donde se evaluó para este experimento:

- Número de explantes con brotes (%) y número de brotes por explantes.
- Número de explantes que formaron callo (%) y se clasifico como friable o no friable.
- Número de explantes con presencia de compuestos fenólicos (%)

**Tabla 7 Concentraciones de BAP y AIA para la producción de brotes para "Caloro"**

Explante	Concentraciones mg/L	
	BAP	AIA
Cotiledones	2	0
	2	1
	5	0
	5	1
	2	0
Hipocotilos	2	1
	5	0
	5	1

### 3.6.3 Experimento 3 Utilización de tres explantes diferentes para la organogénesis directa de *Capsicum annuum* L. usando dos combinaciones de reguladores de crecimiento BAP y AIA (Orlinzka y Nowaczyk, 2015)

Siguiendo con el genotipo C (“Caloro”), se colocó un experimento basado en el artículo de Orlinzka y Nowaczyk (2015), donde para este experimento se utilizaron explantes sacados de plántulas de dos a tres semanas de edad, donde se probaron tres explantes hipocotilo, cotiledones y plántulas decapitadas, para las plántulas decapitadas se hace un pequeño corte por debajo del meristemo apical, con este corte se perderán también los cotiledones, enseguida de esto se coloca la parte donde se hizo el corte en contacto con el medio y los reguladores de crecimiento. Cada unidad experimental consto de 10 explantes con cinco repeticiones, excepto para las plántulas decapitadas, que por el tamaño solo se colocaron cinco explantes por unidad experimental (caja magenta) con cinco repeticiones. Los explantes fueron subcultivados cada dos semanas sin exceder dos subcultivos. Se evaluó:

- Número de explantes con brotes (%) y número de brotes por explantes.
- Número de brotes elongados (%) por explante.
- Número de explantes que formaron callo (%) y se clasifico como friable o no friable.
- Número de explantes con presencia de compuestos fenolicos (%)

**Tabla 8 Utilización de tres explantes diferentes usando la combinación de reguladores de crecimiento BAP y AIA, para obtención de Organogénesis directa (Orlinzka y Nowaczyk, 2015)**

Explante	Concentraciones mg/L	
	BAP	AIA
Cotiledones	6	0.4
Hipocotilo	6	0.4
Plantulas decapitadas	6	0.4

### 3.6.4 Experimento 4 Evaluación de tres explantes con una combinación de BAP y AIA para la organogénesis directa de *Capsicum annuum* L. (chile jalapeño) (Valdez et al., 2009)

Continuando con el uso del genotipo “Caloro”, se determinaron las condiciones de este experimento con base al artículo de Valdez *et al.* 2009, se montó este experimento usando plántulas de dos a tres semanas de edad de donde se obtuvieron tres explantes diferentes: cotiledones, hipocotilo y plántulas decapitadas cada unidad experimental consto de diez explantes para cotiledones e hipocotilos y cinco explantes para plántulas decapitadas con cinco repeticiones para cada unidad experimental. Los explantes fueron colocados en medio MS adicionado con reguladores de crecimiento (Tabla 9), para este experimento se agregó una concentración de 2 mg/L de AgNO<sub>3</sub>. Los explantes se subcultivaron cada dos semanas hasta observar la elongación de los brotes (dos subcultivos). En este experimento se evaluaron los siguientes puntos.

- Número de explantes con brotes (%) y número de brotes por explantes.
- Número de brotes elongados (%) por explante.
- Número de explantes que formaron callo (%) y se clasifico como friable o no friable.
- Número de explantes con presencia de compuestos fenólicos (%)

**Tabla 9 Evaluación de tres explantes diferentes con una combinación de BAP y AIA para la obtención de organogénesis de *Capsicum annuum* L. (Valdez et al. 2009)**

Explantes	Concentraciones mg/L	
	BAP	AIA
Cotiledones	3	0.24
Hipocotilo	3	0.24
Plántula decapitada	3	0.24



### 3.6 Elongación

#### 3.6.1 Experimento 1 Prueba de la reducción del medio de cultivo al 50% para la elongación de brotes en la segunda etapa de la regeneración de chile jalapeño.

Los explantes que mostraron la formación de brotes fueron cambiados a las 4 semanas de la inducción a un medio de cultivo MS al 50% sin reguladores de crecimiento, solo adicionado con 1.7mg/L de AgNO<sub>3</sub>, realizando subcultivos cada 2 semanas. Los brotes fueron separados entre 3 a 6 hojas aproximadamente. Estas mismas condiciones fueron probadas para la elongación de los brotes del Experimento 2.

#### 3.6.2 Experimento 3 Utilización de una auxina para la elongación de brotes de *Capsicum annuum* L. (Orlinzka y Nowaczyk, 2015)

Para este experimento, se basó en los resultados obtenidos en el artículo de Orlinzka y Nowczyk (2015), donde los brotes fueron separados del explante original dividiéndolos de 3 a 6 brotes, estos brotes fueron colocados en medio MS al 100% con 1.1 mg/L de AIA más 1.7 mg/L de AgNO<sub>3</sub>. Los brotes fueron subcultivados cada dos semanas, permanecieron en estas condiciones durante 5 semanas.

#### 3.6.3 Experimento 4 Uso de tres reguladores de crecimiento para la elongación de brotes en la regeneración de chile jalapeño (Valdez *et al.*, 2009).

Siguiendo con la referencia del artículo de Valdez *et al.* (2009) en este experimento los brotes no fueron separados del explante original, se mantendrán hasta la observación de la formación de raíces. Para lograr la elongación, los brotes se colocaron en medio MS al 100% agregando tres reguladores de crecimiento 3mg/L de BAP, 0.24mg/L de AIA, 3mg/L de GA<sub>3</sub> y 2mg/L de AgNO<sub>3</sub>, cada unidad experimental fue cambiada a cajas magenta para su elongación.

### 3.7 Enraizamiento

La etapa de enraizamiento solo se aplicó para los explantes que lograron elongar para después ser cambiados al medio de enraizamiento. Fueron cambiados los explantes a las – semanas o a los – cm de altura del brote elongando, el medio contenía MS al 50% adicionando con 1mg/L de AIA y 2mg/L de AgNO<sub>3</sub>.

### 3.7 Análisis estadísticos

A las 4 semanas se contaron el número de explantes por repetición por tratamiento por tipo de explante que mostraron organogénesis, con estos datos se realizó un ANOVA bifactorial donde se usó el programa y posteriormente una comparación de medias ajustadas de Tukey al 0.05 usando el programa SAS versión --- para ambas pruebas y así determinar el mejor tratamiento en la formación de brotes. En la etapa de elongación después de que los brotes alcanzaron ---- cm, se contaron el número de brotes elongados por repetición por tratamiento por tipo de explante y se realizaron las mismas pruebas antes mencionadas para determinar la mejor concentración y el mejor tipo de Explante en la regeneración in vitro de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.)

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Respuesta de los cuatro genotipos en el Experimento 1

En el primer experimento los genotipos A y D, no mostraron desarrollo de estructuras, por lo que fueron descartados para la regeneración *in vitro*. Sin embargo, los genotipos B y C mostraron diferentes respuestas a los tres tratamientos del Experimento 1 (Tabla 10 y 11)

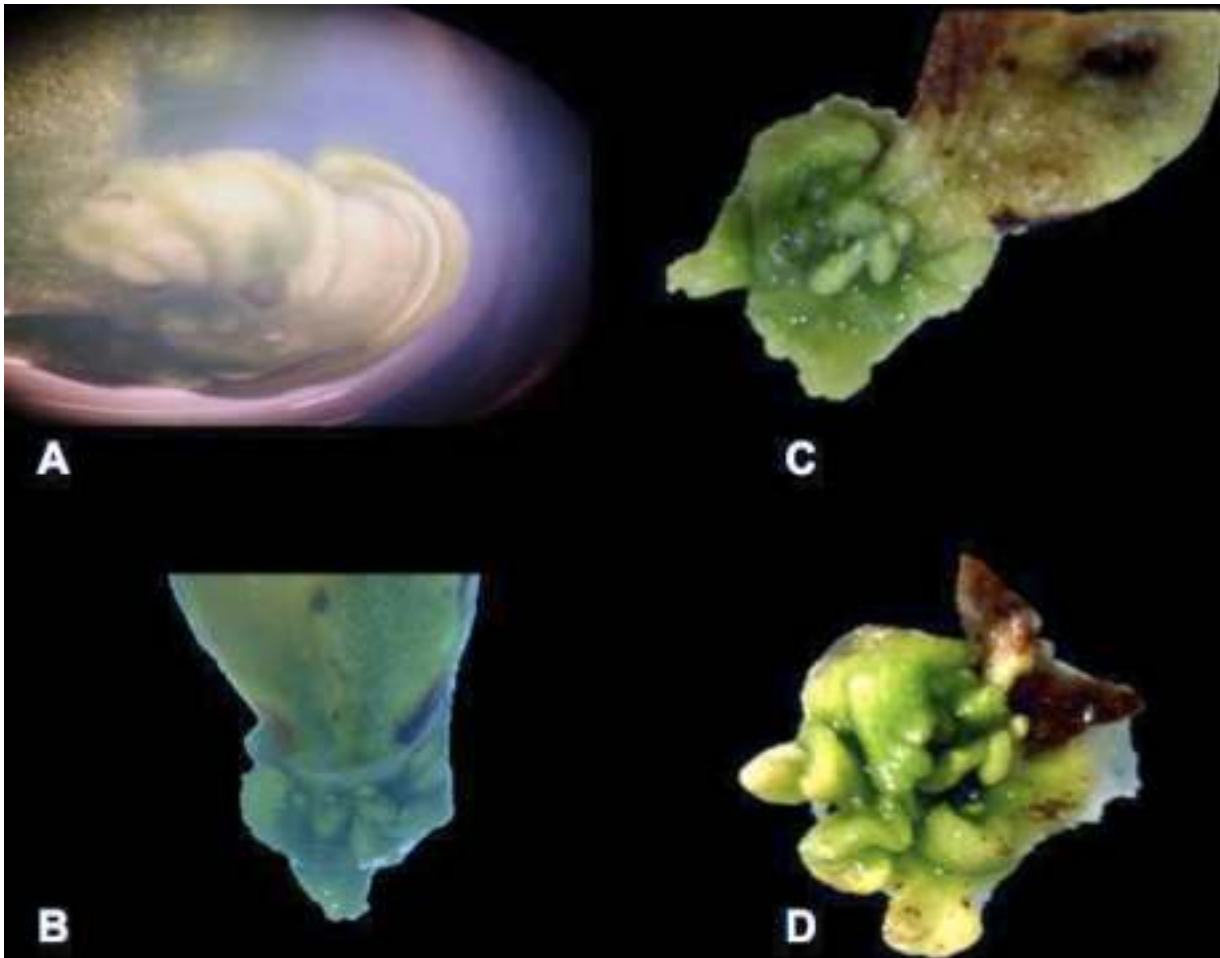
**Tabla 10 Respuesta del genotipo B en el Experimento 1**

<b>Genotipo</b>	<b>Concentraciones µg/ml</b>	<b>Explantos</b>	<b>Explantos con callo %</b>	<b>Brotos %</b>
<b>Hortaflor</b>	<b>5 BAP – 0 IAA</b>	<b>Cotiledones</b>	<b>94</b>	<b>6</b>
		<b>Hipocotilos</b>	<b>96</b>	<b>4</b>
	<b>5 BAP – 0.3 IAA</b>	<b>Cotiledones</b>	<b>94</b>	<b>4</b>
		<b>Hipocotilos</b>	<b>94</b>	<b>4</b>
	<b>5 BAP – 1 IAA</b>	<b>Cotiledones</b>	<b>90</b>	<b>10</b>
		<b>Hipocotilos</b>	<b>84</b>	<b>2</b>

Tabla 11 Respuesta del genotipo C en el Experimento 1

Genotipos	Concentraciones µg/ml	Explantos	Explantos con callo%	Explantos con brotes %
Caloro	5 BAP – 0 IAA	Cotiledones	20	80
		Hipocótilos	20	90
	5 BAP – 0.3 IAA	Cotiledones	90	10
		Hipocótilos	84	16
	5 BAP – 1 IAA	Cotiledones	95	5
		Hipocótilos	100	0

La finalidad de este primer experimento fue encontrar un genotipo que tuviera alta capacidad para regenerarse de forma *in vitro* mostrando la formación de brotes de forma directa, lo cual se encontró con el genotipo C o “Caloro” por lo que se tomó la decisión de continuar *con* la búsqueda de formación de plantas completas utilizando solo este genotipo y descartando a los otros tres genotipos.



**Figura 9 Formación de brotes en cotiledones en el genotipo Hortaflores**

En la Figura 9, en la letra A se observa el desarrollo de órganos a las 2 semanas del experimento, B desarrollo a las 4 semanas, en la C se muestra el crecimiento de brotes a las 6 semanas se puede observar el comienzo de la oxidación del explante, en la D, el explante ha sido retirado, sin embargo, se puede ver una mayor oxidación del mismo, así como la presencia de manchas en los brotes nuevos a las 8 semanas. En todos los experimentos realizados, la formación de órganos puede observarse a las dos semanas, por lo que después de ese tiempo si no se observa respuesta alguna se podría inferir la nula capacidad del explante para regenerarse.

## 4.2 Respuesta del genotipo C en el Experimento 2

Para este experimento se buscó optimizar la formación de brotes usando el genotipo “Caloro”, con los datos obtenidos y midiendo las variables en la formación de callo, callo no friable, brotes, raíz y compuestos fenólicos, se realizó un ANOVA bifactorial (Tabla 12).

**Tabla 12 Cuadros medios del ANOVA bifactorial para las variables en la inducción.**

Fuentes de variación	GL	Callo	Callo no friable	Brotes	Raíz	Compuestos fenólicos
Trat	3	33.09**	54**	49.6**	9.9 <sup>ns</sup>	15.63**
Trat*Rep	16	2.5 <sup>ns</sup>	5.41 <sup>ns</sup>	3.62 <sup>ns</sup>	3.42 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>
Var	1	24.2**	3.6 <sup>ns</sup>	16.9 <sup>ns</sup>	62.5**	10.0*
Trat*Var	3	18.8**	12.0*	17.23 <sup>ns</sup>	9.9 <sup>ns</sup>	3.26 <sup>ns</sup>
Var*Rep	4	13.21**	3.6 <sup>ns</sup>	18.08*	2.68 <sup>ns</sup>	1.56 <sup>ns</sup>
Error	12	2.01	2.7	5.5	3.67	1.32

\*\* Altamente significativo, \* Significativo, <sup>ns</sup> No significativo,  $\alpha$  0.05.

En el análisis de varianza, se encontraron diferencias altamente significativas para todas las variables por lo que se procedió a realizar la comparación de medias (Tabla 13).

**Tabla 13 Respuesta en la inducción de brotes para el genotipo C**

Explantos	Concentraciones $\mu\text{g/ml}$	Callo	Callo no friable	Brotes	Raíz	Compuestos fenólicos
Cotiledones	2BAP	3.2a	2.8b	5.6b	0a	1b
	2BAP+1AIA	4.2a	5.6a	4.2b	0a	4a
	5BAP	0.4b	0c	9.8a	0a	0bc
	5BAP+1AIA	1b	0c	7ab	0a	0.4c
Hipocotilos	BAP2	2c	5.8a	2c	1.8b	0a
	BAP2+1AIA	6.6a	3.4b	6.6ab	4a	1a
	5BAP	5.4b	1.4bc	8.4a	0c	0a
	5BAP+1AIA	1c	0.2c	4.4bc	4.2a	0a

- Valores de un experimento donde se utilizaron dos tipos de explantes en 4 concentraciones de hormonas, con 5 repeticiones cada una y 10 explantes por repetición.
- Las letras diferentes muestran diferencias estadísticas entre medias (Tukey;  $p \leq 0.05$ )

Los explantes tomados de cotiledón e hipocotilo de plántulas cultivadas asépticamente durante tres semanas, mostraron crecimiento celular, en los bordes cortados, a los 8 días de haber sido colocados en el medio de cultivo. El callo se presentó con un color



**Figura 10** Formación de callo en los explantes de cotiledon (A) e hipocotilo (B).

blancuzco que se fue amarillando. De acuerdo a la comparación de medias, se observó que el mayor número de cotiledones con callo se formaron en los tratamientos con

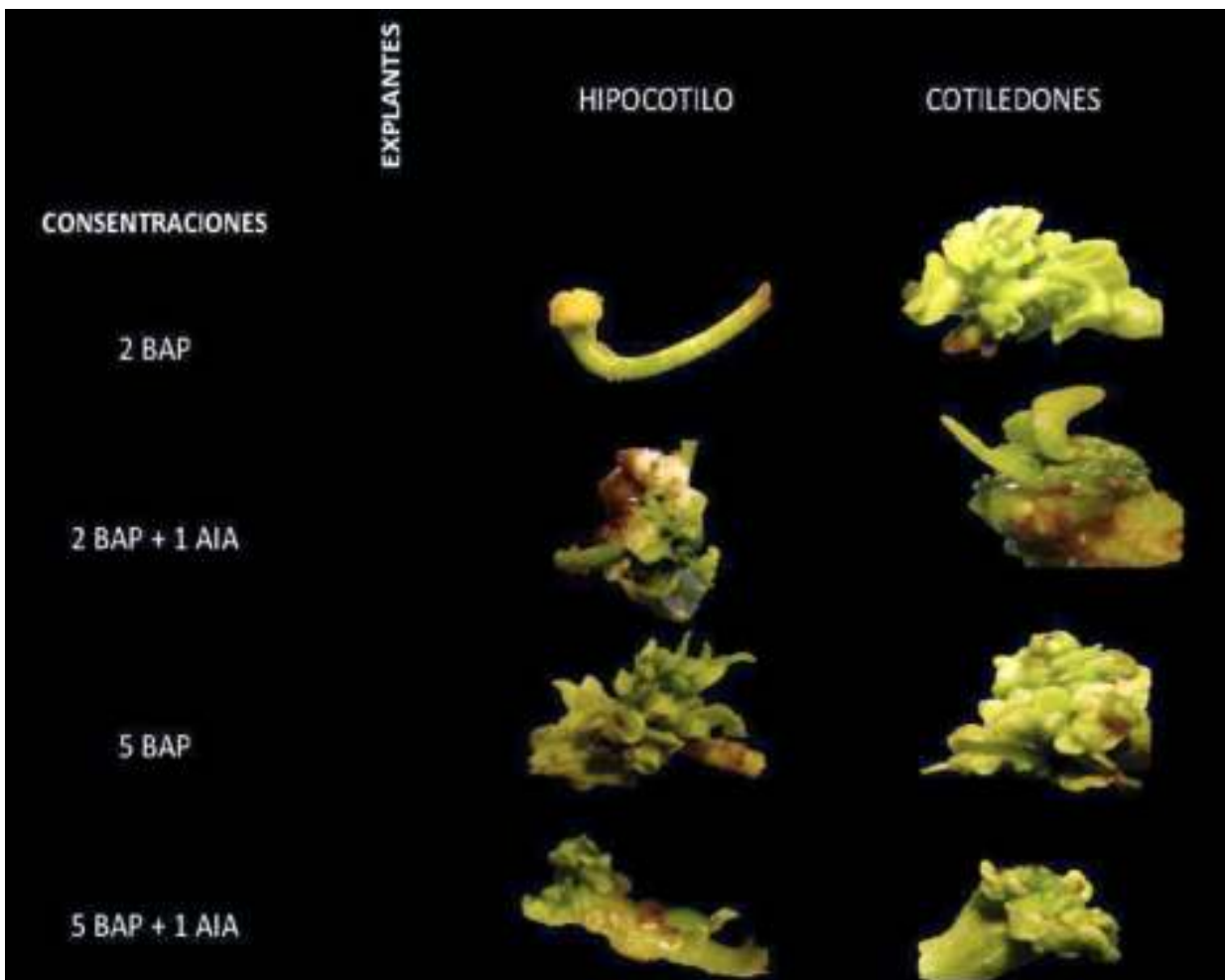


2mg/l de BAP con o sin AIA, mientras que para los hipocotilos el tratamiento de BAP 2mg/l tuvo mayor formación de callo (Figura 10). Con respecto a la formación de brotes, las primeras estructuras se presentaron a las 2 semanas, la mayor respuesta se observó en el tratamiento con 5

**Figura 11** Formación de brotes en cotiledones en presencia de BAP

mg/l de BAP para ambos explantes, sin embargo, con este tratamiento en los cotiledones no se observó la presencia de callo, por lo que el porcentaje de la organogénesis directa fue de 100%.

En los cuatro tratamientos, utilizando ambos explantes, cotiledones e hipocotilos, se observó la formación de diferentes estructuras callos o brotes en menor o mayor frecuencia, esta respuesta inicial coincide con las observaciones realizadas por algunos autores donde mencionan que la organogénesis se puede encontrar en la superficie de los cortes de *Capsicum*, independientemente de los reguladores de crecimiento aplicados (Dabauza y Peña, 2001; Gatz, 2002; Joshi y Kothari, 2007; Orłinska y Nowaczyk, 2015).



**Figura 12** Respuesta de los explantes del genotipo C en el Experimento 2



Para este experimento se observó que el efecto de las citocininas mejora la frecuencia de brotación en la variedad chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), siendo el mejor tratamiento estadísticamente, BAP 5mg/L, a diferencia de lo encontrado por algunos otros autores como Swamy *et al.*, (2014) que halló que las citocininas por si solas no tenían un efecto significativo sobre el potencial de regeneración de los brotes en las plantas de *C. annuum* L., esto nos ayuda a confirmar la dependencia genotípica antes mencionada por Kothari *et al.*

(2009) y Tata *et al.*, (2016), en la Figura 12 se muestran las respuestas de los explantes de cotiledón como de hipocotilo a los diferentes tratamientos, en la primera etapa de la regeneración.

También se pudo observar que en los hipocotilos se desarrolló raíz con mayor frecuencia en los tratamientos adicionados con 1

mg/l de AIA, mientras que en el tratamiento con 5 mg/l de BAP no se observó el desarrollo de raíz.

Y con respecto a la formación de compuestos fenólicos el tratamiento con 2 mg/l de BAP y 1 mg/l de AIA presento fue el que presento oxidación con mayor frecuencia.



**Figura 13 Formación de raíz en hipocotilos en presencia de AIA**



**Figura 14 Formación de compuestos fenólicos en cotiledon (A) e hipocotilo (B)**

Sin embargo, a pesar de su buena respuesta de algunos tratamientos para la formación de brotes no se logró la elongación de los mismos, por lo que se pasó a la realización del Experimento 3.

#### 4.3 Resultados en el experimento 3 utilización de una auxina para la elongación de brotes de *Capsicum annuum* L. (Orlinzka y Nowaczyk, 2015)

En este experimento, también se logró la obtención de organogénesis directa en la mayoría de los explantes, se considera un buen resultado al obtener en la etapa de inducción organogénesis directa y no observar la presencia de callo ni compuestos fenólicos (Tabla 14), el desarrollo observado fue el típico antes mencionado por Gatz (2002), Qin et al. (2005), Joshi y Kothari (2007) y por Orlinzka y Nowaczyk (2015), donde ellos describen la formación de un conjunto de hojas sésiles en la superficie donde se realizaron los cortes tanto en cotiledones como en hipocotilos. A diferencia de Orlinzka y Nowaczyk (2015) encontramos que el mejor explante con mayor cantidad de brotes fueron los cotiledones a contrario donde para ellos en el genotipo de jalapeño el mayor porcentaje de formación de brotes fue en el explante de plantúlas decapitadas.

**Tabla 14 Respuesta del Experimento 3 en la etapa de inducción**

Explante	Concentración µg/ml	Explantes con brotes %	Explantes elongados %	Explantes con callo %	Explantes con compuestos fenólicos %
Cotiledones	6 BAP – 0.4 AIA	80	0	0	0
Hipocotilos	6 BAP – 0.4 AIA	76	0	0	0
Plantúlas decapitadas	6 BAP – 0.4 AIA	0	0	0	0

En la siguiente etapa de la regeneración: elongación y enraizamiento, los brotes fueron separados de 3 a 6, esto fue realizado a las 5 semanas de iniciado el experimento y se le adiciono al medio MS 1.1 mg/L de AIA para favorecer el alargamiento de los brotes y así



**Figura 15** Inducción de brotes en hipocotilos

obtener plantúlas, sin embargo esto no se logró obtener siguiendo las condiciones propuestas por Orlinzka y Nowaczyk (2015), por lo que se procedio a la realización de un experimento más.

#### **4.4 Resultados del experimento 4, evaluación de tres explantes con una combinación de BAP y AIA para la organogénesis directa de *Capsicum annuum* L. (chile jalapeño) (Valdez *et al.*, 2009)**

En este experimento se lograrón obtener brotes apartir de ambos explantes cotiledones como hipocotilos utilizando las fitohormonas BAP y AIA comprobando el efecto sinérgico entre estos dos reguladores, coincidiendo con Valera-Montero y



**Figura 16** Inducción de brotes en cotiledones con 3 mg/L de BAP y 0.24 mg/L de AIA. En la imagen A se puede observar un explante de cotiledón con la formación de brotes listo para ser trasferido a un medio de elongación, mientras que en la imagen B se observan los brotes vistos desde la parte inferior de una caja magenta.

Ochoa-Alejo (1992), Gatz y Rogozinka (1994), Hyde y Phillips (1996), Arous *et al.*, (2001), Borychowski *et al.*, (2002), Li *et al.*, (2003), Kumar *et al.*, (2005), Valdez-Bustos *et al.*, (2009), Rizwan *et al.*, (2013), Groveza y Todorova (2015), Orlinska y Nowaczyk (2015) entre otros. De forma contraria, Agrawal *et al.* (1989), Christopher y Rajam (1996),



**Figura 17 Inducción de brotes en hipocótilos**  
**Explantos de hipocótilos mostrando la formación de brotes bien definidos.**

obtuvieron una mayor eficacia la sola utilización de BAP.

La inducción de brotes se presentó a las dos semanas de haber sido colocados en el medio de inducción, sin embargo difiriendo con algunos autores como Grozeva y Todorova (2015) que observaron la misma respuesta entre los 15-20 días, en este experimento la organogénesis fue directa sin pasar por una etapa de formación de callo. En el caso del desarrollo de brotes, su formación fue la típica ya antes indicada por otros autores (Gatz, 2002, Qin *et al.* 2005, Joshi y Kothari, 2007, Orlinska y Nowaczyk 2015).

Para la elongación los explantes fueron cambiados a las cuatro semanas de haber comenzado el experimento a medio MS adicionado con BAP, AIA y GA3, la adición de giberelinas ayudó a lograr la elongación de los brotes para ambos explantes coincidiendo con lo encontrado por Valdez-Bustos *et al.*, (2009). En la tabla 16, se indican los porcentajes hacia las diferentes respuestas de ambos tipos de explantes, para este experimento los cotiledones fueron los que mostrarán un mayor porcentaje en la formación de brotes como en la elongación de los mismos.

**Tabla 15 Respuesta del experimento 4 en la etapa de inducción y elongación de brotes**

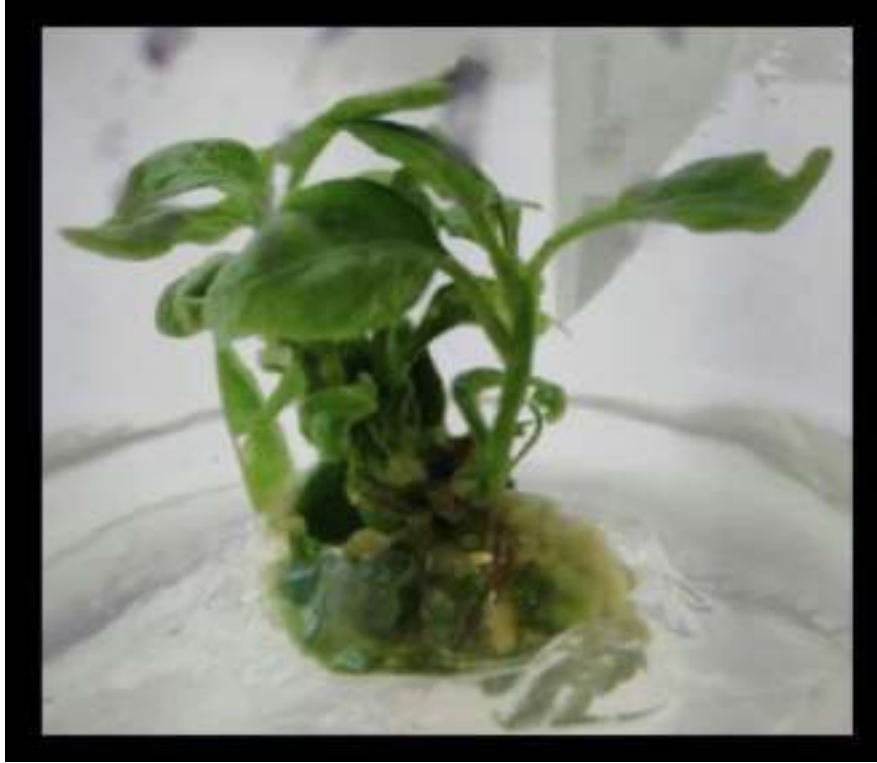
Explante	Concentración $\mu\text{g/ml}$	Explantes con brotes %	Explantes elongados %	Explantes con callo %	Explantes con compuestos fenólicos %
Cotiledones	3 BAP – 0.24 AIA	85	45	0	0
Hipocotilos	3 BAP – 0.24 AIA	76	20	0	0



**Figura 18 Comienzo de la elongación de brotes provenientes de cotiledones**

Elongación de brotes provenientes de explantes de cotiledones, se puede observar claramente la definición o formación de hojas, sin embargo, no se observa en todos los brotes.

La elongación de los brotes se observó a las 4 semanas de haberse colocado en el medio de elongación , los brotes elongados registraron medidas de entre 3-5 cm cada uno (Figura 19).



**Figura 19** Elongación de brotes

## V CONCLUSIONES

Se estableció una metodología para la regeneración *in vitro* de chile del genotipo Jalapeño de la marca Caloro, donde a partir de explantes de cotiledones e hipocotilos se logró la elongación de brotes.

De acuerdo a lo obtenido en estos experimentos y a las referencias previamente consultadas, la regeneración *in vitro* de la especie *Capsicum annuum* L., es sumamente dependiente de genotipo, del medio de cultivo incluyendo concentración de fitohormonas, tipo de explante a utilizar e incluso y de acuerdo a la observación en estos experimentos a las condiciones ambientales.

En este caso, el aumento de la concentración de AIA en el medio de inducción propicia una mayor formación de callo que en algunas ocasiones llega a ser un callo friático, sin dar origen a ningún órgano, además de que al exceder la concentración de 1 mg/L, la presencia de compuestos fenólicos es más frecuente. Sin embargo, el genotipo utilizado requiere la presencia de ambas fitohormonas (citocininas y auxinas) en este caso BAP y AIA para la inducción de brotes y elongación de los mismos.

De igual forma se corroboró que es indispensable la presencia de GA<sub>3</sub> para la elongación de los brotes en el caso del genotipo Caloro.

## VI. LITERATURA CITADA

- Agrawal S, Chandra N, Kothari SL (1989). Plant regeneration in tissue cultures of Pepper. (*Capsicum annuum* L. var. Mathania). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 16: 47-55.
- Ahmad N, Siddique I, Anis M (2006). Improved plant regeneration in *Capsicum annuum* L. from nodal segments. *Biologia Plantarum*, 50: 701-704.
- Akram OM, Gaafar M, Gehan Safwat G, Diab A (2011). Comparative study among the germination and propagation of different *Capsicum annuum* cultivars using tissue culture techniques. *Journal of Nature and Science*, 9: 183-189.
- Alizah Z, Zamri Z (2013). Influence of Genotype Source on the in vitro Regeneration Ability of Malaysian Chilli Varieties. *American Journal of Research*, 1: 1-6.
- Allefeldt, G., Radtler, F. (1962). Interrelationship between photoperiodic behavior of grapes and growth of plant tissue culture. *Plant Physiology*, 37: 376-379.
- Amzad Hossain M, Konisho K, Minnami M, Nemoto K (2003). Somaclonal variation of regenerated plants in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Euphytica*, 130: 233-239.
- Anilkumar M, Ashalatha SN (2004). Multiple shoot induction in *Capsicum annuum* L. cv. Early California wonder. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 5: 95-100.
- Arroyo R, Revilla MA (1991). In vitro plant regeneration from cotyledon and hypocotyl segments in two bell pepper cultivars. *Plant Cell Reports*, 10: 414-416.
- Asbell, CW (1977). Ultrastructural modifications during shoot formation in vitro. *In Vitro Cellular & Developmental Biology*, 13:180.
- Ashrafuzzaman M, Hossain MM, Razi Ismail M, Shahidul Haque M, Shahidullah SM, Shahin-uz-zaman (2009). Regeneration potential of seedling explants of chilli (*Capsicum annuum*). *African Journal of Biotechnology*, 8: 591-596.
- Bajaj, Y PS, Kumar P, Labana KS y Singh MM (1981). Regeneration of plants from seedling explants and callus cultures of *Arachis hypogaea*. *Indian Journal of Experimental Biology*, 19:1026-1029.
- Berdan F F, Anawalt PR (1997). *The Essential Codex Mendoza*. Los Angeles: University of California Press.
- Binzel M, Sankhala N, Joshi S, Sankhala D (1996). Induction of direct somatic embryogenesis and plant regeneration in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Cell Reports*, 15: 536-540.



- Bonnett HT, Torrey JG (1966). Comparative anatomy of endogenous bud and lateral root formation in *Convolvulus arvensis* roots cultured in vitro. *American Journal of Botany*, 53: 496-508.
- Brown D CW, Leung D WM, Thorpe TA (1979). Osmotic requirement for shoot formation in tobacco callus. *Physiologia Plantarum*, 46: 36-41.
- Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL (2000) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Biologists. Rockville, MD.
- CDB (Convenio sobre la Diversidad Biológica) (1992). Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Bush SR, Earle ED, Langhans RW (1976). Plantlets from petal segments, petal epidermis, and shoot tips of the periclinal chimera, *Crysanthemum morifolium* "Indianapolis". *American Journal of Botany*, 63: 729-737.
- Cameron JW, Garber MJ (1968). Identical-twin hybrids of citrus x Poncirus from strictly sexual seed partners. *American Journal of Botany*, 55: 199-205.
- Cao DS, Jia SR (1993). In vitro plant regeneration of sweet pepper. *Acta Horticulturae Sinica*, 20: 171-175.
- Cheng TY, Voqui TH (1977). Regeneration of Douglas-fir plantlets through tissue culture. *Science*, 198: 306-307.
- Cheng TY (1975). Adventitious bud formation in culture of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco). *Plant Science Letters*, 5: 97-102.
- Chlyah, H (1974). Étude histologique de la neoformation de meristemes caulinares et radiculaires a partir de segments d'entre-noeuds de *Torenia fournieri* cultivés in vitro. *Canadian Journal of Botany*, 52: 473-476.
- Christopher T, Prolaram B, Rajam MV, Subhash K (1986). Plantlet formation in embryo cultures of *Capsicum annum* L. var. G4. *Current Science*, 55: 1036-1037.
- Christopher T, Rajam MV (1994). In vitro clonal propagation of *Capsicum* spp. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 38: 25-29.
- Coenen C, TI Lomax (1997). Auxin-cytokinin interactions in higher plants: old problems and new tools. *Trends Plant Science*, 2: 351-356.
- Coffin R, Taper CD, Chong C (1976). Sorbitol and sucrose as carbon sources for callus culture of some species of the Rosaceae. *Canadian Journal of Botany*, 54: 547-551.

- Coleman WK, Greyson RI (1977). Promotion of root initiation by ginnerellic acid in leaf discs of tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultured in vitro. *New Phytologist*, 78: 47-54.
- Cooper DC (1943). Haploid-diploid twin embryos in *Lilium* and *Nicotiana*. *American Journal of Botany*, 31: 408-413.
- Crete P (1938). La polyembryonie chez la *Lobelia syphilitica* L. *Bulletin de la Societè Botanique Française* 85: 580-583.
- Dabauza M, Peña L (2001). High efficiency organogenesis in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) tissues from different seedling explants. *Plant growth and Regeneration*, 33: 221-239.
- De Klerk GJ, Arnholdt-Schmitt B, Lieberei R, Neumann KH (1997). Regeneration of roots, shoots and embryos: physiological, biochemical and molecular aspects. *Biologia Plantarum*, 39: 53-66.
- Diaz I, Moreno R, Power JB (1988). Plant regeneration from protoplasts of *Capsicum annuum*. *Plant Cell Reports*, 7: 210-212.
- Dongzhaolong, Chen-Quin, Liu-wenxuan DZ (2003). Invitro plant regeneration from cotyledon and hypocotyl explants of pepper. *Journal of Shanghai University*, 9: 148-152.
- Ebida AIA, Hu CY (1993). In vitro morphogenetic responses and plant regeneration from pepper (*Capsicum annuum* L. var. Early California wonder) seedling explants. *Plant Cell Reports*, 13: 107-110.
- Egea C, Dickinson MJ, Candela M, Candela ME (2002).  $\beta$ -1,3-glucanase isoenzyme and genes in resistant and susceptible pepper (*C. annuum*) cultivars infected with *Phytophthora capsici*. *Physiologia Plantarum*, 107: 312-318.
- Eshbaugh WH (1976). Genetic and biochemical systematic studies of chili peppers (*Capsicum*-Solanaceae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 102: 396-403.
- Eshbaugh WH (1993). Peppers: History and exploitation of a serendipitous new crop discovery. Pp. 132-139 in J. Janick and J.E. Simon (eds.). *New Crops*. John Wiley & Sons, New York.
- Evans, DA, Sharp, WR, Flick, CE (1981). Growth and behavior of cell cultures: Embryogenesis and organogenesis. En: Thorpe, T. A. (ed.). *Tissue Culture: Methods and Applications in Agriculture*. Academic Press, Nueva York. p. 45-113.

- Ezura H, Nishimiya S, Kasumi M (1993). Efficient regeneration of plants independent of exogenous growth regulators in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Cell Reports*, 12: 676-680.
- Fahad S, Hussain S, Bano A, Saud S, Hassan S, Shan D, Khan FA, Khan F, Chen YT, Wu C, Tabassum MA, Chun MX, Afzal M, Jan M, Jan MT, Huang JL (2015). Potential role of phytohormones and plant growth-promoting rhizobacteria in abiotic stresses: consequences for changing environment, *Environmental Science Pollution Research*, 22: 4907–4921.
- Fari M, Csillery G, Andrasflavy A (1984). In vitro selection procedures for agronomic characters by shoot tip culture of *Capsicum*. In: *plant tissue and cell culture application to crop improvement*. Czechoslovak Academy of Science. Praga, República Checa, p. 445-446.
- Fari M, Czako M (1982). Experiments on the in vitro organization of hypocotyls of red pepper (*Capsicum* sp.). *Agar Tudományi-Közlemények*, 41: 244-245.
- Fari M, Tury Z, Csillag F, Banki-Peredi A (1990). Comparative studies on in vitro regeneration of seedling explants in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Acta Horticulturae*, 280: 131-134.
- Flick CE, Evans DA, Sharp WR (1983). *Organogenesis. Handbook of Plant Cell Culture*. vol. 1. MacMillan Publishing, Nueva York. p. 13-81.
- Fonnesbech, M (1974). Temperature effects on shoot and root development from *Begonia x Cheimantha* petiole segment grown in vitro. *Physiologia Plantarum*, 32: 282-286.
- Fortunato IM, Tudisco M (1991). In vitro shoot tip, cotyledons and first leaf cultures of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Capsicum News letter*, 10: 59-60.
- Franck-Duchenne M, Wang Y, Ben Tahar S, Beachy RN (1998) In vitro stem elongation of sweet pepper in media containing 24-epi-brassinolide. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 53: 79–84.
- Fridborg G, Pedersen M, Landstron LE, Eriksson T (1978). The effect of activated charcoal on tissue cultures: Adsorption of metabolites inhibiting morphogenesis. *Physiologia Plantarum*, 43: 104-106.
- Gaspar T, Kevers C, Penel C, Greppin H, Reid DM, Thorpe T (1996). Plant Hormones and Plant Growth Regulators in Plant Tissue Culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology of Plants*, 32: 272-289.
- Gautheret RJ (1934) Culture du tissu cambial. *CR Hebd Seances Acad Sci* 198: 2195–2196.

- Gautheret RJ (1939) Sur la possibilité de réaliser la culture indéfinie des tissus de tubercules de carotte. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, 208: 118–120.
- Gautheret RJ (1942) Hétéro-auxines et cultures de tissus végétaux. Bulletin de la Société de Chimie Biologique 24:13-41.
- Gautheret RJ (1955) Sur la variabilité des propriétés physiologiques des cultures de tissus végétaux. Revue Générale de Botanique, 62: 5-112.
- Gautheret RJ (1985) History of plant tissue and cell culture: a personal account. In: Vasil IK (ed) Cell culture and somatic cell genetics of plants, vol 2. Academic Press, New York, pp. 1-59.
- Govindarajan VS (1986). Capsicum-production, technology, chemistry and quality. III. Chemistry of the color, aroma and pungency stimuli. Critical Reviews in Food Science Nutrition 4: 245-355.
- Grozeva S, Rodeva V, Todorova V (2012). In vitro shoot organogenesis in Bulgarian sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Electronic Journal of Biology, 8: 39-44.
- Grozeva S, Todorova V (2015). In vitro regeneration in pepper (*Capsicum annuum* L.) and characterization of plant-regenerants. Electronic Journal of Biology, 11: 17-22.
- Gukasyan IA, Butenko RG, Petoyan SA, Sevostyanova (1977). Morphogenesis of isolated apices of remontant carnation on an artificial medium. Soviet Plant Physiology, 24: 130-133.
- Gunay AL, Rao PS (1978). In vitro plant regeneration from hypocotyl and cotyledon explants of red pepper (*Capsicum*). Plant Science Letters, 11: 365-372.
- Haberlandt G (1902) Kulturversuche mit isolierten Pflanzenzellen. Sitzungsber. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse Abteilung I, 111: 69–92.
- Hall AE, Chen QG, Findell JL, Schaller GE and Bleeker AB (1999) The relationship between ethylene binding and dominant insensitivity conferred by mutant forms of the ETR1 ethylene receptor. Plant Physiology, 121: 291-299.
- Halperin W (1970). Embryos from somatic plant cells. En: Padykula HA Control mechanisms in the expression of cellular phenotypes. Academic Press, Nueva York. p. 169-191.
- Hasegawa PM, Murashige T, Takatori FH (1973). Propagation of asparagus through shoot apex culture; 2: Light and temperature requirements, transplantability of plants and

- cytological characteristics. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 98: 143-148.
- Heide O M, Skoog F (1967). Cytokinin activity in *Begonia* and *Bryophyllum*. *Physiologia Plantarum*, 20: 771-780.
- Hicks GS (1994). Shoot induction and organogenesis in vitro a developmental perspective. In *vitro Cellular & Developmental Biology of Plants*, 30: 10-15.
- Howell SH, Lall S, Che P (2003). Cytokinins and shoot development. *Trends Plant Science*, 8: 453- 459.
- Hughes CE, Govindarajulu R, Robertson A, Filer DL, Harris SA, Bailey CD (2007). Serendipitous backyard hybridization and the origin of crops. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 104: 14389-14394.
- Husain S, Jain A, Kothari SL (1999). Phenylacetic acid improves bud elongation and in vitro plant regeneration efficiency in *Capsicum annuum* L. *Plant Cell Reports*, 19: 64–66.
- Hyde C, Phillips GC (1996). Silver nitrate promotes shoot development and plant regeneration on chile pepper (*Capsicum annuum* L.) via organogenesis. In *Vitro Cellular & Developmental Biology of Plants*, 32: 72–80.
- Jarret RL, Hasegawa PM, Erickson HT (1980). Factors affecting shoot initiation in tuber discs of potato (*Solanum tuberosum*). *Physiologia Plantarum*, 49: 177-184.
- Kakimoto T (2003). Biosynthesis of cytokinins. *Journal of Plant Research*, 116: 233-239.
- Kang NY, Cho C, Kim NY, Kim J (2012). Cytokinin receptor-dependent and receptor-independent pathways in the dehydration response of *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Physiology*, 169:1382-1391.
- Kato Y (1978). The involvement of photosynthesis in inducing bud formation on excised leaf segment of *Helonipsis orientalis* (Liliaceae). *Plant and Cell Physiology*, 19: 791-799.
- Ke Q, Wang Z, Ji CY, Jeong JC, Lee HS, Li H, Xu B, Deng X, Kwak SS (2015) Transgenic poplar expressing *Arabidopsis* YUCCA6 exhibits auxin-overproduction phenotypes and increased tolerance to abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 94: 19–27.
- Khan H, Siddique I, Anis M (2006). Thidiazuron induced somatic embryogenesis and plant regeneration in *Capsicum annuum*. *Biologia Plantarum*, 50: 789-792.
- Konar RN, Konar A (1966). Plantlet and flower formation in callus culture from *Phlox drummondii* Hook. *Phytomorphology*, 16: 379-382.

- Kothari SL, Joshi A, Kachhwaha S, Ochoa-Alejo N (2010) Chilli peppers-A review on tissue culture and transgenesis. *Biotechnology Advances*, 28: 35–48.
- Kotte W (1922) Kulturversuche mit isolierten Wurzelspitzen. *Beitr Allg Bot* 2: 413-434.
- Kumar V, Parvatam G, Ravishankar GA (2009). AgNO<sub>3</sub>-a potential regulator of ethylene activity and plant growth modulator. *Electronic Journal of Biotechnology*, 12. DOI: 10.2225/vol12-issue2-fulltext-1
- Laibach F (1929) Ectogenesis in plants. Methods and genetic possibilities of propagating embryos otherwise dying in the seed. *Journal of Heredity*, 20: 201–208.
- Lee TT and Skoog F (1965). Effects of substituted phenols on bud formation and growth of tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 18: 386-402.
- Litz RE, O’Hair SK and Conover RA (1983). In vitro growth of *Carica papaya* L. cotyledons. *Scientia Horticultura*, 19: 287-293.
- Litz RE, Jarret RL (1991) Regeneración de plantas en el cultivo de tejidos: Embriogénesis somática y organogénesis. En: *Cultivo de Tejidos en la Agricultura: Fundamentos y Aplicaciones*. William M. Roca WM, Mroginski LA (eds.) Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia; pp: 143-172.
- Malmberg RL (1979). Regeneration of whole plants from callus culture of diverse genetic lines of *Pisum sativum* L. *Planta*, 146: 243-244.
- Malonek S, Bomke C, Bornberg-Bauer E, Rojas Mc, Hedden P, Hopkins P, Tudzynski B (2005). Distribution of gibberellin biosynthetic genes and gibberellin production in the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Phytochemistry*, 66: 1296-1311.
- Mangara J, Bouniols A (1967). Comparation in vitro de l’influence du milieu liquide ou gelose, sur l’initiation florale chez *Cichorium intybus* L. *Comptes Rendus de l’Académie des Sciences Paris*, 264: 1166-1168.
- Mano Y, Nemoto K (2012). The pathway of auxin biosynthesis in plants, *Journal of Experimental Botany*, 63: 2853-2872.
- Marta O, Pawel N (2015). Invitro plant regeneration of 4 *Capsicum* spp. genotypes using different explant types. *Turkish Journal of Biology*, 39: 60-68.
- Miller C, Skoog F, Von Saltza MH, Strong FM (1955). Kinetin, a cell division factor from deoxyribonucleic acid. *Journal of the American Chemistry Society*, 77: 1392.
- Monnier M (1995). Culture of zygotic embryos. In: Thorpe TA (ed) *In vitro embryogenesis in plants*. Kluwer, Dordrecht; pp: 117-153.

- Montes-Hernández S (2010). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Capsicum* que crecen y se cultivan en México. Informe final, Campo Experimental Bajío, INIFAP.
- Mroginski A y Roca WM (1993). Establecimiento de cultivos de tejidos vegetales in vitro. En: Roca, W M., y Mogrinski, L A. Cultivo de tejidos en la agricultura: fundamentos y aplicaciones. CIAT, Cali, Colombia; pp: 19-40.
- Munuyamma A (1977). Triploid embryos from endosperm in vivo. *Annals of Botany*, 41: 1077-1079.
- Murashige T (1964). Analysis of the inhibition of organ formation in tobacco tissue culture by gibberellin. *Physiologia Plantarum* 17: 636-643.
- Murashige T and Skoog F (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15: 473–497.
- Narayanaswamy S (1977). Regeneration of plants from tissue culture. En: Reinert J , Bajaj Y PS (eds.). *Applies and fundamental aspects of plants cell, tissue and organ culture*. Springer-Verlag, Berlín; pp: 179-248.
- Nee M (1986). Flora de Veracruz, Solanaceae I. Xalapa, Veracruz: INIREB.
- Nobécourt P (1939) Sur la pérennité et l'augmentation de volume des cultures de tissues végétaux. *Comptes Rendus Séances Société de Biologie et de ses Filiales*, 130: 1270-1271.
- Ochoa-Alejo N, Ramirez-Malagon R (2001). In vitro chilli pepper biotechnology. *In vitro Cellular and Developmental Biology of Plants*, 37: 701-729.
- Okazawa Y, Katsura N, Tagawa T (1967). Effects of auxin and kinetin on the development and differentiation of potato tissue cultured in vitro. *Physiologia Plantarum*, 20:862-869.
- Otroshy M, Moradi K, Khayam Nekouei M (2011). The effect of different cytokenins in propagation of *Capsicum annuum* L. by invitro nodal cutting. *Trakia Journal of Sciences*, 9: 21-30.
- Peleg Z, Blumwald E (2011). Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants, *Current Opinion in Plant Biology*, 14: 290–295.
- Pelletier G, Delise B (1969). Sur la faculté de régénération des plantes entières par culturé in vitro du pédoncule floral de *Petunia pendula*. *Annales de l'Amélioration des Plantes* 19: 353-355.

- Pérez Molphe-Balch EM, Ramírez-Malagón R, Núñez-Palenius HG y Ochoa-Alejo N (1999). Introducción al cultivo de tejidos vegetales. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 179 p.
- Perry LR, Dickau S, Zarrillo I, Holst DM, Pearsall DR, Piperno MJ, Berman RG, Cooke K, Rademaker AJ, Ranere JS, Raymond DH, Sandweiss F, Scaramelli K, Tarble J, Zeidler A (2007). Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. *Science* 315: 986–988.
- Phillips GC, Hubstenberger JF (1985). Organogenesis in pepper tissue cultures. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 4: 261-269.
- Pickersgill B (2007). Domestication of plants in the Americas: Insights from Mendelian and molecular genetics. *Annals of Botany*, 100: 925–940.
- Pierik RLM (1990). Cultivo in vitro de las plantas superiores. Ed. Mundi-Prensa, Madrid; pp: 326.
- Pozueta-Ramero J, Houtne G, Canas L, Schantz R, Chamarro J (2001). Enhanced regeneration of tomato and pepper seedling explants for *Agrobacterium* mediated transformation. *Plant Cell Tissue and Organ culture*, 67: 173-180.
- R. Nishiyama, Y. Watanabe, Y. Fujita, Tien LD, Kojima M, Werner T, Vankova R, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K, Kakimoto T, Sakakibara H, Schmuelling T, Lam-Son PT (2011). Analysis of cytokinin mutants and regulation of cytokinin metabolic genes reveals important regulatory roles of cytokinins in drought, salt and abscisic acid responses, and abscisic acid biosynthesis. *Plant Cell*, 23: 2169–2183.
- Radice S (2010). Morfogénesis. En: *Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II*. Levitus, G, Echenique V, Rubinstein C, Hopp E, Mroginski L (eds). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina, Buenos Aires; pp: 26-33.
- Raju MVS, Mann HE (1970). Regenerative studies on the detached leaves of *Echeveria elegans*: Anatomy and regeneration of leaves in sterile culture. *Canadian Journal of Botany*, 48:1887-1891.
- Ravishankar GA, Suresh B, Giridhar P, Rao SR, Johnson TS (2003). Biotechnological studies on *Capsicum* metabolite production and plant improvement. En: De AK (ed). *Capsicum: The genus Capsicum*. London: CRC Press; p: 100.
- Robbins WJ (1922) Cultivation of excised root tips and stem tips under sterile conditions. *Botanical Gazette* 73: 376–390.



- Robinson JP, Maheswari M (2013). In vitro multiple shoot induction from nodal explants of *Capsicum annum* L. of Kandhari variety. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 2: 57-63.
- Rodriguez FI, Esch JJ, Hall AE, Binder BM, Schaller GE, Bleecker AB (1999). A copper cofactor for the ethylene receptor ETR1 from *Arabidopsis*. *Science*, 283: 996-998.
- Ross MK, Thorpe TA (1973). Physiological gradients and shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Cell Physiology*, 14: 473-480.
- Rucker W, Paupardin (1969). Action de quelques acides-phenols sur la rhizogénèse des tissus de tubercules de topinambur (variété violet de Rennes) cultivés in vitro. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Series D*, 268: 1279-1281.
- Sanatombi K, Jitendra Sharma G (2006). In vitro regeneration and mass multiplication of *Capsicum annum* L. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 4: 205-208.
- Sastri RNL (1963). Morphogenesis in plant tissue cultures. En: *Plant tissue and organ culture: A symposium*. International Society of Plant Morphologist, Nueva Delhi, India; p: 105-107.
- Sharry S, Adema M, Abedini W (2015) Plantas de probeta. Manual para la propagación de plantas por cultivo de tejidos in vitro. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires, Argentina; pp: 8-11.
- Shen-Hualin, Wang-zhiyuan, Jiang-Jianzhen, Shen-HI, Wang-Zy, Jiang-Jz, Dong-G (ed.). Meng-L (1994). In vitro plant regeneration and variation of pepper. *Advances in Horticulture*, 295-299.
- SIAP (2016). Avance de siembras y cosechas. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera ([http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do)) Consulta: Noviembre 2016.
- Simmons AH, Simonne EH, Eitenmiller RR, Mills HA, Green NR (1997). Ascorbic acid and provitamin A contents in unusually coloured bell peppers (*Capsicum annum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 10: 299-311.
- Singh RR, Shukla R (2001). In vitro shoot differentiation in *Capsicum annum* L. var. *Accuminatum*. *Journal of the Indian Botanical Society*, 80: 301-303.
- Sinha RK (2004). *Modern plant physiology*. Alpha Science International. Nueva Delhi, India; p: 620.
- Skoog F, Miller CO (1957). Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured in vitro. *Symposium of the Society of Experimental Biology*, 11: 118-130.

- Skoog F (1944). Growth and organ formation in tobacco tissue cultures. *American Journal of Botany*, 31: 19-24.
- Smith CE (1967). Plant remains. En: Byers D. S. (ed.). *The prehistory of the Tehuacan Valley*, vol. 1. Environment and subsistence. University of Texas Press. Austin, Texas, EEUU; pp: 220–225.
- Smith PM, Atkins CA (2002). Purine biosynthesis. Big in cell division, even bigger in nitrogen assimilation. *Plant Physiology*, 128: 793-802.
- Song H-S, Kim J-H, Kim D-H, Kim H-Y (2007). Qualitative and quantitative analysis of genetically modified pepper. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17: 335-341.
- Sterling C (1951). Origin of buds in tobacco stem segments cultured in vitro. *American Journal of Botany* 38: 761-767.
- Street HE (1976). Cell cultures: a tool in plant biology. En: *Cell genetics in higher plants*. Dudits D, Farkas GL, Maliga P (eds). Budapest Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungría; pp: 7-38.
- Subhash K, Christopher T (1988). Direct plantlet formation in cotyledon cultures of *Capsicum frutescens*. *Current Science*, 57: 99-100.
- Subhash K, Prolaram B (1987). Induction of multiple shoots by gamma rays from cotyledon cultures of *Capsicum*. *Current Science*, 56: 1289-1291.
- Sun ZJ, Wang M (1989). Study on shoot-tip meristem culture in *Capsicum*. *Capsicum Newsletter*, 9: 42.
- Szasz A, Nervo G, Fari M (1995). Screening for in vitro shoot forming capacity of seedling explants in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) genotype, and efficient plant regeneration using thidiazuron. *Plant Cell Reports*, 14: 666-669.
- Takayama S, Misawa M (1979). Differentiation in *Lilium* bulb scales grown in vitro: Effects of various cultural conditions. *Physiologia Plantarum*, 46: 184-190.
- Tamura S (1990). Historical aspects of gibberellins. En: *Gibberellins*. Takahashi N, Phinney BO, Macmillan J (eds). Springer-Verlag, Nueva York, EEUU; pp: 1-8.
- Subba TS, Rupavathi T, Aniel KO (2016). Applied concepts in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). Special reference to in vitro and molecular studies. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Alemania.

- Taylor RL (1967). The foliar embryos of *Malaxis paludosa*. Canadian Journal of Botany 45: 1553-1556.
- Thorpe TA (1980). Organogenesis in vitro: Structural, physiological and biochemical aspects. En: Vasil IK (ed). Perspectives in plant cell and tissue culture. Academic Press, Nueva York, EEUU; pp: 71-111.
- Thorpe TA, Murashige T (1970). Some histochemical changes underlying shoot initiation in tobacco callus cultures. Canadian Journal of Botany, 48: 277-285.
- Tisserat B, Esan EB, Murashige T (1979). Somatic embryogenesis in angiosperms. Horticultural Reviews 1: 1-78.
- Tiza Arias G (2010) "Propagación in vitro de las orquídeas *Dendrobium*, *Laelia anceps*, *Phalaenopsis* y *Sobralia xantholeuca*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana. Orizaba, Ver.
- Tran Thanh Van K (1980). Control of morphogenesis by inherent and exogenously applied factors in thin cell layers. En: Vasil, I. K. (ed.). Perspectives in plant cell and tissue culture. Academic Press, Nueva York, EEUU; pp: 175-194.
- Tukey HB (1934). Artificial culture methods for isolated embryos of deciduous fruits. Proceedings of the American Society of Horticultural Science 32: 313-322.
- Van Overbeek J, Conklin ME, Blakeslee AF (1941). Factors in coconut milk essential for growth and development of very young *Datura* embryos. Science, 94: 350-351.
- Venkataiah P, Christopher T, Subhash K, Thiadiazuron (2003). Induced high frequency adventitious shoot formation and plant regeneration in *Capsicum annuum* L. Journal of Plant Biotechnology, 5: 245-250.
- Verma S, Dhiman K, Srivastava DK (2013). Efficient in vitro regeneration from cotyledon explants in bell pepper (*Capsicum annuum* L. cv. California wonder). International Journal of Advanced Biotechnology and Research, 4: 391-396.
- Villarreal B (2015). ¿Cómo se forman las nuevas plantas in vitro? Morfogénesis in vitro, organogénesis, embriogénesis somática. En: Plantas de probeta, Manual para la propagación por cultivo de tejidos. Sharry S, Adema M, Abedini W (eds). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Argentina; pp: 92-101.
- Vits L, De Boule K, Reyniers E, Handig I, Darby JK, Oostra B, Willems PJ (1994). Apparent regression of the CGG repeat in FMR1 to an allele of normal size. Human Genetics, 94: 523-526.

- Waizel BJ, Camacho MR (2011). El género *Capsicum* spp. (el chile). ALEPH ZERO Revista de Divulgacion Cientifica y Tecnologica, e60-0067-e60-79.
- Wani, SH, Kumar V, Shriram V, Kumar, Sah SK (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*, 4: 162-176.
- White PR (1939). Controlled differentiation in a plant tissue culture. *Bulletin of Torrey Botanical Club*, 66: 507–513.
- White PR (1939). Potentially unlimited growth of excised plant callus in an artificial nutrient. *American Journal of Botany* 26: 59–64.
- Wolter KE, Skoog F (1966). Nutritional requirements of *Fraxinus* callus cultures: *American Journal of Botany*, 53: 263-269.
- Wolters H, Jurgens G (2009). Survival of the flexible: hormonal growth control and adaptation in plant development. *Nature Reviews Genetics*, 10: 305–317.
- Zhao XC, Qu X Mathews DE, Schaller GE (2002). Effect of ethylene-pathway mutations upon expression of the ethylene receptor ETR1 from *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 130: 1983-1991.
- Zhou ZX, Zhang ZJ, Jiu YJ, Jiang QY, Mi JJ (1994). In vitro plant regeneration from cotyledon explants of *Capsicum annuum*. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 9: 59-63.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CALIDAD DE SEMILLA Y COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE MESTIZOS DE  
MAÍZ EN DIFERENTES AMBIENTES**

**QUE PRESENTA**

**JOB AMIGÓN JUÁREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**

**CO-DIRECTOR: MC. J. GUADALUPE GARCÍA RODRÍGUEZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.**

**JUNIO, 2018**

La tesis “Calidad de semilla y comportamiento agronómico de mestizos de maíz en diferentes ambientes”, fue realizada por el estudiante **Job Amigón Juárez**, bajo la dirección del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y asesoría de MC. J. Guadalupe García Rodríguez, Dr. Enrique Andrio Enríquez y Dr. Mariano Mendoza Elos revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_

**MC. J. Guadalupe García Rodríguez**

**Cédula: 4142620**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Enrique Andrio Enríquez**

**Cédula: 8125558**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Mariano Mendoza Elos**

**Cédula: 3262824**

## **Dedicatoria**

### **Dedicatoria**

En especial a Dios, por darme la vida y brindarme los medios necesarios para continuar mi formación profesional, el cual le debo todo lo que soy, agradecido en todo lugar y momento.

Gracias Dios por darme la oportunidad de culminar mi maestría a pesar por todas las situaciones difíciles por las que he pasado, pero sobre todo por los momentos buenos por los que he estado. Porque gracias a ti Dios soy la persona que siempre he anhelado.

### **A mi esposa e hijas**

A mi esposa Jannet e hijas Alice, Isabella y Gissel gracias por el tiempo que estuve distante de ustedes para realizar este proyecto en la vida, por cada momento que han dedicado en hacerme feliz los días estando lejos. Por creer en mí, por ser esa fortaleza en mi vida y ser el motivo de mi superación; les dedico este trabajo.

### **A mis padres**

Job Amigón Utrera y María Juárez García quienes me han guiado en la vida y siempre me dan su apoyo incondicional, gracias por creer en mí y ser mi ejemplo a seguir.

A mi hermana Navora Guadalupe, por apoyarme en todo momento en la vida.

A todos mis compañeros del Instituto Tecnológico de Roque que de una u otra forma me han apoyado en la realización de este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT):** Por darme los recursos necesarios para poder llevar a cabo mi posgrado además de aprender y forjarme como profesionista y darme todas las herramientas necesarias.

**Al Instituto Tecnológico de Roque:** Por acobijarme en su institución y darme la confianza para llevar a cabo la Maestría en Ciencias, gracias a todo el personal por darme la mano y brindarme su confianza incondicional.

**Al Dr. Francisco Cervantes Ortiz,** por la dirección, orientación y revisión de este trabajo, gracias a su apoyo incondicional en todo momento para poder llevar a cabo este trabajo y culminar mi investigación. Le agradezco por la confianza depositada en mí para realizar el posgrado, la paciencia, disponibilidad y conocimientos aportados hacia mi trabajo y persona.

**Al MC. J. Guadalupe García Rodríguez,** quien me apoyo en la realización de este trabajo con sus asesorías y sugerencias.

**Al Dr. Enrique Andrio Enríquez,** por el tiempo dedicado a este trabajo, por la paciencia, consejos y la confianza depositada en mi persona para guiar cursos en licenciatura.

**Al Dr. Mariano Mendoza Elos,** por el conocimiento aportado para el desarrollo de esta tesis, los conocimientos que me brindo durante mi formación como profesionista.

A los profesores por brindarme los conocimientos y las atenciones adecuadas en mi formación personal, académica, profesional y social. Les agradezco por darme su confianza, el tiempo de atención y formar parte de su trabajo académico. Gracias porque de todos aprendí algo bueno, como persona y estudiante.



A mis compañeros de maestría gracias a todos ellos por su amistad y apoyo incondicional, por sus buenos días y tardes, porque ahí estuvieron cuando los necesite; por su aprecio, confianza y cariño mil gracias.

## ÍNDICE

índice de tablas .....	ix
índice de figuras .....	XI
resumen .....	XII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	6
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	7
3.1 Producción mundial de maíz .....	7
3.2 Producción de maíz en México .....	9
3.3 Producción de maíz en Guanajuato .....	10
3.4 Mejoramiento genético .....	11
3.5 Métodos de selección de mejoramiento .....	12
3.5.1 Esquemas de selección.....	12
3.6 Híbridos convencionales .....	13
3.7 Tipos de híbridos.....	13
3.7.1 Híbrido simple (A X B) .....	14
3.7.2 Cruzas de líneas hermanas.....	14
3.7.3 Híbrido triple (A x B) (C) .....	14
3.7.4 Cruza modificada de tres líneas .....	14
3.7.5 Híbrido doble (A x B) (C x D) .....	15
3.7.6 Cruza regresiva doble .....	15
3.7.7 Cruza regresiva simple.....	15
3.7.8 Cruzas múltiples.....	16
3.7.9 Sintéticos.....	16
3.8 Híbridos no convencionales .....	16
3.8.1 Híbrido intervarietal .....	17
3.8.2 Mestizo (línea x probador).....	17
3.9 Maíz criollo .....	17
3.10 Mejoramiento de maíces criollos .....	18
3.11 Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos .....	18
3.12 Incorporación de nuevas características a los maíces criollos .....	19
3.13 Interacción genotipo-ambiente .....	19
3.14 Calidad de semilla .....	21
3.15 La calidad de la semilla y sus componentes .....	22
3.15.1 Calidad genética.....	22
3.15.2 Calidad fisiológica .....	23
3.15.3 Calidad sanitaria.....	23
3.15.4 Calidad física.....	24
3.16 Cosecha .....	24
3.16 Secado de la semilla .....	25
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27

4.1 Localización del área de trabajo .....	27
4.2. Preparación del terreno .....	28
4.3. Material genético .....	29
4.4 Siembra .....	32
4.5 Riego .....	33
4.6 Fertilización .....	33
4.7 Control de plagas y enfermedades.....	34
4.8 Control de malezas .....	35
4.9 Diseño experimental.....	35
4.10 Variables registradas en laboratorio.....	35
4.10.1 Peso de 100 semillas .....	35
4.10.2 Caracteres de calidad física .....	35
4.10.3 Caracteres de calidad fisiológica.....	36
4.11 Variables registradas en campo .....	37
4.11.1 Vigor visual de plántula (VV) .....	37
4.11.2 Días a floración femenina (DFF) .....	38
4.11.3 Días a floración masculina (DFM) .....	38
4.11.4 Índice de clorofila (ICL).....	39
4.11.5 Altura de la planta (APL) .....	40
4.11.6 Altura de mazorca (AM).....	40
4.11.7 Numero de hojas arriba de la mazorca (HAM) .....	41
4.11.8 Numero de hojas abajo de la mazorca (HBM).....	41
4.11.9 Número total de hojas (NHT).....	41
4.11.10 Aspecto general de planta (AGPL).....	41
4.11.11 Acame de tallo (ACT) .....	42
4.11.12 Acame de raíz (ARZ).....	42
4.11.13 Cobertura de mazorca (CMZ).....	42
4.11.14 Mazorcas podridas (MP) .....	43
4.12 Rendimiento y sus componentes .....	43
4.12.1 Rendimiento de campo (RC) .....	43
4.12.2 Índice de prolificidad (IP) .....	44
4.12.3 Longitud de mazorca (LM).....	45
4.12.4 Diámetro de mazorca (DM) .....	45
4.12.5 Numero de hileras por mazorca (HM) .....	45
4.12.6 Numero de granos por hilera (GHM) .....	45
4.12.7 Porcentaje de desgrane (PD) .....	46
4.12.8 Peso volumétrico (PV).....	46
4.13 Cosecha .....	46
4.14 Secado de la semilla .....	46
4.15 Análisis estadístico de datos .....	46
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
5.1 calidad de semilla .....	48
5.2 Caracteres agronómicos .....	54
5.3 Rendimiento de campo y sus componentes.....	66

VI. CONCLUSIONES ..... 78  
VII. LITERATURA CITADA..... 80

	Pág.	
<b>Tabla 3.1</b>	Superficie sembrada con maíz en zona temporal y sistema de riego en el estado de Guanajuato	11
<b>Tabla 3.2</b>	Atributos de las cuatro cualidades de la semilla	22
<b>Tabla 4.1</b>	Progenitores para la formación de mestizos	31
<b>Tabla 4.2</b>	Mestizos formados para la evaluación de la calidad de la semilla	31
<b>Tabla 4.3</b>	Fechas de siembra y cosecha de los ambientes evaluados	33
<b>Tabla 5.1</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad de semilla de mestizos de maíz Roque, Celaya, Gto. 2016	49
<b>Tabla 5.2</b>	Comparación de medias para calidad de semilla en mestizo de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2016	50
<b>Tabla 5.3</b>	Comparación de medias para calidad de semilla en mestizo de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2016	52
<b>Tabla 5.4</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres agronómicos en mestizos de maíz Roque, Celaya, Gto. 2017	55
<b>Tabla 5.5</b>	Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizo de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2017	56
<b>Tabla 5.6</b>	Cuadrados medios para caracteres agronómicos en mestizos de maíz Roque, Celaya, Gto. 2017	58
<b>Tabla 5.7</b>	Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizo de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2017	59
<b>Tabla 5.8</b>	Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizo de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2017	61

<b>Tabla 5.9</b>	Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres agronómicos en mestizos de maíz Roque, Celaya, Gto. 2017	63
<b>Tabla 5.10</b>	Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizo de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2017	64
<b>Tabla 5.11</b>	Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizo de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2017	65
<b>Tabla 5.12</b>	Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz Roque, Celaya, Gto. 2017	67
<b>Tabla 5.13</b>	Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz para el centro de México, Roque, Celaya, Gto. 2017	69
<b>Tabla 5.14</b>	Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz Roque, Celaya, Gto. 2017	70
<b>Tabla 5.15</b>	Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz para el centro de México, Roque, Celaya, Gto. 2017	71
<b>Tabla 5.16</b>	Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz Roque, Celaya, Gto. 2017	73
<b>Tabla 5.17</b>	Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz para el centro de México, Roque, Celaya, Gto. 2017	74
<b>Tabla 5.18</b>	Valores medios del comportamiento de la interacción genotipo-ambiente (G*A) en maíz, para el centro de México.	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
<b>Figura 3.1</b>	Producción mundial de maíz	8
<b>Figura 3.2</b>	Participación en la producción de maíz por estado en 2015 (m ton)	10
<b>Figura 3.3</b>	Interacción genotipo-ambiente	20
<b>Figura 4.1</b>	Instituto tecnológico de Roque	27
<b>Figura 4.2</b>	Apaseo el grande	28
<b>Figura 4.3</b>	Preparación del terreno	29
<b>Figura 4.4</b>	Material vegetal	30
<b>Figura 4.5</b>	Material vegetal tratado para eliminar la presencia de insectos	30
<b>Figura 4.6</b>	Siembra en Roque el 29 de marzo y Apaseo el 7 de abril	32
<b>Figura 4.7</b>	Siembra en Roque el 9 de Junio (tercer ambiente)	33
<b>Figura 4.8</b>	Aplicación de fertilización (urea 46-00-00)	34
<b>Figura 4.9</b>	Vigor visual de planta en Apaseo el grande	37
<b>Figura 4.10</b>	Vigor visual de planta en Roque primer ambiente	37
<b>Figura 4.11</b>	Floración femenina (jilote) con estigmas de dos a tres cm de longitud	38
<b>Figura 4.12</b>	Floración masculina (espiga) con anteras liberando polen	39
<b>Figura 4.13</b>	Determinación del índice de clorofila	39
<b>Figura 4.14</b>	Altura de planta en mestizos de maiz	40
<b>Figura 4.15</b>	Cobertura de la mazorca	43

## RESUMEN

México es denominado centro de origen del maíz (*Zea mays* L.) y como tal, la especie posee una amplia diversidad genética. Una forma de aprovechar la amplia diversidad genética es a través de los procesos de mejoramiento para el desarrollo de nuevos materiales. En este contexto, existe en el mercado una amplia gama de materiales mejorados, pero esta tecnología no está al alcance de muchos agricultores, porque muchas veces no es posible conseguirla o porque su precio alto. En términos de rendimiento, los híbridos han mostrado ser notablemente superiores a las variedades pero los pequeños productores suelen preferir sus variedades locales por la amplia adaptación a factores bióticos y abióticos que estos últimos presentan. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad física y fisiológica de semilla y el comportamiento agronómico de mestizos de maíz a través de ambientes en la región del Bajío Guanajuatense. El trabajo de investigación se estableció en 3 ambientes en el sureste de Guanajuato; Roque Celaya, Gto (dos fechas; 29/03/17 y 09/06/17) y Apaseo el Grande, Celaya, Gto., en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2017. Se evaluaron 36 genotipos; 21 fueron criollos mejorados, 7 poblaciones criollas, 3 líneas endogámicas y 5 testigos regionales. En los tres ambientes se usó un diseño experimental de látice parcialmente balanceado 6 x 6 y tres repeticiones. Los surcos se conformaron de 5 m de longitud y 0.80 m de separación y se utilizaron solamente tres metros centrales como parcela útil. En semilla se determinó el peso de 100 semillas, porcentaje de emergencia, velocidad de emergencia, peso seco de vástago e índice de vigor 1 y 2. En campo se registraron las siguientes características agronómicas: vigor inicial, índice de clorofila, días a floración masculina y femenina, número de hojas arriba y abajo de la mazorca, aspecto general de planta, altura de planta y mazorca, acame de tallo y raíz, sanidad de mazorca, cobertura de mazorca, índice de prolificidad, rendimiento de campo y sus componentes (longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, granos por hilera), porcentaje de desgrane y peso volumétrico. Los resultados del análisis de varianza para la calidad de la semilla expresaron efecto



significativo ( $P \leq 0.05$ ) para genotipos en todos los caracteres evaluados. El mestizo Jaral X TNM-87 registró el mejor peso de semilla (61.8 gr). Para porcentaje de emergencia el 96% de los genotipos superaron el porcentaje germinación establecido por el SNICS. Con respecto al peso seco, la mayoría de los materiales tuvieron comportamiento similar; con excepción de la línea TNM-87 que mostró el peor comportamiento. Respecto al índice de vigor 1 todas las cruzas tuvieron un comportamiento similar, a excepción de las líneas (promon, TNM-87 y TNM-106) registran el menor índice de vigor (1010.9 a 1016.7). Con respecto al IV2, la cruza Peña Colorada x Promon y la población Mestizo 1 registran el mayor valor (207.4 y 210.3) y las líneas TNM-87 y TNM-106 presentaron el índice más bajo. En la evaluación de campo, los materiales mostraron una fuerte variación genética expresada a través del fenotipo, debido al origen de estos y al ambiente de evaluación. En este sentido, los materiales más precoces alcanzaron la floración masculina entre los 68 y 70 días (promon, M2RC2 y Celaya x promon); mientras que, los genotipos más tardíos lo hicieron entre los 73 a 75 días (Jaral x TNM-87, Celaya x TNM-106, M2 x promon, H.MME, Querétaro x TNM-106, Peña col x TNM-87, M2 x TNM-87 y Querétaro x promon). Por otra parte, todos los genotipos evaluados presentaron un índice de clorofila de 54 a 60 unidades SPAD, lo que indica que todos los materiales tienden a tener un alto potencial de rendimiento de campo. Por otro lado, las cruzas Peña col x promon, M1 x promon, M2 x TNM-87, Celaya x TNM-87 y Peña col x TNM-106 obtuvieron rendimientos superiores a las 9.5 ton ha<sup>-1</sup> en el primer ambiente de Roque (29/3/17). Del mismo modo, los materiales con mayor estabilidad fenotípica para rendimiento de campo fueron Peña col x promon, M2 x TNM-87 y M1 x promon rebasando las 6 ton ha<sup>-1</sup> en los ambientes de evaluación. Por otro lado, los genotipos Peña col x promon y M2 x TNM-87 también presentaron valores superiores en los componentes de rendimiento. Finalmente, el ambiente de Roque en ambas fechas de siembra mostró la respuesta para todos los genotipos evaluados.

## SUMMARY

Mexico is called center of origin of Maize (*Zea Mays* L.) and as such, the species possesses a wide genetic diversity. One way to take advantage of the broad genetic diversity is through the improvement processes for the development of new materials. In this context, there is a wide range of improved materials on the market, but this technology is not available to many farmers, because it is often not possible to achieve it or because of its high price. In terms of yield, hybrids have shown to be notably superior to varieties but small producers tend to prefer their local varieties because of the wide adaptation to biotic and abiotic factors that the latter present. The objective of this research was to evaluate the physical and physiological quality of seed and the agronomic performance of maize mestizos through environments in the Bajío Guanajuato region. The research work was established in 3 environments in southeastern Guanajuato; Roque Celaya, GTO (two dates; 29/03/17 and 09/06/17) and grooming El Grande, Celaya, GTO., in the spring-summer agricultural cycle, 2017. 36 genotypes were assessed; 21 were improved creoles, 7 Creole populations, 3 inbred lines and 5 regional witnesses. In the three environments, an experimental design of lattice partially balanced 6 x 6 and three replicates was used. The furrows were formed of 5 m of length and 0.80 m of separation and only three central meters were used as useful plot. In seed, the weight of 100 seeds, emergency percentage, emergency velocity, dry stem weight and vigor index 1 and 2 were determined. In the field, the following agronomic characteristics were recorded: initial vigor, chlorophyll index, days to male and female flowering, number of leaves above and below the cob, general appearance of plant, plant and cob height, stem and root lodging, Ear health, ear cover, prolificacy index, field yield and its components (ear length, ear diameter, number of rows per ear, grains per row), percentage of devastation and weight volumetric. The results of the analysis of variance for the quality of the seed expressed significant effect ( $P \leq 0.05$ ) for genotypes in all the characters evaluated. The mestizo Jaral X TNM-87 recorded the best seed weight (61.8 gr). For an emergency percentage, 96% of the genotypes exceeded the germination percentage

established by the SNICS. With respect to dry weight, most materials had similar behavior; Except for the TNM-87 line that showed the worst behavior. With respect to the index of Vigor 1 all the crosses had a similar behavior, with the exception of the lines (Promon, TNM-87 and TNM-106) record the lowest rate of vigor (1010.9 to 1016.7). With respect to the IV2, the crosses Peña Colorada x Promon and the Mestizo population 1 record the highest value (207.4 and 210.3) and the lines TNM-87 and TNM-106 presented the lowest index. In the field evaluation, the materials showed a strong genetic variation expressed through the phenotype, due to the origin of these and the Environment of evaluation. In this sense, the most precocious materials reached the male flowering between 68 and 70 days (Promon, M2RC2 and Celaya x Promon); Whereas, the later genotypes did it between 73 to 75 days (Jaral x TNM-87, Celaya x TNM-106, M2 x Promon, H. MME, Queretaro x TNM-106, Peña Col x TNM-87, M2 x TNM-87 and Queretaro x Promon). On the other hand, all genotypes evaluated showed a chlorophyll index of 54 to 60 SPAD units, indicating that all materials tend to have a high potential field performance. On the other hand, the crosses Peña Col x Promon, M1 x Promoton, M2 x TNM-87, Celaya x TNM-87 and Peña Col x TNM-106 obtained yields higher than the 9.5 ton ha<sup>-1</sup> in the first environment of Roque (29/3/17). Similarly, the materials with the highest phenotypic stability for field performance were Peña col x Promon, M2 x TNM-87 and M1 x Promon exceeding 6 ton ha<sup>-1</sup> in the evaluation environments. On the other hand, the genotypes Peña col x promon and M2 x TNM-87 also showed higher values in the performance components. Finally, Roque's environment in both sowing dates showed the answer for all the genotypes evaluated.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es el cultivo agrícola que más se produce en el mundo, debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y el uso industrial, se ha convertido en uno de los productos más influyentes en los mercados internacionales; su importancia económica y social es relevante pues su producción se realiza en un número de países superior al de cualquier otro cultivo, además de ser fuente de empleo y alimento para un número importante de personas en el mundo (USDA, 2017).

En México, se siembra cerca de ocho millones de hectáreas y se producen 23,000,000 ton aproximadamente (SIAP, 2016). De la superficie nacional establecida, alrededor de 3.0 millones de ha se ubican en áreas de riego y buen temporal, mientras que el resto se localizan en tierras de mediana productividad.

En 2017 la producción de maíz por país México está en el séptimo lugar por debajo de Ucrania, Argentina, Brasil, China y Estados Unidos es el principal productor (USDA, 2017). En el entorno nacional, la producción de maíz grano presenta una marcada recuperación a partir del año agrícola 2011, cuando la producción cayó a su nivel más bajo de los últimos 10 años. Estimaciones de SIAP (2015) ubican la producción de maíz en 24.95 millones de toneladas en el año agrícola 2015, lo que representa un incremento de 7.2 por ciento en relación al año agrícola 2014.

Los principales estados productores del cultivo destacaron en la producción establecida Sinaloa ocupando el primer lugar con 7.3 millones de toneladas seguido de Jalisco, Michoacán, Chihuahua y Guanajuato, los que en conjunto aportaron el 61% de la producción nacional del año agrícola hasta diciembre. SIAP-SAGARPA (2017) mientras en el estado de Guanajuato los principales productores de maíz son Cortázar, Celaya y León.

El mercado mundial de maíz atraviesa un periodo de recuperación ya que la producción, consumo e inventarios finales del grano presentaron niveles récord durante el ciclo 2014/15. USDA (2016) estima que para el ciclo 2015/16 la producción mundial de maíz se ubicará en 978.1 millones de toneladas, una disminución de 2.8 por ciento en relación con la producción máxima histórica del ciclo 2014/15. Inversamente, el consumo mundial del grano en el ciclo 2015/16 se estima con un crecimiento a tasa anual del 1.0 por ciento ante crecimientos de 1.0 por ciento tanto en el consumo forrajero como en el consumo humano, industrial y semilla. Las proyecciones USDA estiman un consumo de 985.8 millones de toneladas, el nivel más alto de la historia (USDA, 2016).

La oferta en el mercado de semilla mejorada de maíz a nivel nacional está concentrada sólo en algunas empresas, el 85.3% de la producción es generada por grandes empresas, el 9.1% está en manos de empresas pequeñas, 3.8% proviene de las sociedades de producción rural y el resto 1.8% es producida por personas físicas e instituciones de investigación (García y Ramírez, 2014). Para solventar esta situación, una alternativa es la formación de pequeñas y medianas empresas productoras de semilla mejorada. Al respecto Trejo *et al.* (2004), señalan que es factible que organizaciones de agricultores o microempresas produzcan y comercialicen semilla mejorada de maíz en ámbitos geográficos definidos, lo que estimula así el uso de variedades mejoradas por parte de los productores tradicionales y constituyan además una estrategia viable de abastecimiento de tal insumo a precios accesibles al agricultor.

Para la producción de semilla de maíz es básico conocer las características genéticas de los progenitores (líneas y cruza simples), el ambiente (cantidad y distribución de la precipitación y temperatura, radiación y características físico-químicas del suelo) y la interacción genotipo-ambiente, con el fin de obtener el mejor rendimiento y calidad de semilla, al menor costo y con el uso eficiente de los insumos

y recursos naturales conducente a una agricultura sustentable. Existe poca información sobre la mejor tecnología de producción de semillas, por lo que se ha utilizado la tecnología para producir grano con algunas modificaciones (Vallejo *et al.*, 2008).

También la precisión en la evaluación de estos caracteres depende del grado de interacción con el ambiente y de los mecanismos genéticos que controlan su expresión, los cuales no pueden siempre hacerse una valoración correcta de la diferencias genéticas, esto puede minimizarse midiendo los caracteres en varios ambientes o limitando las comparaciones en aquellos caracteres (cualitativos) en los cuales el efecto de la interacción con el ambiente es menor. Silvia *et al.* (2009) mencionan que actualmente, existen metodologías para combinar materiales genéticamente mejorados con poblaciones de maíz nativo como donadores de características agronómicas útiles como la tolerancia a déficits de humedad (Ramírez-Díaz *et al.*, 2015). Sin embargo, el reto de los mejoradores es identificar genotipos que presenten alto rendimiento de grano y comportamiento estable a través de ambientes contrastantes; este es el primer paso para implementar un programa de mejoramiento genético que incluya poblaciones de maíz nativo sobresalientes (Luna *et al.*, 2015).

Por otro lado, la interacción genotipo x ambiente (IGA) ocurre cuando los genotipos responden de manera diferente a las variantes del ambiente, lo que impide avanzar en los procesos de selección (Bazinger *et al.*, 2012). Sin embargo, acerca de la importancia de la interacción  $G \times A$ , Gauch y Zobel (2007) explican que "si no hubiera interacción, en una sola variedad de maíz o cualquier otro cultivo se podría alcanzar aquella que rendiría más en todo el mundo, y además el ensayo de cultivos se podría realizar en una sola ubicación y proporcionar resultados universales". Por su parte, Sprague y Eberhart (2008) recomiendan aumentar el número de ambientes para evaluación de los ensayos si la interacción  $G \times A$  se debe a factores impredecibles del ambiente.

Por su parte, Douglas (2011) indica que la calidad de la semilla es muy importante al ser esencial para la supervivencia de la humanidad; ésta, almacena el más alto potencial genético que la ciencia pudiera llegar a desarrollar, y además la considera como un elemento vital para el desarrollo de la agricultura moderna. La adopción de semilla mejorada es un proceso de cambio que permitiría alcanzar a México niveles competitivos en la producción. Por otro lado, Preciado *et al.* (2015) Mencionan que una alternativa para aumentar el uso de semillas mejoradas es incrementar el potencial de rendimiento de los materiales genéticos mejorados, con la finalidad de que sea económicamente viable el costo de la semilla y como lo dicta la ley de la demanda que un menor precio de la semilla mejorada determinará una mayor cantidad aprovechada.

Se debe tener en cuenta que la adopción de mejores tecnologías es un requisito para que los productores de maíz mejoren su competitividad, se estima que es posible aumentar la productividad sostenible de este cereal en México en corto plazo, sin incrementar la superficie sembrada y sin utilizar transgénicos, sólo mediante la aplicación de prácticas de cultivo y variedades mejoradas disponibles (Turrent *et al.*, 2012). No obstante lo anterior, en México solo el 26% de las superficie nacional establecida, se siembra con semilla mejorada y el resto 74% con criollos locales (Espinosa *et al.*, 2002).

Los programas de mejoramiento genético dedicados a la formación de híbridos y variedades comerciales de maíz, requieren generar nuevas líneas con alto potencial de rendimiento, buen comportamiento agronómico y excelente aptitud combinatoria; se ha encontrado que las líneas que reúnen estas características presentan resultados satisfactorios en combinaciones híbridas (Fan *et al.* 2003).

Por su parte, Noriega *et al.* (2011) menciona que el ambiente juega un papel importante en el desarrollo de la planta de maíz, el efecto de la temperatura puede

influir en la etapa de emergencia, diferenciación floral, espigamiento, floración masculina y femenina y madurez fisiológica. En un lote de producción de semilla híbrida, los requerimientos térmicos de cada progenitor permiten el manejo adecuado de los mismos, para lograr la sincronía floral indispensable para la formación de grano.

La calidad de semilla de maíz es importante para los agricultores y la industria semillera. Para el agricultor, porque de ellos depende el número de plantas existentes en un área determinada de cultivo, es decir, prefiere aquellas que muestran un alto vigor (Delouche y Cadwell, 1962). Por otra parte, Delouche (1985) recomienda que en programas de mejoramiento genético se incluyan caracteres relacionados con la calidad de semilla, ya que esto incrementaría la resistencia al deterioro de campo, la longevidad durante su almacenamiento, si como su capacidad de germinación y emergencia en condiciones no favorables.



## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad física y fisiológica de semilla y el comportamiento agronómico de mestizos de maíz a través de diferentes ambientes en la región del Bajío de Guanajuato.

### 2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad física y fisiológica de maíces criollos mejorados.
- Obtener la semilla de mestizos de maíz (línea x población) con una buena calidad.
- Determinar el comportamiento agronómico de mestizos de maíz en tres ambientes del estado de Guanajuato.
- Obtener un genotipo de maíz (mestizo) con mayor adaptabilidad que los materiales ya adaptados al Bajío Guanajuatense.

### 2.3. Hipótesis

Los mestizos de maíz presentan mejor comportamiento agronómico-productivo y una alta calidad de semilla comparado con poblaciones nativas.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

En México, el maíz es el cultivo más importante desde el punto de vista alimenticio, económico, industrial y social, se siembran cerca de ocho millones de hectáreas y se producen 23 000 000 ton aproximadamente (SIAP, 2014). De la superficie nacional establecida, alrededor de 3.0 millones de ha se ubican en áreas de riego y buen temporal, mientras 3.5 millones de ha se localizan en tierras de mediana productividad. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial, ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (SEDGIB, 2012).

Por otro lado, Figueroa *et al.* (2013) y Gaytán *et al.* (2013) mencionan que la semilla de los materiales nativos ofrece calidad en los alimentos; característica que depende de la calidad de la semilla y de su procesamiento, de tal manera que para agregar valor a las actuales estrategias de conservación, es indispensable caracterizar las razas de maíz y los maíces mejorados desde una perspectiva de calidad, a fin de ligar las preferencias de los consumidores con las características de la materia prima.

#### 3.1 Producción mundial de maíz

Los principales granos que se producen en el mundo son: maíz, trigo y arroz, como se observa en la figura 3.1. El de mayor participación es el maíz con 39% de la producción mundial, le sigue en importancia el trigo con 30% después el arroz con 21%. Estos tres granos concentran el 90% de la producción mundial en el ciclo 2010-2011 (ODEPA, 2013).

Entre los ciclos comerciales 2004/05 y 2014/15, la producción de maíz en el mundo presenta un crecimiento promedio anual de 3.5%, para ubicarse en este último en 1,008.7 millones de toneladas, lo que representa el nivel de producción más alto de la historia (Figura 3.1). Las expectativas para el 2015/16 ubican la producción

mundial de maíz con una reducción de 3.6 por ciento en relación a 2014/15, lo que se traduce en 972.6 millones de toneladas (USDA, 2016).

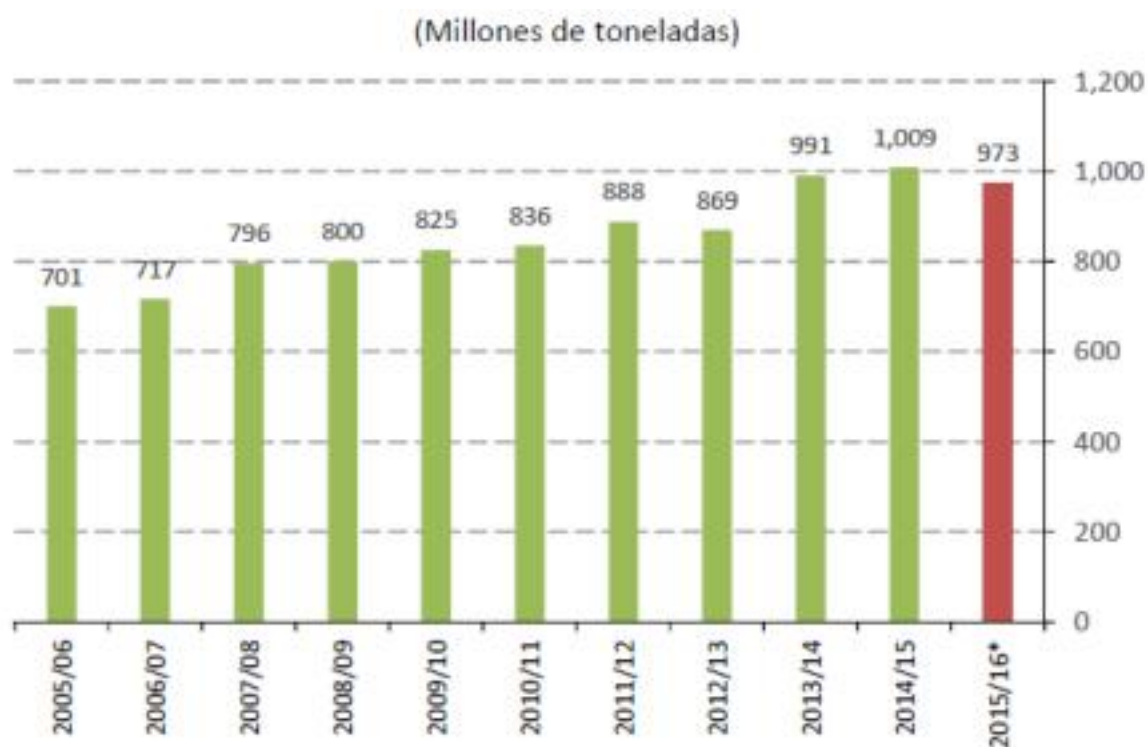


Figura 3.1 Producción mundial de maíz

Fuente: Elaborado por World Agricultural Supply and Demand Estimates (USDA).

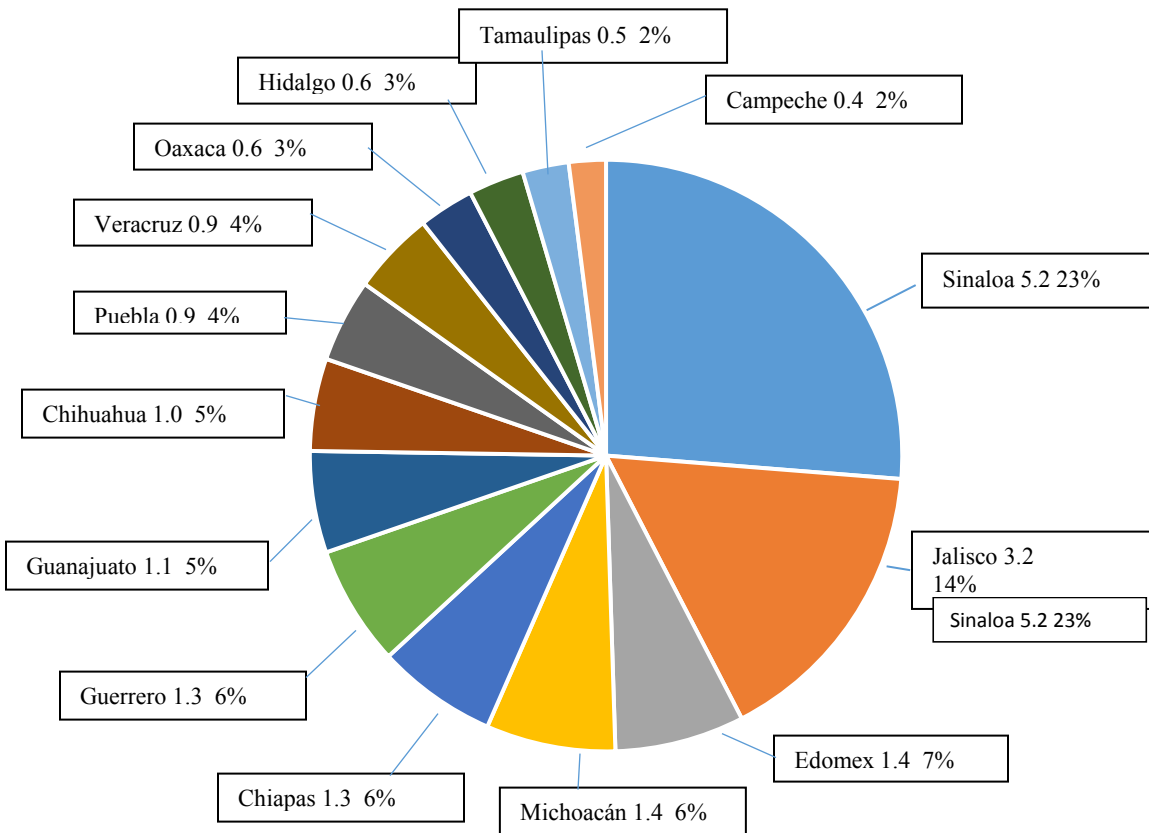
En el mundo los principales países productores de maíz son Estados Unidos y China, con más de la mitad de la producción mundial del grano como los muestra la Figura 3.2. Les siguen en importancia Brasil, Argentina y la Unión Europea entre otros donde se encuentra México en el séptimo lugar. Durante 2012-2013 Estados Unidos y China produjeron 273.8 y 208 millones de toneladas de maíz respectivamente, mientras que Brasil 74 millones y Argentina 26.5 millones de toneladas, siendo estos los principales países productores de maíz a nivel mundial. Cualquier situación que afecte la producción de alguno de ellos repercute inmediatamente en los precios internacionales del grano (USDA, 2016)

### 3.2 Producción de maíz en México

En México el rendimiento promedio por hectárea es de 3.2 t ha<sup>-1</sup>, el promedio mundial es de 5.2 t ha<sup>-1</sup>. México es el mercado más grande de maíz en el mundo, representando el 11% de consumo mundial (Secretaría de Economía, 2012).

Sin embargo, uno de los principales problemas del cultivo de maíz en México es la dualidad en la producción; por un lado una sexta parte de la superficie concentrada en el Norte del País, dedicada a este producto de riego y presenta rendimientos cercanos incluso a los USA, y por otro lado la mayor parte de la producción es de temporal y está dispersa por todo el país con rendimientos muy bajos, este último indicador bajo en los dos últimos años (2009-2010) respecto a los tres años que le antecedieron. Si bien la producción de maíz se reporta en todas las entidades federativas del país, 14 de ellas concentran 90% de la producción nacional. Datos de SAGARPA indican en el 2015 los principales estados productores de maíz fueron Sinaloa con una producción de 5.2 millones de toneladas y una participación de 23%; Jalisco con 3.2 millones de toneladas y el 14% de participación, y en tercer lugar el estado de México con 1.4 millones de toneladas y el 7% para dichos indicadores. Le siguen los estados de Michoacán, Chiapas, Guerrero, Guanajuato, Chihuahua, Puebla y Veracruz.

La mayor parte de la producción de maíz en México (95%) es de maíz blanco, mientras que la producción de maíz amarillo se reporta principalmente en los estados de Chihuahua, Jalisco, Tamaulipas, Sinaloa, Chiapas y Zacatecas.



**Figura 3.2 Participación en la producción nacional de maíz por estado en 2015 (m ton)**

**Fuente: (SAGARPA, 2015)**

### 3.3 Producción de maíz en Guanajuato

En el Estado de Guanajuato, el maíz es el alimento de mayor importancia, tan sólo en el año 2014 se sembraron 110,175.00 hectáreas bajo riego y 263,489.00 hectáreas en temporal. Dando por consiguiente una producción de 4, 152,031.10 ton ha<sup>-1</sup> en riego y 4,665.11 ton ha<sup>-1</sup> para la zona de temporal (SIAP, 2015).

Mientras tanto en el estado de Guanajuato los principales municipios productores de maíz es Cortázar con 92, 053 has sembradas, Celaya con 73, 261 has sembradas, León con 66, 498 has sembradas son los tres principales productores de maíz. (SIAP-SAGARPA, 2016) en la Tabla 3.1 se muestra la distribución de hectáreas sembradas en el estado de Guanajuato tanto en sistema de riego como temporal.

Tabla 3.1 Superficie sembrada con maíz en zona de temporal y sistema de riego en el estado de Guanajuato.

Riego			Temporal		
DDR	Superficie sembrada	Promedio ton/ha <sup>-1</sup>	DDR	Superficie sembrada	Promedio ton/ha <sup>-1</sup>
Cortazar	56,810	7.83	Cortazar	92,053	2.39
Celaya	12,445	6.47	Celaya	73,261	2.00
León	19,877	7.15	León	66,498	1.91
Dolores Hgo.	5,811	5.12	Dolores Hgo.	61,712	0.52
S.L. De la Paz	2,472	5.57	S. L. De la Paz	23,285	0.28
Estatad	97,414	6.43	Estatad	316,808	1.42

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2016.

### 3.4 Mejoramiento genético

En el mejoramiento genético del maíz, Hallauer *et al.* (2010) menciona que los fitomejoradores se ven en la necesidad de tomar dos decisiones: 1) escoger el germoplasma básico del programa de mejoramiento genético y 2) escoger el método de mejoramiento genético; Ortiz (1993) considera una tercera decisión fundamental, la cual está constituida por los criterios de selección.

Con ello, Ortiz (1993) y Chávez (1995), mencionan que el fitomejoramiento es el arte y la ciencia de mejorar características genéticas de las plantas, en relación a su uso económico, y como toda actividad humana, busca el beneficio del hombre; el objetivo fundamental es la obtención de variedades genéticamente mejoradas. Así que, el mejoramiento poblacional, se basa en el principio de selección controlada por el fitomejorador, el cual trata de eliminar efectos ambientales para obtener mejores genotipos de una población. Uno de los aspectos fundamentales en el mejoramiento, es el de introducir diversidad genética por cruzamientos de materiales con características sobresalientes, para luego seleccionar las plantas superiores para alcanzar altos niveles de adaptación, uniformidad genética y estabilidad agronómica (Borlaug, 1983).

Por otra parte, Márquez (2000) menciona que el mejoramiento genético dentro de una población consiste en identificar a los individuos que presenten las mejores características, logrando una evolución acelerada de dicha población bajo selección. Para esto, es necesario que exista variación no solo fenotípica sino también genética. El fitomejoramiento tiene un fin primordial que es la creación de variedades de alta producción por unidad de superficie, en una región determinada y con determinados procedimientos culturales. Además, el mejoramiento procura la obtención de materiales resistentes, precoces, de fácil adaptación y que además reúnan cualidades de calidad como alta cantidad de proteínas, aceite, almidón, entre otros (Robles, 1986).

### **3.5 Métodos de selección de mejoramiento**

#### **3.5.1 Esquemas de selección**

La selección se basa en escoger individuos que presenten características deseables y que son objetivo del investigador, para ello se considera como esquema de selección y métodos de mejoramiento. Desde el punto de vista del mejoramiento genético, la selección se basa en escoger los individuos que presentan las características deseadas por el mejorador (Hallauer y Miranda, 1988). La base para la selección puede ser de una planta individual, una familia de plantas o una progenie. A través del tiempo se han desarrollado esquemas de selección que son utilizados para mejorar características cuantitativas (Paliwal *et al.*, 2001).

En base a lo anterior, Chávez (1995) describe los esquemas de selección que se basan en el fenotipo de las plantas y que, por lo general, no comprenden una evaluación de las progenies: a) Selección masal, b) Selección masal estratificada, c) Selección masal Convergente-Divergente.

Sin embargo, hay esquemas de selección genotípica los cuales incluyen tres etapas en su desarrollo como: a) Muestreo y desarrollo de la población original, b) Evaluación de las progenies en bases visuales en campo y pruebas en laboratorio y

campo, y c) Recombinación de las progenies seleccionadas para formar el ciclo siguiente de la población para continuar la selección y mejoramiento. Estos métodos de mejoramiento son llamados: d) Selección recurrente de familias de medios hermanos, e) Selección recurrente de familias de hermanos completos, f) Selección de progenies autofecundadas. Los distintos sistemas de selección recurrente son generalmente agrupados en: 1) Sistemas de selección recurrente intrapoblacional, para formar una población (este método es usado para el mejoramiento de maíz); 2) Sistemas de selección recurrente interpoblacional; para más de dos poblaciones a la vez.

### **3.6 Híbridos convencionales**

Los componentes básicos de los híbridos de maíz son las líneas endogámicas. Éstas son el resultado de la autopolinización repetida de ciertas poblaciones de maíz con el fin de producir plantas que tienen una configuración genética fija y uniforme. En consecuencia, todas las plantas de una línea endogámica específica son idénticas, pero la configuración genética de cada línea endogámica es diferente de la de las otras líneas endogámicas. Debido a que el maíz normalmente se poliniza de forma cruzada, las líneas endogámicas generalmente son más pequeñas, menos vigorosas y menos rendidoras que las plantas de maíz de polinización libre, debido a un fenómeno denominado “depresión endogámica”. Los híbridos de maíz más comunes son los de cruce simple, cruce simple modificada, triple, doble, variedades sintéticas y dobles haploides (MacRobert et al., 2015).

### **3.7 Tipos de híbridos**

Los métodos que existen hoy en día para el mejoramiento genético son 1) líneas puras, 2) híbridos, 3) multilineas y 4) sintéticos.



### **3.7.1 Híbrido simple (A X B)**

Una cruce simple (A x B), ocurre entre dos genotipos diferentes, generalmente líneas endocreadas. Se utiliza para formar cruces triples y dobles; también se denomina híbrido simple (Chávez, 1993).

### **3.7.2 Cruzas de líneas hermanas**

La cruce de líneas hermanas (A x A') X (B x B'), son combinaciones entre sub líneas de la misma línea pura. Algunas cruce entre sublíneas tienen rendimiento, vigor y resistencia al acame considerablemente más elevado que la líneas pura original y son prácticas para la producción de semilla de híbridos comerciales (Jugenheimer, 1981).

### **3.7.3 Híbrido triple (A x B) (C)**

La cruce de tres elementos (A x B) x C, es lo que resulta de cruzar un híbrido simple o su F1 de una cruce simple con una tercer líneas. Se utiliza en siembras comerciales para la producción de grano. Tienden a ser uniformes y con un rendimiento ligeramente superior al de las cruces dobles (Chavez, 1993).

### **3.7.4 Cruza modificada de tres líneas**

Un híbrido especial de uso bastante generalizado en la cruce de tres elementos modificada (A x B) x (C x C'). Estos híbridos, por lo general, son similares a las cruces de tres elementos en su comportamiento. El progenitor masculino o polinizador (C x C') generalmente es más vigoroso que la líneas C, por lo general

esparce más polen durante un periodo de tiempo más prolongado que una línea pura (Chavez, 1993).

### **3.7.5 Híbrido doble (A x B) (C x D)**

Por su parte, Chávez (1993). Menciona que por muchos años las cruzas dobles (A x B) x (C x D), construyeron el tipo de híbrido más generalizado. Es la F1 resultante del cruzamiento de dos híbridos simples y es la craza más utilizada a nivel comercial para la producción de grano (maíz). También se denomina híbrido doble.

### **3.7.6 Cruza regresiva doble**

En la actualidad los híbridos de cruzas dobles [(A x B) x A] x [(C x D) x C] no se utilizan mucho, ya que su producción es demasiado complicado y costosa. Sin embargo, pueden tener un desempeño excelente y dar razonable uniformidad a la planta y mazorca (MacRobert *et al.*, 2015).

### **3.7.7 Cruza regresiva simple**

Los híbridos de cruzas simples [A x B] x [(C x D) x C], pueden desempeñarse extraordinariamente bien, contribuir a la uniformidad de la planta y mazorca y practico de producir, siempre y cuando la semilla se cultive con un progenitor de craza simple (MacRobert *et al.*, 2015).

### **3.7.8 Cruzas múltiples**

Las cruas múltiples, que comprenden seis, ocho, o más líneas puras se han usado poco comercialmente. Pueden ser útiles bajo condiciones adversas, en donde los costos menores de semilla o la mayor variabilidad en el cultivo son factores importantes. Sin embargo, su producción es más complicada que la de los híbridos que incluyen menos líneas y, por lo general, no son híbridos de rendimiento máximo cuando se usan bajo condiciones de crecimiento deseable (Chávez, 1993).

### **3.7.9 Sintéticos**

Los sintéticos o compuestos se producen a base de más de cuatro líneas puras seleccionadas. La semilla de generaciones avanzadas de cruas múltiples es de variedad sintética. Su desempeño no es superior al de variedades de polinización libre. Los sintéticos se han probado ser depósitos útiles de combinaciones génicas deseables para el desarrollo de líneas puras superiores (MacRobert *et al.*, 2015).

## **3.8 Híbridos no convencionales**

Poblaciones de buenas características agronómicas con presencia de vigor en la F<sub>1</sub>, de muy fácil producción con menos costo en comparación en producción de un híbrido convencional, también suele llamarse híbridos intervarietales estos genotipos suelen ser para zonas marginales donde los productores no poseen la capacidad económica y de manejo para cultivar híbridos convencionales (Marrewijk, 1994)

### 3.8.1 Híbrido intervarietal

Este híbrido se define como el resultado de la cruce de dos variedades de polinización libre no emparentadas. (MacRobert *et al.*, 2015).

### 3.8.2 Mestizo (línea x probador)

Un mestizo es la progenie de la cruce entre líneas y una población probadora (variedad-población criolla, son utilizados para detectar en forma temprana genotipos superiores entre un grupo de líneas endocriadas, sin embargo, el fitomejorador busca seleccionar plantas con características fenotípicas y genotípicas que puedan estar asociadas al carácter deseado (Galarza *et al.*, 1873).

Por otro lado, Allar (1980) menciona que un mestizo es una cruce entre líneas autofecundadas y un progenitor común como un polinizador (variedad, población criolla) se utiliza para determinar la habilidad combinatoria general y específica de las líneas. Es decir, para detectar los genotipos fijados más sobresalientes en productividad, características agronómicas deseables.

## 3.9 Maíz criollo

El maíz criollo es un término campesino que comúnmente se utiliza para denotar que es un material nativo de una comunidad, región o estado, están conformadas por una población heterogénea de plantas las cuales son diferenciadas por su color, textura, forma del grano y son materiales formados por agricultores durante muchos años mediante una selección empírica. También puede considerarse como maíz criollo (criollo híbrido o criollo mejorado) a la población de plantas resultantes de un cruzamiento natural o artificial (cruzamiento realizado por agricultores mejorados) con un material mejorado simple y cuando la población tenga un 75% de constitución

genética del material criollo original y solo el 25% de material mejorado (Hernández, 1986).

Sin embargo, los maíces criollos han subsistido por siglos bajo condiciones precarias de nutrientes y de riego. La fuerza que le permite esta supervivencia refleja una riqueza genética particular de las distintas razas de criollos que están diseminadas en el país. Situación contrario a la que ocurre con los maíces híbridos de alto rendimiento, que por selección han ido perdiendo información genética que las hace susceptibles a distintas situaciones ambientales y de plagas.

### **3.10 Mejoramiento de maíces criollos**

En el proceso de mejoramiento se requiere la participación del productor y del mejorador; el proceso comienza cuando el cultivo llega a la etapa de floración, donde el mejorador debe identificar tanto las características que el productor desea mantener en su cultivo como las propiedades que quiere incorporar en el nuevo criollo. En el campo, de una parcela de criollo se seleccionan las plantas que vayan a utilizarse; se descartan o desespigan aquellas cuya apariencia no es favorable (plantas acamadas, con enfermedades, de tamaño pequeño) y de las plantas que se hayan seleccionado se obtiene la semilla que se utilizará para el mejoramiento; ésta deberá separarse del resto de la cosecha (Bergvinson *et al.*, 2007).

### **3.11 Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos**

Por otra parte, se menciona que cada planta de maíz tiene una estructura masculina (espiga) y una estructura femenina (jilote). La separación de órganos permite el cruzamiento con plantas cercanas mediante polinización libre. Con este tipo de polinización se pueden incorporar propiedades nuevas a un maíz criollo, a partir de

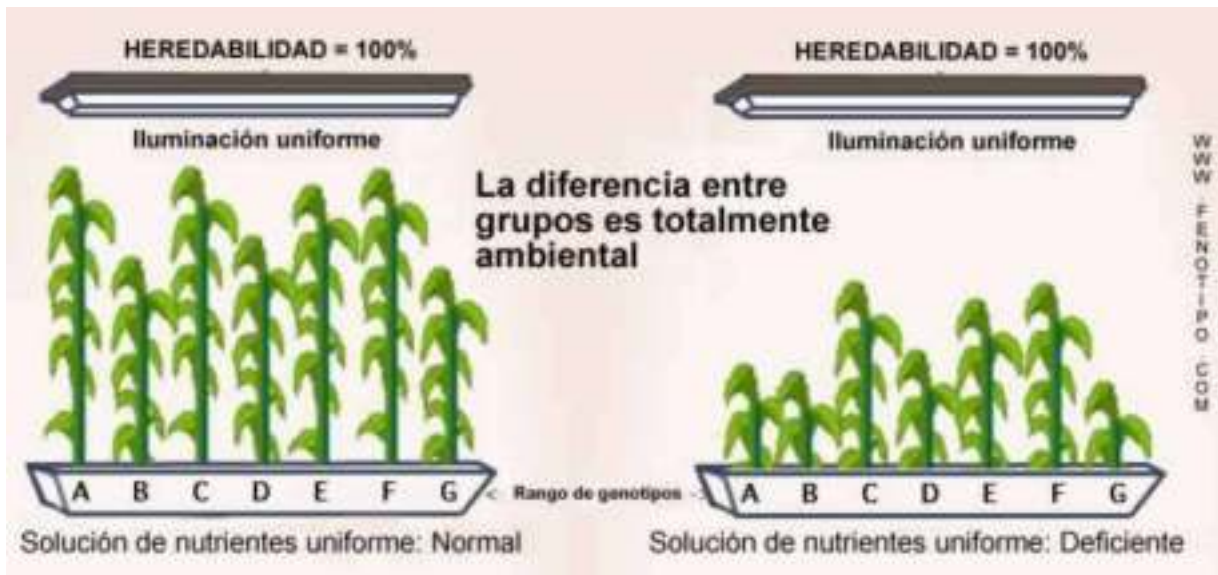
una variedad con las características deseadas por el productor (Bergvinson *et al.*, 2007).

### **3.12 Incorporación de nuevas características a los maíces criollos**

El mejorador empleará la semilla seleccionada del criollo para efectuar la cruce de ésta con una variedad mejorada “donador” (tolerante a la sequía, resistente a plagas o con alto contenido de proteína), que contenga las nuevas características que el productor desea incorporar en el criollo. Después de que el mejorador efectúe la cruce, se cosechará semilla de las plantas del criollo y se le hará llegar al productor, para que él, a su vez, la siembre en una parcela, ya que así evitará que las plantas se contaminen con otros maíces, y servirá también para aislar la semilla del resto de la siembra. Durante la cosecha el productor recolectará únicamente la semilla de las plantas de la sección central del cuadrado, la cual deberá marcarse con una estaca al tiempo de la siembra. La semilla ahora tiene 50 % del maíz criollo y 50 % del donador; ésta es la semilla del primer ciclo de mejoramiento (Bergvinson *et al.*, 2007).

### **3.13 Interacción genotipo-ambiente**

La interacción entre genotipo y ambiente (IGA) es un fenómeno universal cuando diferentes genotipos son evaluados a través de diferentes ambientes (Yan y Kang, 2003). La interacción que se produce entre los genes y el ambiente da lugar a diversos efectos fenotípicos, esta interacción es explotada por los mejoradores de plantas y animales en beneficio de la agricultura y la ganadería. Por ejemplo, las plantas pueden ser criadas para tener tolerancia a entornos específicos, como alta o baja disponibilidad de agua. La IGA se refiere a la respuesta diferencial de genotipos o cultivares a través de una serie de ambientes (Kang, 2004).



**Figura 3.3 Interacción genotipo-ambiente**

Fuente: fenotipo.com, 2011

En este contexto, Espinoza *et al.* (2002) explican que la variabilidad ambiental presente por factores bióticos y abióticos (clima, humedad, tipo de suelo, manejo agronómico del cultivo) es la razón principal para la evaluación y determinar si hay interacción genotipo y ambiente y poder conocer cómo se comportan los materiales experimentales en los distintos ambientes de evaluación. La IGA complica la selección de genotipos superiores y reduce la correlación entre los valores de los fenotipos y genotipos, reduciendo así el progreso de la selección (Ebdon y Gauch, 2002).

Al sembrar cultivares en diferentes ambientes, los cultivares con mayor rendimiento y más estables se pueden identificar. Por otra parte, Lu'quez *et al.* (2002) menciona que cuando se seleccionan genotipos para una amplia adaptación, los fitomejoradores buscan preferentemente, que haya ausencia de IGA. Sin embargo, Matus-Cádiz *et al.* (2003) mencionan que la estimación de la estabilidad de rendimiento se vuelve importante para identificar genotipos consistentes y que produzcan altos rendimientos, por otro lado, Kang (2004) menciona que la expresión de los micronutrientes y el grado de la IGA a través de diferentes

ambientes, determina la proyección, el mejoramiento y las metodologías de evaluación usadas, lo cual refleja la heredabilidad de la característica, la variación genética y por lo tanto, las ganancias genéticas potenciales (Reynolds *et al.*, 2005).

### **3.14 Calidad de semilla**

Después de la cosecha, las semillas deben ser inspeccionadas en distintas etapas de su procesamiento. Se utilizan muestras para realizar las pruebas que evalúan la calidad física y fitosanitaria de la semilla, así como su pureza genética y su vigor. Para contribuir a este propósito se han desarrollado técnicas de análisis que permiten evaluar la calidad de las semillas para la siembra (Hernández y Carballo, 1997), las cuales son de interés tanto para la industria semillera como para las instituciones responsables de la certificación, ya que determinan el valor de las semillas para beneficio del agricultor (ISTA, 2005).

Como el contenido de humedad tiene una gran influencia en la vida útil y la calidad de la semilla, la primera prueba de control de calidad que se lleva a cabo suele ser la evaluación del contenido de humedad. Después se analiza la pureza física para detectar el tipo y el número de granos dañados o atípicos, así como la cantidad de materia inerte o semilla de maleza presente en la muestra. El análisis de la pureza genética es importante para garantizar que las semillas se ajusten uniformemente al tipo varietal. El método convencional utilizado hasta ahora consiste en realizar pruebas para observar el crecimiento de la semilla. Para ello, se toma una muestra del lote de semilla y se siembra ya sea en el invernadero o en el campo (fuera del ciclo normal) a fin de evaluar el desarrollo de las plantas y compararlo con la descripción de la variedad. Las desventajas de este sistema incluyen el tiempo que requiere y el hecho de que el material genético a veces es evaluado en un medio ambiente al que no está adaptado, lo cual dificulta identificar las plantas atípicas y aquellas que se ajustan al tipo varietal. Cabe señalar que hoy día existen técnicas moleculares avanzadas que permiten hacer una determinación precisa de la configuración genética de la semilla (MacRobert *et al.*, 2015).



### 3.15 La calidad de la semilla y sus componentes

La calidad de cualquier producto, en un sentido amplio, es el conjunto de características que el consumidor evalúa para decidir si satisface sus expectativas. En el contexto de las semillas la calidad puede subdividirse en cuatro cualidades básicas: genética, fisiológica, sanitaria y física. La presencia de las cuatro cualidades esenciales en su máximo nivel permite que la semilla esté en su máxima calidad integral. Cada una de ellas aporta su capacidad para originar plantas productivas (MacRobert *et al.*, 2015).

Tabla 3.2 Atributos de las cuatro cualidades de la semilla

Cualidades	Componentes básicos
Calidad genética	Productividad Adaptabilidad Resistencia a sequías, plagas y enfermedades
Calidad sanitaria	Enfermedades transmisibles por la semilla. Plagas y enfermedades típicas del almacenamiento
Calidad fisiológica	en bolsas, a campo, en silo, etc. Nivel de madurez alcanzado. Poder germinativo, vigor.
Calidad física	Peso, humedad, tamaño. Presencia/ausencia de materias extrañas, malezas comunes y nocivas Uniformidad de formas, tamaños, color, brillo, vistosidad

#### 3.15.1 Calidad genética

Esta característica se produce en la etapa del mejoramiento genético. Los trabajos de cruzamiento, selección y las redes de verificación que han desarrollado los

centros especializados en mejoramiento genético (públicos y privados), están orientados a obtener variedades e híbridos de mayor productividad, precocidad, adaptabilidad, calidad del grano, mayor eficiencia en el uso del agua y nutrientes. Obtenida una nueva variedad o híbrido comienza la etapa de multiplicación bajo normas estrictas de aislamiento, eliminación de plantas fuera de tipo y verificación permanente que permitan asegurar la identidad y pureza genética evitando la degeneración o dilución del genotipo. En este momento se le asigna un nombre y es liberada para su aprovechamiento por parte del productor, quien debería elegir aquellas variedades que probadamente producen más en su zona y comprobar que la semilla coincida con el rótulo del envase y etiqueta (Terenti, 2004).

### **3.15.2 Calidad fisiológica**

Cuando se habla de la cualidad fisiológica se refiere a la capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. En el momento que la semilla madura llega a la máxima vitalidad; a partir de este momento comienza a envejecer o perder vigor, porque la misma sigue respirando y gastando energía para mantener sus funciones vitales. Por ello el ambiente en que se almacene debe ser seco y fresco. El nivel extremo de envejecimiento es la muerte o pérdida de la capacidad para dar una planta normal y vigorosa. Cuando se decide sembrar, debe preocupar al productor el porcentaje de germinación, para ello los laboratorios de análisis de semillas con pruebas específicas de germinación y vigor, pueden dar una adecuada respuesta (Terenti, 2004).

### **3.15.3 Calidad sanitaria**

Las actividades de investigación y desarrollo de variedades o híbridos son capaces de incorporar características de resistencia y tolerancia a enfermedades. Estas

actividades se deberán complementar en la etapa de producción de semilla utilizando semilla original sana, sanidad de los lotes de producción, rotación de cultivos, aislamiento, tratamiento de la semilla, acondicionamiento y almacenamiento adecuados (Terenti, 2004).

#### **3.15.4 Calidad física**

Se le asocia con el color, brillo, daños mecánicos (fracturas), la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable. Estos contaminantes pueden ser: materiales inertes, semillas de malezas comunes y nocivas, formas reproductivas de plagas y enfermedades. Siendo exigente en la calidad física podemos evitar la diseminación de enfermedades, insectos y malezas (Terenti, 2004).

Por su parte, el vigor de las semillas ha sido definido como la sumatoria total de aquellas propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas. Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (ISTA, 2005).

#### **3.16 Cosecha**

Debe iniciarse la cosecha tan pronto como las semillas de maíz alcancen la madurez fisiológica, lo cual ocurre cuando se forma la capa negra o la semilla tenga entre 30 y 38% de humedad. En esta etapa concluye el desarrollo fisiológico del cultivo, las semillas alcanzan su peso seco máximo y expresan el mayor potencial de calidad. Es recomendable no retrasar la cosecha ya que la semilla en el campo se expone a posibles condiciones ambientales desfavorables como: lluvias, temperaturas

extremas y daños provocados por insectos, enfermedades, pájaros y robo (Agrawal *et al.*, 1998).

Para decidir si la cosecha es manual o mecanizada deben considerarse algunos aspectos como: disponibilidad y costo de mano de obra, superficie a cosechar y tiempo de duración, evaluar el daño mecánico a la semilla, número de plantas acamadas en el lote, grado de uniformidad en la madurez de las plantas y disponibilidad de maquinaria en la región. Otra alternativa es utilizar una cosechadora de mazorca, ya que después se traslada la materia prima a una bodega o planta de acondicionamiento, se realiza el deshoje mecánico y la selección de las mazorcas se hace por personal capacitado.

### **3.16 Secado de la semilla**

Si la semilla se cosecha con una humedad mayor al 25%, es necesario realizar un proceso de secado que consiste en disminuir su contenido de agua al 12 o 13%, para reducir el riesgo de daño mecánico durante las operaciones posteriores del acondicionamiento, evitar calentamiento (alto metabolismo) y el ataque de patógenos e insectos para mantener su calidad.

Los tres métodos más utilizados son: 1) secado en el campo, es el método más utilizado cuando no se tienen recursos, algunos agricultores consideran que es más económico dejar secar las semillas en el campo sobre la planta madre, pero es necesario considerar que la gran pérdida de semilla ocurre durante el secado en el campo, 2) secado al sol de mazorcas cosechadas, se extiende en un patio grande, limpio, seco y libre de cualquier otra semilla de maíz. Este método demanda más trabajo que el primero porque las mazorcas tienen que moverse para lograr un secado más rápido y uniforme, 3) secado artificial, es el método más confiable y preciso, pero requiere de infraestructura e inversión para instalar el sistema. Las temperaturas ideales de secado oscilan entre 35 y 45°C pero depende del genotipo, la humedad a la cosecha y las condiciones ambientales. Si la semilla de maíz

cosechada tienen un porcentaje de humedad entre 35 y 40% es recomendable secarla a temperaturas menores de 40°C; cuando ya se baja la humedad a 20% o menos, las temperaturas de secado pueden incrementarse hasta un máximo de 45°C hasta bajar la humedad de la semilla a 12 o 13% (Dávila, 1986).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización del área de trabajo

El trabajo se estableció en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque realizando dos fechas de siembra una en Marzo y otra en Junio, dicho ubicado en el kilómetro 8 de la carretera Celaya-Juventino Rosas, en Celaya, Gto., cuyas coordenadas son  $20^{\circ} 34' 54.24''$  de latitud Norte y  $100^{\circ} 49' 35.34''$  de latitud Oeste, con una altitud de 1767 msnm, el clima predominante es semi-cálido, sub-húmedo con temperatura media que oscila de los  $14^{\circ}$  a  $22^{\circ}$  y una precipitación pluvial que varía de 600 a 750 mm anuales. El suelo predominante en la región son Vertisol Pélico y Vertisol Crómico (INEGI, 2011).



Figura 4.1 Instituto Tecnológico de Roque

La otra localidad se evaluó en el CBTA de Apaseo, en Celaya, Gto., cuyas coordenadas son  $100^{\circ} 41' 07''$  de longitud al oeste y los  $20^{\circ} 32' 37''$  latitud norte

aproximadamente a 18 kilómetros del Instituto Tecnológico de Roque, con una altitud de 1767 msnm y un clima templado con una temperatura máxima de 37.1°C y una mínima de 0.9°C, con una precipitación total pluvial anual es de 606 mm y los suelos de textura arcilla limosa a arcillosa (INEGI, 2011).

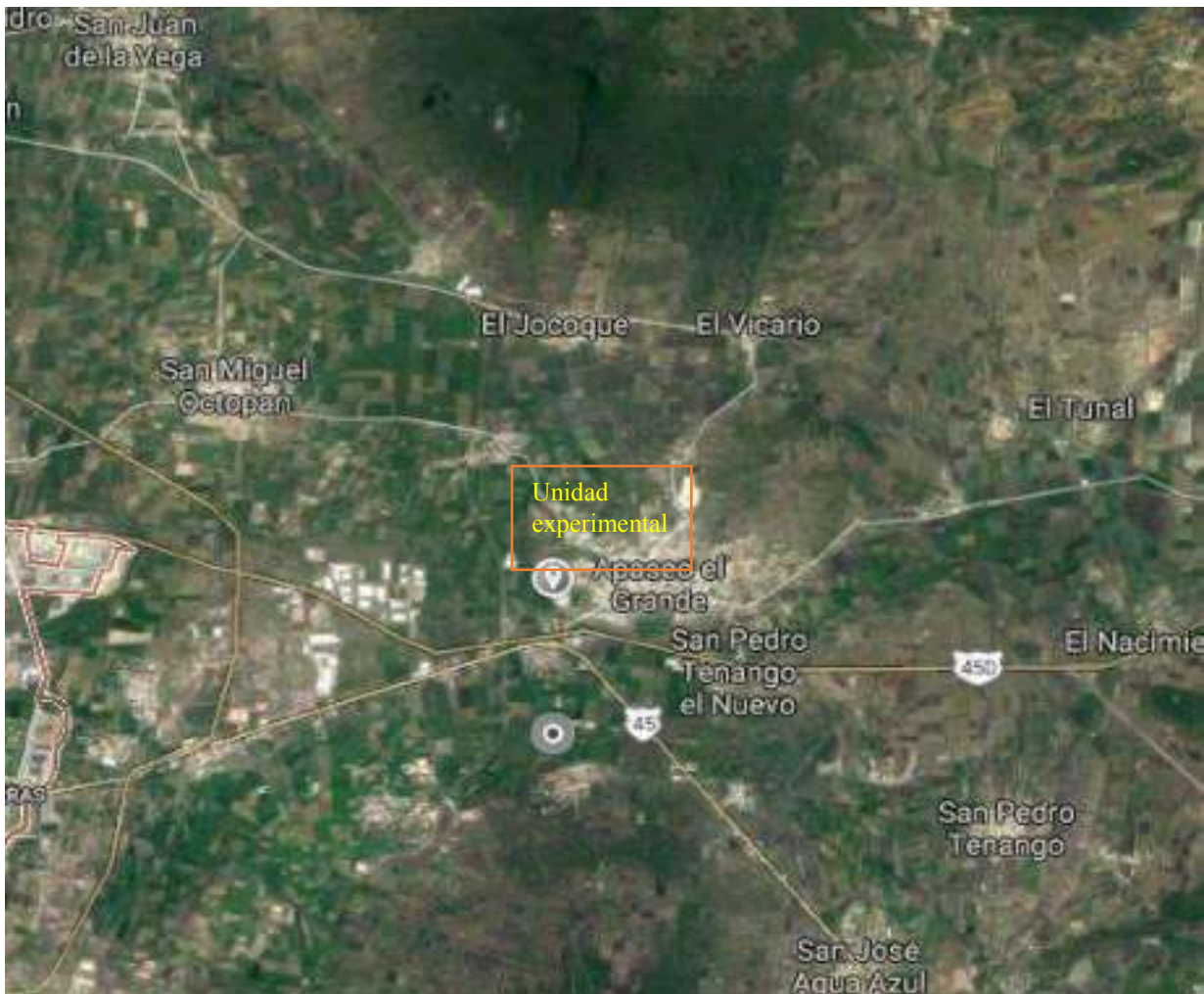


Figura 4.2 Apaseo el grande

#### 4.2 Preparación del terreno

Una vez ubicado el terreno se empezó a limpiar el terreno eliminando las arvenses, para después recoger la materia seca poniéndola en un lugar que no estorbe, de ahí

se rastreó el suelo para posteriormente surcarlo para la siembra, así estableciendo el diseño experimental.



**Figura 4.3 Preparación del terreno**

### **4.3 Material genético**

El material vegetal es la semilla de los mestizos de maíz, progenitores y testigos, para establecerlo y de ahí tomando los resultados para observar su comportamiento agronómico y adaptación al Bajío Guanajuatense, además el material vegetal ya seleccionado y aleatorizado utilizando el programa estadístico SAS 9.3.





**Figura 4.4 Material vegetal**



**Figura 4.5 Material vegetal tratado para eliminar la presencia de insectos**

Figura 4.1 Progenitores para formación de mestizos

Genotipo	Origen	Color de grano
Celaya	Roque, Celaya	Blanco
Jaral del Progreso	Jaral del Progreso	Blanco
Peña Colorada	Comonfort	Blanco
Querétaro	INIFAP	Blanco
Sn. Miguel Octopan	Sn. Miguel Octopan	Blanco
M1RC2 (Mestizo 1)	Celaya x H374C	Blanco
M2RC2 (Mestizo 2)	Celaya x V322	Blanco
TNM106	Pob. F2 caimán	Blanco
TNM 87	Pob. F2 caimán	Blanco
Promon	ITR	Blanco
H. 374c	ITR	Blanco
H. MME	ITR	Blanco
H. Pionner 12	Pionner	Blanco
H. P2361w	Pionner	Blanco
V. milenio	ITR	Blanco

Figura 4.2 Mestizos formados para la evaluación de la calidad de la semilla

Material	Mestizos
1	Celaya X TNM-87
2	Celaya X TNM-106
3	Celaya X Promón
4	San Miguel Octopan X TNM-87
5	San Miguel Octopan X TNM-106
6	San Miguel Octopan X Promón
7	Querétaro X TNM87
8	Querétaro X TNM-106
9	Querétaro X Promón
10	Mestizo 1 X TNM-87
11	Mestizo 1 X TNM-106
12	Mestizo 1 X Promón
13	Peña Colorada X TNM-87
14	Peña Colorada X TNM-106
15	Peña Colorada X Promón
16	Mestizo 2 X TNM-87
17	Mestizo 2 X TNM-106
18	Mestizo 2 X Promón
19	Jaral X TNM-87

---

20	Jaral X TNM-106
21	Jaral X Promón

---

#### 4.4 Siembra

La siembra se llevó a cabo en Marzo en dos localidades diferentes y un ambiente diferente para poder comparar este material subtropical en un clima semi-seco, subhúmedo.



**Figura 4.6 Siembra en Roque el 29 de Marzo y Apaseo el 7 de Abril**



**Figura 4.7 Siembra en Roque el 9 de Junio (tercer ambiente)**

Figura 4.3 Fechas de siembra y cosecha de los ambientes evaluados

Ambiente	Fecha de siembra	Fecha de cosecha
Roque, Celaya, Gto.	29 Marzo, 2017	20 Sep, 2017
Apaseo el Grande, Celaya, Gto.	7 Abril, 2017	5 Oct, 2017
Roque, Celaya, Gto ( 2 ambiente)	9 Junio, 2017	30 Nov, 2017

#### 4.5 Riego

Los riegos se establecieron de acuerdo a la metodología indagada la cual indica un mínimo de 4 riegos a los 0, 30, 60 y 80 DDE, posteriormente en el sistema de temporal solo se dará un riego de punta y de ahí todo va a depender del buen temporal que podremos tener (Pons, 2013).

#### 4.6 Fertilización

De acuerdo a Pons *et al.* (2013) la dosis de fertilización en Guanajuato recomendada para riego es la de 240- 40- 00 (N, P, K), mientras para temporal es de 180- 40- 00

(N, P, K). La cual la aplicación se dio de forma manual que sería lo más esencial para obtener un buen manejo agronómico del cultivo (Pons, 2013).



**Figura 4.8 Aplicación de fertilizante (Urea 46-00-00)**

Esta segunda aplicada de fertilizante se dio en esta fecha ya que el día 24 de Mayo de 2017 se registró una granizada, la cual se tomó la decisión de aplicar el fertilizante antes de su fecha indicada además de aplicar un foliar el cual es el Kelato Multiple para que la planta recupera el daño que sufrió en la hojas por el disturbio natural.

#### **4.7 Control de plagas y enfermedades**

En el control de plagas en caso de insectos y del gusano cogollero se aplicó el NUGOR<sub>400</sub> que es dimetoato: O,O-Dimetil S-metilcarbamoilmetil-fosforoditioato con una dosis de 75 ml por bomba de 20L (Pons et al. 2013).

#### **4.8 Control de malezas**

En caso de control de malezas se utilizó el herbicida Nicotam nicosulfuron: 2-(4,0-dimetoxipiridin-2-licarbamoil) sulfamoil.

#### **4.9 Diseño experimental**

En todos los ambientes de evaluación se utilizó un diseño experimental de latice parcialmente balanceado realizando un cuadrado perfecto de 6x6 haciendo un total de 36 genotipos con tres bloques, donde los bloques estuvieron constituidos por 72 surcos dos surcos por genotipo y 5 metros de longitud y .80 metros entre surcos.

#### **4.10 Variables registradas en laboratorio**

##### **4.10.1 Peso de 100 semillas**

Para determinar el peso de 100 semillas se contaron y pesaron en una balanza analítica cuatro repeticiones de 100 semillas para cada material y posteriormente se determinó el promedio.

##### **4.10.2 Caracteres de calidad física**

En el laboratorio de Análisis de semilla del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) se realizó la evaluación de calidad de física de semilla en los mestizos y sus progenitores.

### 4.10.3 Caracteres de calidad fisiológica

En condiciones de vivero en camas de arena se determinó el vigor inicial de plántula bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

#### 4.10.3.1 Vigor inicial de plántula y porcentaje de emergencia en cama de arena

Para esta prueba se usaron tres repeticiones de 50 semillas se establecieron en camas de arena. Las semillas se colocaron a dos centímetros de profundidad y se registraron los siguientes caracteres; velocidad de emergencia (VE), realizando conteos diarios a partir del 4 día y hasta el día 10 después de la siembra (DDS), porcentaje de emergencia (PE) y peso seco de vástago (PSV).

La velocidad de emergencia se determinó de acuerdo con Magine (1962) usando la siguiente fórmula:

$$VE = \frac{\text{N}^\circ \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del primer conteo}} + \dots + \frac{\text{N}^\circ \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del conteo final}}$$

El porcentaje de emergencia se determinó contando el número de plántulas emergidas al décimo día y utilizando la siguiente expresión:

$$PE = (100) \left( \frac{\text{N}^\circ \text{ de plántulas emergidas al día 10 DDS}}{\text{N}^\circ \text{ total de semillas sembradas}} \right)$$

Las plantas que fueron cortadas se metieron a la estufa a una temperatura de 60° por 48 horas, transcurridas las horas se pesaron para obtener el peso seco de vástago. Con estos datos se calculó el índice de vigor I e índice de vigor II, tal como lo describieron Kharb *et al.* (1994), este se obtiene al multiplicar el porcentaje de emergencia por el peso seco de la parte aérea y el porcentaje de emergencia por la longitud de la plántula.

#### 4.11 Variables registradas en campo

##### 4.11.1 Vigor visual de plántula (VV)

Esta variable se tomó a los 40 días de emergencia de las plántulas en este caso se tomara en número enteros, considerando 1 excelente, 3 bueno y 5 malo; en la figura 17 en Apaseo y en la 18 en Roque.



**Figura 4.9 Vigor visual de planta en Apaseo el Grande**



**Figura 4.10 Vigor visual de planta en Roque primer ambiente**



#### 4.11.2 Días a floración femenina (DFF)

Se toma considerando el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50+1% de las plantas mostraron los estigmas receptivos; es decir, de 2 a 3 cm de longitud.



Figura 4.11 Floración femenina (jilote) con estigmas de dos a tres cm de longitud

#### 4.11.3 Días a floración masculina (DFM)

Esta variable de floración masculina y femenina se contabilizó el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50+1% de los genotipos establecidos de maíz obtuvieran las espigas con la mitad de anteras abiertas liberando polen.



**Figura 4.12 Floración masculina (espiga) con anteras liberando polen**

#### **4.11.4 Índice de clorofila (ICL)**

Esta variable se tomó en el haz hoja de la mazorca principal, cuando el jilote obtuviera un crecimiento de 2-3 cm y se utilizó un determinador de clorofila (SPAD-502) (Bourgoin, 2008); como se muestra en la figura 4.13 para ver el índice de clorofila, realizando tres muestras en toda la hoja zona basal, zona media y zona apical.



**Figura 4.13 Determinación del índice de clorofila**

#### 4.11.5 Altura de la planta (APL)

Es la altura en metros desde la base del tallo hasta donde empieza la inserción de la hoja bandera. Se seleccionaron 5 plantas representativas por parcela útil, utilizando un estadal topográfico y se representa en metros, como se muestra en la figura 26.



Figura 4.14 Altura de planta en mestizos de maíz

#### 4.11.6 Altura de mazorca (AM)

Altura comprendida en metros desde la base del tallo al nudo de inserción de la mazorca principal de la planta. Se consideró que esta variable y la anterior (AP)

fueron las mismas 5 plantas muestreadas y se realizó la medición un mes después de la floración.

#### **4.11.7 Numero de hojas arriba de la mazorca (HAM)**

En una muestra de 5 plantas con competencia completa se contó el número de hojas localizadas en la parte superior de la mazorca y se obtuvo el promedio.

#### **4.11.8 Numero de hojas abajo de la mazorca (HBM)**

En una muestra de 5 plantas con competencia completa se contó el número de hojas debajo de la mazorca, considerando solo hojas verdaderas y se obtuvo el promedio.

#### **4.11.9 Número total de hojas (NHT)**

Es la suma de hojas arriba y debajo de la mazorca de las tres plantas para obtener la totalidad de hojas por planta.

#### **4.11.10 Aspecto general de planta (AGPL)**

Es una calificación general que se le da a la parcela dependiendo de cómo se observa tomando en cuenta el acame, la altura de la mazorca, la senescencia de las plantas, enfermedades foliares; en la madurez fisiológica; dando una calificación que se considera con una escala del 1 al 7 donde 1 Excelente, 3 Bueno, 5 Regular y 7 Malo (Alcalá, 2015).

#### **4.11.11 Acame de tallo (ACT)**

Antes de llevar a cabo esta variable se contó el número de plantas por parcela útil de los tres bloques posteriormente se anotó el número de plantas con tallos rotos debajo de la mazorca principal.

#### **4.11.12 Acame de raíz (ARZ)**

Son consideradas con acame de raíz aquellas plantas con una inclinación de 30° o más a partir de la perpendicular en la base de la planta donde comienza la zona radicular, estos datos se registraron en una escala donde 1 ausencia de acame y 5 acamada, de igual manera esta variable se tomó observando el genotipo con qué frecuencia presentaba su acame y posteriormente esa escala se transformó en porcentaje.

#### **4.11.13 Cobertura de mazorca (CMZ)**

Esta variable se registró con el número de mazorcas de cada parcela que antes de la cosecha tenían expuestas alguna parte de la mazorca como se muestra en la Figura 29. Este variable se calificó en una escala del 1 al 5 donde 1 Excelente cobertura de 2-4 cm, 3 Cobertura regular 1-2 cm y 5 Mala cobertura (Cano, 2015).



**Figura 4.15 Cobertura de la mazorca**

#### **4.11.14 Mazorcas podridas (MP)**

Del total de las mazorcas cosechadas dentro de cada parcela, se contaron las mazorcas dañadas por *Diplodia* spp., *Fusarium* spp. ó *Gibberella* spp. de cada genotipo (mediante sintomatología visual). Para obtener la variable en porcentaje, se dividió el número de mazorcas podridas entre el número de mazorcas cosechadas y se multiplicó por 100.

#### **4.12 Rendimiento y sus componentes**

##### **4.12.1 Rendimiento de campo (RC)**

De las mazorcas cosechadas por parcela útil se pesaron en una báscula digital. Enseguida se aplicó la siguiente fórmula para estimar el rendimiento de grano, transformando de  $\text{kg ha}^{-1}$  a  $\text{ton ha}^{-1}$ .

$$\text{Rendimiento} = \frac{(10000 * \text{SHW})}{(0.75 * 2) * 3} * \frac{100 - \text{MST}}{100 - 12}$$

Donde:

SHW = Peso de campo.

0.75= ancho del surco

2= surcos de evaluación

3= longitud del surco

100= constante de humedad

MST= humedad del grano

Del valor obtenido se le descontó el 25% al rendimiento alcanzado, para compensar errores provocados por el manejo, desgrane, daño por plagas, etc.

#### **4.12.2 Índice de prolificidad (IP)**

Esta característica se obtuvo contando las mazorcas cosechadas y dividiéndolas entre el número de plantas totales por parcela útil. Es decir, IP = número de mazorcas cosechadas/ número de plantas totales.

#### **4.12.3 Longitud de mazorca (LM)**

Se seleccionaron 10 mazorcas representativas de genotipo para posteriormente medir la longitud con una regla de 30 cm, considerando desde la base de la mazorca hasta la punta; obtenidos los datos se procedió a calcular la media.

#### **4.12.4 Diámetro de mazorca (DM)**

Del mismo modo, en una muestra de 10 mazorcas con un vernier digital se determinó el diámetro de mazorca, considerando la parte media de la mazorca y se calculó la media.

#### **4.12.5 Numero de hileras por mazorca (HM)**

Para esta característica se usó una muestra de 10 mazorcas se obtuvo el número de hileras por cada mazorca y posteriormente se calculó la media.

#### **4.12.6 Numero de granos por hilera (GHM)**

De igual manera esta variable se tomó con números enteros como la anterior en número de hileras pero ahora contando los granos por hilera de las 10 mazorcas seleccionadas; de los datos obtenidos se calculó la media.



#### **4.12.7 Porcentaje de desgrane (PD)**

Para esta característica se seleccionaron las 10 mejores mazorcas de cada genotipo al azar las cuales se desgranaron y se pesaron, posteriormente el peso del grano se multiplicó por 100 y se dividió entre el peso de las 10 mazorcas.

#### **4.12.8 Peso volumétrico (PV)**

Para determinar este valor, se usó un medidor Seedburo® de tolva para determinar el peso específico y el resultado expresado en kg hL<sup>-1</sup>.

#### **4.13 Cosecha**

La cosecha se realizó manualmente tanto para los genotipos sembrados en Marzo, Abril y Junio, la cual estará basada cuando la mazorca tenga un 30 y 38% de humedad, tomando la característica de la línea de leche en  $\frac{3}{4}$ .

#### **4.14 Secado de la semilla**

Se cosecho con una humedad de 25% de humedad en Roque la primera fecha el día 20 de Septiembre, posteriormente en Apaseo el segundo ambiente se cosecho con 28% de humedad el día 6 de Octubre y para Roque segunda fecha de siembra se cosecho el 30 de Octubre con una humedad de 35%, la cual se llevó a un proceso de secado en una bodega con una temperatura de 35°C y a la intemperie de 25 a 30°C, durante 5 días.

#### **4.15 Análisis estadístico de datos**

Para todos los caracteres evaluados se realizó un análisis de varianza combinado a través de ambientes, usando el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico

SAS (SAS, 1999) ver 9.4. La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 calidad de semilla

Para los caracteres evaluados de calidad de semilla se muestra los cuadrados medios del análisis de varianza, donde, se puede observar que existen diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos para los caracteres peso de 100 semillas (P100S), porcentaje de emergencia (PE), velocidad de emergencia (VE) y para los índices de vigor 1 y 2 (IV1) y (IV2). En caso de peso de 100 semillas se puede observar que al menos una variedad presentó un peso diferente. Por otro lado, el coeficiente de variación fue de 3.7 % y se considera aceptable. Estos resultados coinciden con los reportados por Alcalá (2015), quien reportó efecto significativo entre híbridos precomerciales en calidad física de semilla. Por otro lado, Almaraz (2015) encontró coeficientes de variación del mismo rango que los antes mencionado maíces pigmentados para calidad de semilla.

Por otro lado, para porcentaje de emergencia (PE); en el que se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa al ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos evaluados, por otro lado, para la variable peso seco del vástago (PSV) se observó una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre genotipos respectivamente. Por otro lado, los coeficientes de variación (CV), oscilan entre 5.30 a 23.58 %, esto manifiestan que el experimento fue conducido de forma correcta y le da alta confiabilidad a la investigación. Estos resultados coinciden con Alcalá (2015) donde también encontró diferencias significativas al 0.01 entre híbridos precomerciales. Finalmente, para velocidad de emergencia (VE), índice de Vigor I (IV1) e índice de Vigor II (IV2) y los coeficientes de variación oscilan entre los 10 a 23 %, lo cual indica que el experimento fue conducido de forma correcta y además que se consideran bajos y aceptables. Esta investigación coincide con los resultados publicados por Solís *et al.* (2010) en la evaluación del índice de velocidad de emergencia en línea de maíz. Sin embargo,

difieren de los reportados por Alcalá (2015) al evaluar híbridos precormerciales para el centro de México.

Tabla 5.1 Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad de semilla de mestizos de maíz. Roque, Celaya, Gto. 2016.

F.V	G.L	P100S (gr)	PE (%)	PSV (gr)	VE (p día <sup>-1</sup> )	IV1	IV2
Bloque	2	6055.24	23.62	1.10	956.76	27853.27	11340.18
Genotipo	31	195.33**	72.03**	0.31*	82.59**	259401.14**	3194.01**
Error	62	2.83	25.99	0.15	8.44	53405.54	1403.13
CV (%)	----	3.77	5.30	23.58	10.90	12.89	23.05

\*, \*\*, Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, *respectivamente*. P100S, PE, PSV, VE, IV1 e IV2; que corresponde a peso de 100 semillas, porcentaje de emergencia, velocidad de emergencias, índice de vigor 1 e índice de vigor 2, *respectivamente*.

Finalmente, se puede señalar que los genotipos son diferentes en la calidad física medida como peso de 100 semillas; esta característica refleja la máxima acumulación de materia seca al llegar a madurez fisiológica. Según Carballo (1992), este criterio de calidad es un elemento esencial para obtener los volúmenes adecuados de semilla aprovechable.

En la prueba de medias de acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05) para peso de semillas (PS) en mestizos de maíz, (Tabla 5.2) donde se observa una Diferencia Significativa Honesta (DSH) de 4.64, por otro lado, el mestizo que mejor peso registro fue la cruza jaral x TNM-87 con un peso de 61.84 gr en 100 semillas, seguido de jaral X promon con 60.85 gr y San Miguel Octopan x TNM-87 con 53.46 gr. Los mestizos con el menor peso registrado fueron Querétaro x TNM-106 con peso de 35.89 gr, Mestizo 1 X TNM-87 con 36.64 gr. Por otro lado, los mestizos y progenitores tienen numerosas agrupaciones, haciéndolos estadísticamente diferentes; este investigación difiere con Mendoza *et al.* (2004) donde evaluó cambio en la calidad de semilla de maíz durante su desarrollo y maduración donde obtuvo una DMS de 0.69. Por otro lado, Alcalá (2015) obtuvo valores más bajos de peso de semillas en híbridos precormerciales que

oscilan entre 9.91 a 22.26 gr, lo anterior debido a la gran diversidad genética existente entre los materiales evaluados (cruza simple, simples modificadas, cruza triples y semillas de granos blanco y grano amarillo). Por otro lado, Cervantes *et al.* (2006) indican que las semillas más pesadas presentan un alto índice de vigor.

Finalmente, se observa que la mayoría de las cruza presentaron mayor peso de semilla en comparación con las poblaciones originales, los genotipos utilizados como machos presentaron de forma general buenos resultados en la formación de las cruza; aunque el que mejor se expresó fue la línea promon debido a que en las cruza supera el peso de semilla de la población utilizada como hembra y macho.

Por otro lado, se observa que en cuanto al porcentaje de emergencia (PE), sobresalieron todos los mestizos y la mayoría de las poblaciones con valores superiores a 90 %; en este sentido, es importante mencionar que la mayoría de los genotipos superaron el nivel establecido por el SNICS (90%) para considerar semillas de alta calidad. A excepción de la población Jaral y la línea Caimán 106 que no alcanzaron el valor establecido por el SNICS. Estos resultados coinciden con Alcalá (2015) donde al evaluar híbridos precomerciales obtuvo porcentajes de germinación arriba del 95%.

Tabla 5.2 Comparación de medias para calidad de semilla en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2016.

Genotipo	P100S (gr)	Genotipo	PE (%)	Genotipo	PSV (gr)
Jaral x TNM-87	61.8 a	Cel x promon	100.0 a	P. col x prom	2.1 a
Jaral x promon	60.8 a	Qro x TNM-106	100.0 a	M1Rc1	2.1 a
SMO x TNM-87	53.4 b	M1 x TNM-87	100.0 a	SMO x TNM-87	2.0 a
P. Jaral	52.8 b	M2 x TNM-87	100.0 a	P. Celaya	2.0 a
Jaral x TNM-106	49.0 bc	SMO x TNM-87	99.3 a	P. Jaral	2.0 ab
SMO x TNM-106	48.8 bc	Qro x 87	99.3 a	P. SMO	2.0 a
P. col x TNM-87	47.8 c	Pcol x TNM-106	99.3 a	Jaral x promon	1.9 ab
P. SMO	47.7 c	M2 x promon	99.3 a	P. Peña Col	1.9 ab
P. col x TNM-106	47.6 cd	P. Querétaro	99.3 a	SMO x promon	1.8 ab
M1 x 106	47.6 c	P. SMO	99.3 a	Pcol x TNM-106	1.8 ab
P. Querétaro	36.7 kl	Jaral x TNM-87	92.6 ab	Jaral x TNM-87	1.3 ab
M1 x TNM-87	36.6 kl	L. Promon	92.0 ab	M2Rc2	1.3 ab
Qro x TNM-106	35.8 kl	M1 x promon	90.6 ab	L. Promon	1.3 ab
TNM-106	33.3 lm	TNM-106	84.0 ab	TNM-87	0.9 ab

L. Promon	29.8 m	P. Jaral	76.6 b	TNM-106	0.7 b
DSH	4.64		16.50		1.28

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. P100S, PE y PSV, corresponden a peso de semillas, porcentaje de emergencia y peso seco del vástago, respectivamente.*

Por otro lado, el valor más alto para peso seco del vástago (PSV) se presentó que la cruza San Miguel Octopan X TNM-87 y Peña Colorada X Promon, del mismo modo, lo hicieron las poblaciones Celaya, Jaral, San Miguel Octopan y Mestizo 1 con valores superiores a 2 gr. La línea TNM-106 presento el valor más bajo. Carballo *et al.* (1998) mencionan que el peso seco de la parte aérea y de raíz tiene mayor confiabilidad en la medición de vigor. Pérez de la Cerda *et al.* (2007) en cruza simples quienes obtuvieron pesos del vástago que oscilan entre los 2 a 2.5 gr. Por otro lado, Hellmers (1963) y Fairbairn y Neustein (1970), señalan que a menor intensidad de luz el peso seco del tallo disminuye. Mientras que, Ferguson *et al.* (1990) mencionan que el deterioro de la semilla reduce la tasa respiratoria, la velocidad de emergencia de la radícula y el crecimiento de la planta, respuestas que se asocian con la disminución del vigor de la semilla.

Lo anterior puede explicarse debido a que los materiales fueron cosechados en Octubre 2016 y esta prueba se realizó en Diciembre 2016 de tal modo, que la semilla no se encontraba deteriorada y esta prueba se realiza bajo condiciones óptimas de temperatura, humedad y luz por lo cual la expresión de los genotipos es congruente. Por otra parte, los factores que influyeron en el desarrollo de las plantas y se ven reflejados en el coeficiente de variación fueron la luz y la temperatura (8 a 38 °C) y en este sentido, Airbairn y Neustein (1970) afirman que estos factores climáticos son los más importantes para el crecimiento de las plantas. Roe *et al.* (1970) y Daniel *et al.* (1983) en diversos estudios han demostrado que existe un rango de intensidad de luz en el cual prospera y crece mejor una determinada especie, dando como resultado diferentes comportamientos en el patrón de crecimiento de las especies en su etapa juvenil y adulta. Por último, en México existen gran diversidad de maíces por lo que hace ser que existan entre estos una gran variabilidad en tamaño,

densidad y dureza de grano, como en su composición química (Antuna *et al.*, 2003; Salinas-Moreno *et al.*, 2012).

En la prueba de medias de acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05), para velocidad de emergencia (VE), índice de vigor I (IV1) e índice de vigor II (IV2) (Tabla 5.3), se muestra que en velocidad de emergencia VE la cruza Celaya x Promon y San Miguel Oct x TNM-106 presentaron el peor comportamiento (23 a 25 plantas por día); sin embargo, se observó que las poblaciones Celaya y San Miguel Octopan presentan los valores más altos con 35 plantas emergidas por día. En este respecto, con Perry (1981) y Evans (2004) mencionan que la prueba de velocidad de emergencia es de los mejores indicadores para relacionar el vigor de la semilla con el establecimiento en campo. En este sentido Hernández *et al.* (2000) menciona que las variables de mayor importancia para predecir el establecimiento en campo son peso seco de vástago y de raíz, así como la velocidad de emergencia.

Por otra parte, en el índice de vigor 1 (IV1) las líneas promon, TNM-87 y TNM-106 registran el menor índice de vigor, y en general todas las cruzas obtuvieron un comportamiento similar aceptable. Sin embargo, con respecto al índice de vigor 2 (IV2), la cruza Peña Colorada x Promon y la población Mestizo 1 registran el mayor valor y las líneas TNM-87 y TNM-106 presentaron el índice más bajo. Esta investigación coincide con Cervantes *et al.* (2016), donde al evaluar líneas S<sub>3</sub> observo diferencias significativas al 0.01 para índice de vigor 1 y 2.

Tabla 5.3 Comparación de medias para calidad de semilla en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya Gto. 2016.

Genotipo	VE (p/d)	Genotipo	IV1	Genotipo	IV2
P. SMO	35.4 a	SMO x TNM-87	2141 a	P. Mestizo 1	210.3 a
P. Celaya	35.3 a	P. Querétaro	2121.8 a	P. col x prom	207.4 a
P. Mestizo 2	35.1 ab	M2 x promon	2120.7 a	SMO x TNM-87	206.1 ab
P. Mestizo 1	32.4 ab	P. Mestizo 2	2081.3 a	P. SMO	205.8 ab
Qro x TNM-87	31.6 a-d	P. SMO	2068.7 a	P. Celaya	198.9 ab
M1RC1	31.5 a-d	Qro x TNM-87	2020.9 a	Jaral X prom	195.8 ab
M1 x TNM-106	29.3 a-d	PCol x TNM-106	2013.2 a	P. Peña Col	192.5 ab
P. Peña Col.	28.8 a-d	Cel x TNM-87	1969.7 a	P. Mestizo 2	185.1 a-c

SMO x promon	28.5 a-d	P. Celaya	1967.7 a	PCol x TNM-106	181.0 a-c
P. col x promon	27.7 a-e	M1RC1	1923.0 a	Jaral x TNM-106	177.9 a-c
P Col x TNM-87	23.9 ed	P. Jaral	1621.5 ab	M1RC1	135.7 a-c
P. Jaral	23.2 ed	Cel x promon	1555.9 ab	L. Promon	125.1 a-c
Cel X promon	19.0 ef	TNM-106	1016.7 b	Jaral x 87	121.0 a-c
L. Promon	13.1 f	L. Promon	1012.3 b	TNM-87	86.0 bc
TNM- 87	10.8 f	TNM-87	1010.9 b	TNM-106	66.7 c
DSH	9.40		748.24		121.28

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. VE, IV1 e IV2, corresponden a velocidad de emergencia, índice de vigor 1 e índice de vigor 2, respectivamente.*

Por otra parte, Perry (1983) señaló que el vigor puede ser alterado por la constitución genética, el desarrollo y nutrición de la planta y por el tipo de progenitores. Por su parte, Delouche (1986) menciona que además de los factores fisiológicos, patológicos y ambientales, los factores genéticos determinan la calidad fisiológica de la semilla, su capacidad para germinar, emerger rápidamente y producir plantas vigorosas y uniformes bajo condiciones de campo durante el desarrollo del cultivo.

La calidad de las semillas disminuye con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el tiempo en que estas permanecen almacenadas. Por otra parte, el primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido por una reducción en la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente la muerte de las semillas (Ferguson, 1995). Por otra parte, el vigor de las semillas se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas, incluyéndose: 1) cambios en los procesos bioquímicos; 2) la tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas y 3) la germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés (Ferguson, 1995). La significancia estadística entre genotipos indica la importancia de los efectos genéticos aditivos y dominantes involucrados en la calidad de semilla y vigor de plántula, como lo reportaron Antuna *et al.* (2003) y Moterle *et al.* (2011) en maíz. Según Guillen-De la Cruz *et al.* (2009) a medida que se incrementa la diversidad genética de los progenitores también se incrementan las diferencias entre sus cruza, tanto en características agronómicas como fisiológicas.



## 5.2 Caracteres agronómicos

Los cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de ambientes para caracteres agronómicos se muestran en la Tabla 5.4, en donde se pueden apreciar diferencias estadísticas significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre genotipos para el índice de clorofila (ICL), sin embargo, no hubo efecto estadístico entre los genotipos para el resto de los caracteres registrados. Por otro lado, los ambientes evaluados modificaron estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) el vigor visual (VV) y el índice de clorofila (ICL) y con una probabilidad de 0.05 los días a floración masculina (DFM); por otro lado, los días a floración femenina (DFF) no se modificaron por efecto del ambiente. Los resultados de esta investigación coinciden con los reportados por Hernández *et al.* (2015) donde encontró diferencias significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre genotipos para clorofila en las distintas etapas fenológicas al evaluar líneas de maíz. Por otro lado, Sainz y Echeverría (1998) señalan que existe una estrecha asociación entre contenido de nitrógeno y clorofila en hojas de maíz; en consecuencia, el estado nutricional del cultivo puede ser evaluado a través del contenido de clorofila de la hoja.

Finalmente, la interacción genotipo por ambiente (G x A) presentó efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.01$ ) para índice de clorofila; sin embargo, dicha interacción no tuvo efecto para las otras variables registradas.

Por otro lado, los bajos valores de coeficiente de variación (5 a 20 %) manifiestan que el experimento fue conducido de forma correcta y le da alta confiabilidad a la investigación. Esta investigación coincide con los de Alcalá (2015) y Cano (2016), quienes mencionan que al evaluar unos híbridos precomerciales y maíces nativos y mejorados, obtuvieron unos coeficientes de variación bajos de 1.50 a 2.63% para caracteres agronómicos. Por otro lado, esta investigación coincide con Cervantes *et al.* (2014) el cual mostro diferencias significativas entre genotipos al ( $P \leq 0.05$ ) para el vigor inicial de plántula al evaluar densidades de poblaciones. Sin embargo, estos resultados también difieren con Cervantes *et al.* (2014) en el cual al evaluar densidades de población en maíz encontró diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre

genotipos días a floración masculina y altamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) para días a floración femenina.

Tabla 5.4 Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres agronómicos en mestizos de maíz. Roque, Celaya, Guanajuato, 2017.

F.V	G.L	VV (%)	ICL	DFM (días)	DFF (días)
Bloque	2	307.65	9.39	40.75	43.09
Genotipo (G)	35	141.30 <sup>ns</sup>	17.80*	11.41 <sup>ns</sup>	11.70 <sup>ns</sup>
Ambiente (A)	2	2512.32**	441.87**	48.29*	27.37 <sup>ns</sup>
A (Bloque)	4	174.36	10.15	13.89	14.57
G*A	70	192.89	23.15	12.32	11.82
Error	72	176.44	11.28	13.39	13.80
C.V (%)	-----	20.51	5.85	5.04	5.06

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. VV, ICL, DFM y DFF; corresponden a vigor visual, índice de clorofila, días a floración masculina y días a floración femenina, respectivamente.

La prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05) para caracteres agronómicos (Tabla 5.5), muestran que para la floración masculina los genotipos más precoces alcanzaron la floración entre 68 y 70 días; mientras que, los genotipos más tardíos lo hicieron entre los 73 a 75 días. Por otra parte, para la variable vigor visual (VV) la mayoría de los genotipos mostraron un 60% de vigor a los 40 días después de la siembra. Para índice de clorofila (ICL) el genotipo peña col x promon alcanzó la mayor concentración con 60.19 unidades SPAD, mientras que el resto de los genotipos obtuvieron un rango entre 55 a 59.7 unidades SPAD. Esto coincide con Mendoza *et al.* (2016) donde mencionan que en la evaluación de líneas de maíz obtuvieron una concentración arriba de 51 unidades SPAD. Estos resultados confirman lo que Sainz y Echeverría (1998) donde afirman que los valores óptimos de contenido de clorofila (en unidades SPAD) se ubican entre 51 y 61 a partir de la etapa fenológica V6, lo que permite alcanzar 95% del rendimiento potencial de híbridos comerciales de maíz. Sin embargo, estos resultados difieren con Cervantes *et al.* (2014) que en la comparación de media en densidades de poblaciones se aprecia que los genotipos mostraron variación para vigor inicial en la plántula, días a

floración masculina y femenina respectivamente. Finalmente, Hawkins y Cooper (1979) y Ajala y Fakorede (1988) reportaron el efecto de genes aditivos y no aditivos para el vigor inicial de plántula y rendimiento de grano en líneas de maíz con diferentes niveles de endogamia, y una correlación inconsistente entre caracteres de plántula y planta adulta.

Por otro lado, en el ambiente de Roque, Celaya (9/Junio/17) se presentaron en promedio para todos los genotipos el menor número de días a floración masculina 72, esta condición pudo deberse a que en este ambiente el manejo agronómico fue de temporal y este fue muy raquíptico (80.24 mm). En este contexto, Alcalá (2015) obtuvo resultados similares quien reporto valores entre 67 y 71 días a floración en híbridos precomerciales de maíz. La mayoría de los estudios que involucra los días a floración se basan cuando las plantas muestran el 50 + 1 % de las plantas liberando polen y con estigmas expuestos entre dos y tres cm de longitud (López, 2010; Gaytán y Makek, 2010; Torres *et al.*, 2011; Gómez *et al.*, 2015). Por otro lado, Rodríguez (2012) señala que 75 días para la expresión de la floración masculina puede definir la precocidad en maíces nativos de Nuevo León.

La precocidad tiene ventajas en estos tipos de materiales en zonas donde se siembran maíces criollos o variedades con bajos rendimientos; ya que estos genotipos son de ciclos cortos y ayudaría a elevar los rendimientos y adaptabilidad.

Tabla 5.5 Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Guanajuato, 2017.

<b>Genotipo</b>	<b>VV (%)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>ICL</b>	<b>Genotipo</b>	<b>DFM (días)</b>
M2 x promon	72.42 a	P. col x promon	60.19 a	Qro x prom	75.44 a
Pcol x TNM-106	70.88 a	P. Jaral	59.87 a	M2 x TNM-87	74.11 a
Cel x TNM-106	70.88 a	P. SMO	59.04 a	Pcol x TNM-87	73.77 a
SMO x TNM-87	69.47 a	M1 x TNM-106	58.75 a	Qro x TNM-106	73.66 a
P. Querétaro	69.47 a	Celaya x promon	58.74 a	H. MME	73.66 a
P. peña col	69.47 a	P. Peña colorada	58.62 a	M2 x promon	73.66 a
Cel x prom	69.47 a	SMO x promon	58.56 a	TNM-87	73.66 a
P. col x prom	68.07 a	P Querétaro	58.49 a	Cel x TNM-106	73.55 a

P. Celaya	68.07 a	Jaral x TNM-87	58.42 a	P2361w	73.44 a
M2 x TNM-87	67.93 a	Qro x promon	58.38 a	Jaral x TNM-87	73.22 a
Qro x TNM-106	59.35 a	M1 x promon	55.94 a	P. col x prom	71.22 a
TNM-87	59.35 a	M2 x promon	55.07 a	M1 x TNM-106	71.00 a
M1RC1	59.35 a	M2 x TNM-87	54.85 a	Cel x promo	70.77 a
SMO x prom	57.80 a	Qro x TNM-87	54.63 a	M2 Rc2	70.55 a
L. promon	56.40 a	P. col x TNM-106	54.60 a	SMO x TNM-87	69.88 a
DSH	24.38		6.16		6.71

**Ambientes**

Celaya (29/3/17)	69.00 a	Celaya (29/3/17)	59.12 a	Celaya (29/3/17)	73.28 a
Apaseo (7/4/17)	65.70 a	Apaseo (7/4/17)	57.75 b	Apaseo (7/4/17)	72.25 ab
Celaya (9/6/17)	59.50 b	Celaya (9/6/17)	55.14 c	Celaya (9/6/17)	72.03 b

---

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. VV, ICL y DFM, corresponden a vigor de planta, índice de clorofila y días a floración masculina, respectivamente. (29/3/17), (7/4/17) y (9/6/17), corresponden a los diferentes ambientes.*

En la Tabla 5.6 se observa el análisis de varianza combinado a través de ambientes para caracteres agronómicos, donde se puede observar que no hay diferencias significativas entre genotipos para todos los caracteres evaluados. Por otro lado, se observan diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) por el efecto del ambiente en apariencia general de planta (AGP), número de hojas debajo (HDM) y arriba de la mazorca (HAM), hojas totales (NHT), altura de planta (APL) y altura de mazorca (AMZ). Estos resultados indican que al menos en un ambiente los genotipos presentaron diferente comportamiento, motivo por el cual se procedió a aplicar la prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05). Además, estos caracteres evaluados no presentaron diferencia significativa en la interacción genotipo x ambiente (G x A). Estas respuestas pueden atribuirse a que los materiales fueron formados en un ambiente (Roque) y se evaluaron en otros ambientes diferentes para observar su comportamiento, de igual manera observar cuál era su respuesta al temporal ya que estos materiales son híbridos no convencionales, lo cual propicio la variabilidad fenotípica de los materiales en diferentes ambientes. Estos resultados coinciden con los reportados por Cervantes *et al.* (2007), quienes encontraron una fuerte diversidad genética en cruza simples de maíz de líneas endogámicas para

estas características. Por otro lado, Cervantes *et al.* (2013) al evaluar caracteres agronómicos en híbridos triples de maíz, muestra la ausencia de efectos significativos entre genotipos y densidad de población, así como para la interacción de estos dos factores para hojas por arriba de la mazorca, número de hojas, altura de planta y de mazorca.

Finalmente, el coeficiente de variación (CV) oscilo de 8.93% para número de hojas total a 16.40% para altura de mazorca; lo anterior indica, que esta investigación de campo fue conducida de forma adecuada y le da alta confiabilidad a la investigación. De acuerdo con Alcalá (2015) en híbridos precomerciales obtuvo coeficientes de variación bajos para el numero de hojas debajo y arriba de la mazorca, lo cual indica que la variación en campo fue muy discreta en el sentido de estas variables registradas.

Tabla 5.6 Cuadrados medios para caracteres agronómicos en mestizos de maíz. Roque, Celaya, Guanajuato, 2017.

F.V	G.L	HDM (no)	HAM (no)	NHT (no)	APL (m)	AMZ (m)
Bloque	2	1.46	0.15	2.55	0.031	0.10
Genotipo (G)	35	0.48	0.45	1.31	0.060	0.037
Ambiente (A)	2	7.65**	15.87**	34.37**	3.70**	0.61**
A (Bloque)	4	1.49	1.25	5.02	0.028	0.018
G*A	70	0.72	0.31	1.12	0.062	0.036
Error	72	0.59	0.39	1.17	0.075	0.039
C.V (%)	----	11.62	11.29	8.93	12.83	16.40

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad. HDM, HAM, NHT, APL y AMZ, corresponde a hojas debajo de mazorca, hojas arriba de mazorca, numero de hojas total, altura de planta y altura de mazorca, respectivamente.

En la Tabla 5.7 muestran la comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05), donde se observa que en el número de hojas debajo de la mazorca (HDM) la mayoría de los genotipos obtuvieron 6 hojas; mientras que, para hojas arriba de la mazorca (HAM) fue entre 5 a 6 hojas; por otra parte, el número total de hojas (NTH), el 80% de los genotipos obtuvieron 12 hojas verdaderas. Estos coincide con Ángeles (2010), en poblaciones de maíz y obtuvo en promedio 6 hojas arriba de la mazorca y

concluyo que esta característica forma parte del primer componente de rendimiento de grano. Por otro lado, Reyes (1990) menciona que un mayor número de hojas arriba de la mazorca contribuye en la acumulación de fotoasimilados en los órganos de reserva, pues estima que estas hojas y las que se encuentre en la parte media son las que mayor aportan al llenado de grano. Esta producción de mayor cantidad de hojas en la parte de arriba de la mazorca se podrá sumar un valor agregado donde podría aportar en caso de ser seleccionadas para participar en la producción de maíces forrajeros. Esto coincide con Presa (2012) (*comunicación personal*) menciona que los genotipos que sobresalen para esta característica pueden ser una buena fuente para la producción de forraje.

Tabla 5.7 Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Guanajuato, 2017.

<b>Genotipo</b>	<b>HDM (no)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>HAM (no)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>NHT (no)</b>
H.H374c	7.11 a	P col x TNM-87	6.00 a	P. col x prom	12.88 a
M2 x TNM-87	7.00 a	Qro x promon	6.00 a	H. H374c	12.88 a
P. Col x prom	7.00 a	M1 x TNM-106	5.88 a	Qro x prom	12.77 a
Cel x TNM-106	6.88 a	H. MME	5.88 a	H. MME	12.66 a
P. Querétaro	6.88 a	P col x promon	5.88 a	M2 x TNM-87	12.55 a
TNM-106	6.77 a	Celaya x promon	5.77 a	Cel x TNM-106	12.55 a
V. milenio	6.77 a	H. H374c	5.77 a	Cel x prom	12.55 a
SMO xTNM-106	6.77 a	M2 x TNM-106	5.66 a	M1 x TNM-106	12.55 a
Qro x promon	6.77 a	M2 x promon	5.66 a	P.col x TNM-87	12.55 a
M2 x TNM-106	6.77 a	M1 x promon	5.66 a	P. Querétaro	12.55 a
P. SMO	6.33 a	P. Celaya	5.33 a	Cel x TNM-87	11.77 a
M1 x promon	6.22 a	P. col x TNM-106	5.33 a	M2 Rc2	11.77 a
M1 Rc1	6.22 a	SMO x TNM-106	5.33 a	M1 Rc1	11.66 a
H. P2361w	6.22 a	SMO x TNM-87	5.22 a	P. SMO	11.66 a
TNM- 87	6.11 a	TNM- 87	5.11 a	TNM- 87	11.22 a
DSH	1.41		1.14		1.99
<b>Ambientes</b>					
Celaya (29/3/17)	6.90 a	Celaya (29/3/17)	5.87 a	Celaya (29/3/17)	12.78 a
Apaseo (7/4/17)	6.58 b	Celaya (9/6/17)	5.59 b	Celaya (9/6/17)	11.97 b

Celaya (9/6/17)	6.37 b	Apaseo (7/4/17)	5.12 c	Apaseo (7/4/17)	11.70 b
-----------------	--------	-----------------	--------	-----------------	---------

---

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. HDM, HAM y NHT, corresponden a hojas debajo de mazorca, hojas arriba de mazorca y número de hojas total, respectivamente. (29/3/17), (7/4/17) y (9/6/17), corresponden a los diferentes ambientes.*

Finalmente, en todos los ambientes evaluados para el número de hojas debajo (HDM) y arriba de la mazorca (HAM) todos los genotipos mostraron la misma cantidad; aunque en el ambiente Roque, Celaya (29/Marzo/17) mostro el mayor número de hojas total. Por otro lado, esta variación fenotípica encontrada en este carácter se atribuye a la diversidad genética de los materiales evaluados, como fue reportado por Cervantes *et al.* (2007) aunque ellos trabajaron con cruza simples provenientes de líneas endogámicas de maíz tropical y Andrio *et al.* (2011) en poblaciones de maíz.

En la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey 0.05 (Tabla 5.8) se observa que en general la altura de plantas fue de 1.96 a 2.30 m para todos los genotipos y para la altura de mazorca los genotipos alcanzaron un rango de 1.07 a 1.30 m; en este sentido, se puede observar que no existe una variabilidad genética muy amplia para estos caracteres evaluados, aunque muchos de los genotipos son de diferentes origen. Se considera que esta variable es muy importante para las empresas productoras de grano, para agrupar los genotipos para cosecha manual de mazorca o en siembras mecanizadas. Estos resultados coinciden por los reportados por Andrio *et al.* (2011) en poblaciones nativas de maíz, quienes reportaron una fuerte variación fenotípica de este carácter. Mientras que, Cervantes *et al.* (2011) en un diseño de cruzamientos dialélicos en líneas endogámicas de maíz tropical reportó una tendencia similar. En este contexto, Ortega *et al.* (2011) afirman que la altura de planta y mazorca en maíz, indican el grado de variación genética que puede existir en el germoplasma. Sin embargo, estos resultados difieren con los de Alcalá (2015)

en híbridos precomerciales de maíz, quien reporto valores de altura de planta entre 2.9 y 3.1 m y de 1.5 y 1.2 m para altura de mazorca.

Tabla 5.8 Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Guanajuato, 2017.

<b>Genotipo</b>	<b>APL (m)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>AMZ (m)</b>
Peña col x promon	2.30 a	P. colorada x promon	1.33 a
SMO x TNM-87	2.28 a	P. Peña colorada	1.32 a
H. H374c	2.24 a	SMO x TNM-87	1.31 a
M1 x TNM-106	2.23 a	Querétaro x promon	1.30 a
M2 x TNM-87	2.22 a	M2 x TNM-87	1.29 a
Querétaro x promon	2.22 a	Jaral x TNM-87	1.29 a
Jaral x TNM-106	2.22 a	P. Querétaro	1.29 a
P. peña colorada	2.21 a	M1 x promon	1.26 a
Jaral x TNM-87	2.21 a	H374c	1.26 a
Querétaro x TNM-87	2.18 a	V. milenio	1.25 a
Celaya x TNM-106	2.03 a	Celaya x TNM-87	1.14 a
M1 Rc1	2.02 a	L. promon	1.14 a
TNM-106	2.01 a	TNM-106	1.12 a
L. promon	1.99 a	TNM-87	1.10 a
TNM-87	1.96 a	M1 Rc1	1.07 a
DSH	0.50		0.36
Ambientes			
Celaya (29/3/17)	2.24 a	Celaya (29/3/17)	1.26 a
Celaya (9/6/17)	2.23 a	Celaya (9/6/17)	1.24 a
Apaseo (7/4/17)	1.92 b	Apaseo (7/4/17)	1.12 b

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. APL y AMZ, corresponden a altura de planta y altura de mazorca, respectivamente. (29/3/17), (7/4/17) y (9/6/17), corresponden a los diferentes ambientes.*

En la Tabla 5.9 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de ambientes para caracteres agronómicos de mestizos de maíz, donde se observan diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre los genotipos evaluados en aspecto general de la planta (AGP), sanidad de mazorca (SM) y acame de tallo (ACT), respectivamente. Por lo tanto, esto indica que al menos unos de los genotipos presento diferente comportamiento que el resto, motivo por el cual se procedió a



aplicar la prueba de comparación de media con Tukey al 0.05. Por otro lado, no se mostró diferencia significativa ( $P \leq 0.01$ ) en los caracteres de cobertura de mazorca (CM) y acame de raíz (AR). Estos resultados coinciden con Cervantes *et al.* (2014), al evaluar criollos mejorados obtuvo diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre los genotipos para sanidad de mazorca (SM). Pero difieren con Cervantes *et al.* (2015) al evaluar líneas de maíz para acame de raíz (AR).

Con respecto al ambiente de evaluación, se puede ver que existen diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las variables registradas. De la misma forma, se observa efecto estadístico al 0.01 para la interacción Genotipo x Ambiente ( $G \times A$ ) para los caracteres aspecto general de planta (AGPL), sanidad de mazorca (SM) y acame de planta (ACPL); mientras que esta interacción no modifico la cobertura de mazorca (CM) y el acame de raíz (ACR). Esto nos indica que para estas características los genotipos presentan la misma respuesta sin importar el ambiente de producción.

Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) oscilo de 7.29 a 28.70%, donde el valor más alto le a la apariencia general de planta. Estos resultados coinciden con Alcalá (2015) obtuvo coeficiente de variación de 15.75% para el aspecto general de planta en la evaluación de híbrido precomerciales. Sin embargo, Cano (2016) muestra lo contrario donde en su evaluación en criollos mejorados obtuvo coeficiente de variación bajo de 4.10% para el aspecto general de la planta, los cual indica que el ambiente juega un papel importancia en el desarrollo de estos genotipos para los componentes físicos y de sanidad de la planta.

Tabla 5.9 Cuadrados medios para caracteres agronómicos en mestizos de maíz. Roque, Celaya, Guanajuato, 2017.

F.V	G.L	AGPL (%)	CMZ (%)	SM (%)	ACT (%)	ARZ (%)
Bloque	2	33.69	34.59	34.35	18.54	293.32
Genotipo (G)	35	241.49**	105.56 <sup>ns</sup>	270.79**	4.83**	55.49 <sup>ns</sup>
Ambiente (A)	2	2285.19**	914.46**	1015.54**	31.64**	416.11**
A (Bloque)	4	582.64	354.05	18.43	5.08	296.53
G*A	70	263.77**	100.86 <sup>ns</sup>	188.36**	3.78**	37.88 <sup>ns</sup>
Error	72	100.14	96.45	65.56	1.67	41.23
C.V (%)	-----	17.11	14.39	22.07	28.70	7.29

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad; ns, No significativo. AGPL, CMZ, SMZ, ACT y ARZ; corresponden a aspecto general de planta, cobertura de mazorca, sanidad de mazorca, acame de planta y acame de raíz, respectivamente.

En la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05), (Tabla 5.10) se observa que la mayoría de los genotipos alcanzaron una cobertura regular de mazorca de 1 a 2 cm, por otra parte, la cobertura de mazorca (CM) está estrechamente relacionada con la sanidad de la mazorca (SM), esto es de gran relevancia debido a que al quedar cubierta la punta de la mazorca dará protección a las semillas o granos del maíz, al no permitir la entrada de plagas y enfermedades así como humedad que provoque la pudrición por hongos de estas. Sin embargo, los genotipos con mejor sanidad de mazorca (SM) es la población peña colorada y la cruce SMO x TNM-87 con un rango de 45.95 a 46.80% de sanidad, mientras que el resto de los genotipos oscilan entre 27 a 44%.

Tabla 5.10 Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Guanajuato, 2017.

Genotipo	CM (%)	Genotipo	SM (%)
Peña col x TNM-106	78.19 a	P. peña colorada	46.80 a
Peña col x promon	75.24 a	SMO x TNM-87	45.95 ab
Jaral x promon	72.29 a	M1 Rc1	44.79 a-c
Querétaro x TNM-106	72.29 a	P. SMO	43.72 a-d
P. peña colorada	72.29 a	H. MME	43.20 a-d
Celaya x promon	72.29 a	M1 x TNM-87	43.14 a-e
M1 x TNM-87	72.29 a	P2361w	42.29 a-f
M1 x TNM-106	69.34 a	M2 x TNM-106	42.16 a-f
H374c	69.34 a	SMO x promon	41.80 a-f
M2 Rc2	69.34 a	M2 Rc2	40.98 a-f
SMO x promon	63.44 a	H374c	29.89 d-f
Pionner 12	63.44 a	L. promon	28.32 ef
Celaya x TNM-87	63.44 a	M1 x TNM-106	27.80 f
P. SMO	63.44 a	V. milenio	27.69 f
TNM-87	63.44 a	M2 x promon	27.67 f
DSH	18.02		14.86
<b>Ambientes</b>			
Celaya (29/3/17)	70.94 a	Celaya (29/3/17)	40.21 a
Celaya (9/6/17)	68.60 a	Celaya (9/6/17)	35.07 b
Apaseo (7/4/17)	65.16 b	Apaseo (7/4/17)	34.74 b

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. CM y SM, corresponden a cobertura de mazorca y sanidad de mazorca, respectivamente. (29/3/17), (7/4/17) y (9/6/17), corresponden a los diferentes ambientes.*

Por último, se observa que en el ambiente Roque, Celaya (29/Marzo/17) se obtuvo la mejor cobertura de mazorca (CM) y la mejor sanidad (SM). Por otro lado, se observa que en el ambiente de Apaseo el Grande, Gto se obtuvo el menor porcentaje tanto para cobertura de mazorca (CM) y para sanidad de (SM); sin embargo, el grado de presencia es apenas perceptible y pudiera ser un material sensible solo si a las densidades y temperaturas se presentan en extremidad, provocando que se incrementa su presencia, se estima que los daños en ciertos casos pueden ocasionar pérdidas económicas considerables (Cervantes *et al.*, 2015).

Por otra parte, se observa que los genotipos con el mejor aspecto general de planta son Peña col x promon y P col x TNM-106 con un 68 y 69%, en cambio, el genotipo con el peor aspecto general es la población M1Rc1 con el 48.33%. Por otro parte, el carácter registrado de acame de planta (ACT) se observa que el 80% de los materiales evaluados mostraron un acame que oscila entre 4 a 5.50%. Sin embargo, para el acame de raíz (ACR) el 80% de los materiales evaluados mostraron el 100% de resistencia al acame. Estos resultados coinciden con García *et al.* (2001) donde evaluó maíz dulce y reporta que esos genotipos tienden hacer resistentes al acame de raíz. Por otro lado, Cervantes *et al.* (2015) en líneas de maíz muestra acame de raíz que oscilan de 3.56 a 4.4%, aunque esta condición se la atribuyen a las características del tipo de suelo, ya que son suelos pobres y pocos profundos, aunado a esto presentan propiedades físicas y químicas no aptas para el buen desarrollo del cultivo, por ejemplo, pobre desarrollo del sistema radicular que ocasiona el acame de raíz y planta.

Tabla 5.11 Comparación de medias para caracteres agronómicos en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Guanajuato, 2017.

<b>Genotipo</b>	<b>AGP (%)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>ACT (%)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>ACR (%)</b>
P.col x promon	69.47 a	P. Querétaro	5.56 a	P. col x prom	90.00 a
P.col x TNM-106	68.45 ab	L. promon	5.55 a	Cel x TNM-87	90.00 a
Cel x promon	68.07 ab	Jaral x promon	5.52 a	H. MME	90.00 a
P.col x TNM-87	66.78 ab	Pionner 12	5.50 a	Cel x TNM-106	90.00 a
Jaral x TNM-106	63.57 a-c	M2 x TNM-106	5.37 ab	M2 Rc2	90.00 a
M1 x TNM-87	63.57 a-c	TNM-87	5.33 ab	TNM-87	90.00 a
M2 x TNM-87	62.55 a-c	P. col x promon	5.21 a-c	Jaral x TNM-87	90.00 a
P2361w	62.29 a-c	P2361w	5.14 a-c	M1 x TNM-87	90.00 a
H374c	62.16 a-c	SMO x TNM-87	5.08 a-c	SMO x TNM-87	90.00 a
Qro x promon	62.16 a-c	SMO x TNM-106	5.07 a-c	M2 x promon	90.00 a
L. promon	52.55 a-c	M1 Rc1	3.71 a-d	P. Celaya	84.09 a
P. Querétaro	52.42 a-c	M2 Rc2	3.69 a-d	SMOx TNM106	84.09 a
P. SMO	51.14 a-c	H. MME	3.04 b-d	P. peña col	84.09 a
P. jaral	51.02 bc	M2 x promon	2.94 cd	P2361w	84.09 a
M1 Rc1	48.33 c	P. SMO	2.58 c	M1 Rc1	79.73 a
DSH	18.37		2.37		11.78

**Ambientes**

Celaya (29/3/17)	61.32 a	Apaseo (7/4/17)	5.01 a	Celaya (9/6/17)	89.39 a
Celaya (9/6/17)	60.90 a	Celaya (9/6/17)	4.59 a	Celaya(29/3/17)	89.01 a
Apaseo (7/4/17)	53.15 b	Celaya (29/3/17)	3.93 b	Apaseo (7/4/17)	85.81 b

---

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. AGP, ACT y ACR, corresponden para aspecto general de planta, acame de planta y acame de raíz, respectivamente. (29/3/17), (7/4/17) y (9/6/17), corresponden a los diferentes ambientes.*

**5.3 Rendimiento de campo y sus componentes**

En la Tabla 5.12, se presentan los resultados del análisis de varianza combinado a través de ambientes para caracteres de rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz, donde se observa efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para longitud de mazorca (LM) y diámetro de mazorca (DM), de igual manera, se observa diferencia significativa al 0.05 producido por los genotipos para la variable rendimiento de campo (RC). Por otro lado, el ambiente de evaluación mostro diferencias estadística ( $P \leq 0.01$ ) para todos los caracteres registrados. Por otra parte, la interacción Genotipo x Ambiente ( $G \times A$ ) también expreso efecto estadístico al ( $P \leq 0.05$ ) para el rendimiento de campo (RC) y diferencia significativa al 0.01 para longitud de mazorca (LM) y diámetro de mazorca (DM). Finalmente, es importante señalar que se presentaron coeficientes de variación buenos en la mayoría de los caracteres registrados, lo cual le da una alta confiabilidad en los resultados. Estos resultados coinciden con Cervantes *et al.* (2013) y Cervantes *et al.* (2014), donde al evaluar maíces criollos mejorados y líneas de maíz obtuvo diferencias estadística significativa al 0.01. De igual manera, estos resultados coinciden con Cano y Alcalá (2015), donde de igual manera al evaluar hibrido precomerciales y criollos mejorados, respectivamente obtuvieron diferencias estadísticas significativas al 0.01

y 0.05. Por otro lado, resultados de Velázquez *et al.* (2018) donde al evaluar mestizos de maíz mostro diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre localidades. Sin embargo, Almaraz *et al.* (2015) mencionan que al evaluar maíces nativos pigmentados encontró diferencias significativas entre genotipos para longitud de mazorca y rendimiento de campo, pero no obtuvo diferencias en el diámetro de mazorca; por otro lado, en la interacción fechas de siembra x genotipo solamente obtuvo diferencias significativa al 0.05 para rendimiento de campo. Finalmente, estos se contraponen a los de Cervantes *et al.* (2014) donde muestra que la longitud y diámetro de mazorca no fueron modificados por los factores evaluados.

Tabla 5.12 Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz. Roque, Celaya, Gto. 2017.

F.V	G.L	RC (ton ha <sup>-1</sup> )	LM (cm)	DM (cm)
Bloque	2	3.83	0.363	0.094
Genotipo (G)	35	3.24*	5.71**	0.227**
Ambiente (A)	2	621.22**	188.90**	2.64**
A (Bloque)	4	2.51	0.083	0.121
G*A	70	3.63*	5.43**	0.235**
Error	72	1.97	0.872	0.055
C.V (%)	-----	27.13	5.35	4.79

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. RC, LM y DM; corresponden a rendimiento de campo, longitud de mazorca y diámetro de mazorca, respectivamente.

En la prueba de medias de acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05), en la Tabla 5.13 indican la presencia de los genotipos con ciertas características contrastantes o diferentes del resto de los materiales evaluados, en caso del rendimiento de campo el genotipo Peña col x promon presento el mayor promedio con (6.55 ton ha<sup>-1</sup>) siendo la línea TNM-87 con el menor promedio con (3.67 ton ha<sup>-1</sup>). Por otro lado, los genotipos Celaya x promon y Celaya x TNM-106 presentaron valores superiores en diámetro y longitud de mazorca, respectivamente. En este sentido, Cervantes *et al.* (2013) en caracteres agronómicos en criollos mejorados, el mestizo con mayor rendimiento fue de 8 ton ha<sup>-1</sup>; estos resultados indican que el mejoramiento de maíces criollos a

través del método de integración de alelos es una excelente alternativa para incrementar los rendimientos en las zonas rurales de nuestro país como lo afirmaron Amri *et al.* (1997) y Bergvinson *et al.* (2007).

Para el carácter de longitud de mazorca (LM) donde López *et al.* (2010), mencionan que las mazorcas largas se obtienen de los criollos identificados como intermedios y tardíos. Otros autores mencionan que la longitud de mazorca contribuye a aumentar el número de granos por mazorca y por lo tanto el rendimiento (Luna y Gutiérrez, 2000; Andrade *et al.*, 2002; Presa, 2015). Por otro lado, Reyes (2014) menciona que obtuvo valores de diámetro de mazorca 3.1 a 4.8 cm en maíces nativos; sin embargo, Castañon *et al.* (2000) y Presa *et al.* (2015) observaron valores para diámetro de mazorca menores a los resultados en este trabajo, lo cual confirman la diversidad y riqueza genética de maíz.

Por otro lado, el mejor ambiente para el rendimiento y sus componentes fue Roque, Celaya (29/Marzo/17), con un rendimiento promedio de 7.94 ton ha<sup>-1</sup>. Mientras que para Roque, Celaya (9/Junio/17), solo presento un rendimiento promedio de 3.71 ton ha<sup>-1</sup>, siendo el ambiente con el peor comportamiento. Esto se debe a la baja precipitación ya que este ambiente fue manejado como temporal y además una baja fertilización química. Finalmente, Kempton (1984), Alejos *et al.* (2006) y Cepeda *et al.* (2009) mencionan en resultados anteriores que el rendimiento de grano es un carácter cuantitativo y sujeto fuertemente a la influencia del ambiente de producción. Por otro lado, es importante señalar que existe una fuerte interacción genotipo-ambiente para el rendimiento de campo, comportamiento esperado ya que esta característica así ha sido reportada por muchos investigadores y como carácter cuantitativo esa es su naturaleza.

Tabla 5.13 Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2017.

Genotipo	LM (cm)	Genotipo	DM (cm)	Genotipo	RC (ton/ha <sup>-1</sup> )
Cel x TNM106	19.17 a	Cel x promon	5.27 a	P. col x prom	6.55 a
P. Qro	18.75 ab	M1 x promon	5.14 ab	M2 x TNM-87	6.13 ab
M2 x TNM-87	18.46 a-c	M2 x promon	5.12 a-c	M1 x promon	6.10 ab
P. Jaral	18.43 a-c	P. col x TNM-87	5.09 a-c	Qro x prom	5.97 ab
Jaral x pro	18.35 a-d	M2 x TNM-87	5.08 a-c	P.col xTNM106	5.88 ab
M2 x TNM106	18.33 a-e	Qro x TNM-106	5.04 a-d	Cel x TNM87	5.66 ab
Qro x TNM106	18.30 a-f	Cel x TNM-87	5.04 a-d	Pionner 12	5.64 ab
Cel x TNM87	18.25 a-f	P. col x promon	5.03 a-e	Qro x TNM87	5.64 ab
P. col x pro	18.18 a-g	SMO x TNM-106	5.03 a-e	Cel x TNM106	5.54 ab
Qro x TNM87	18.02 a-h	P2361w	5.03 a-e	P.col x TNM87	5.45 ab
M1 Rc1	16.46 h-j	TNM-106	4.71 b-e	TNM-106	4.53 ab
SMOxTNM106	16.38 h-j	L. promon	4.70 c-e	Jaral x TNM87	4.46 ab
TNM-106	16.37 h-j	M1 Rc1	4.65 de	P. SMO	4.17 ab
TNM- 87	16.10 ij	M1 x TNM-87	4.65 de	M1 Rc1	3.87 b
L. promon	15.96 j	TNM-87	4.61 e	TNM-87	3.67 b
DSH	1.71		0.43		2.58
<b>Ambientes</b>					
Celaya(29/3/17)	18.60 a	Celaya (29/3/17)	5.08 a	Celaya(29/3/17)	7.94 a
Apaseo (7/4/17)	17.71 b	Celaya (9/6/17)	4.83 b	Apaseo (7/4/17)	3.87 b
Celaya (9/6/17)	16.00 c	Apaseo (7/4/17)	4.80 b	Celaya (9/6/17)	3.71 b

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. LM, DM y RC, corresponden a longitud de mazorca, diámetro de mazorca y rendimiento de campo, respectivamente. (29/3/17), (7/4/17) y (9/6/17), corresponden a los diferentes ambientes.*

En la Tabla 5.14, se observa el análisis de varianza combinado a través de ambientes para los componentes de rendimiento, donde se puede apreciar diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre los genotipos para los caracteres de hileras por mazorca (HPM) y granos por hilera (GPH) y diferencias estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ) la variable índice de prolificidad (IP). Estos resultados coinciden con Cervantes *et al.* (2014) donde al evaluar criollos mejorados para rendimiento muestra efectos estadísticos significativos ( $P \leq 0.01$ ) para número de granos por hilera y hileras por mazorca. Del mismo modo, Cervantes *et al.* (2013) muestra que el



índice de prolificidad presentó una significancia del 0.05 entre genotipos. Por otra parte, el ambiente también afectó estadísticamente todos los componentes con diferencias significativas al ( $P \leq 0.01$ ) para hileras por mazorca (HPM) e índice de prolificidad (IP) y se observó diferencia significativa al 0.05 para granos por hilera (GPH). Finalmente, el efecto de la interacción Genotipo x Ambiente ( $G^*A$ ) modificaron estos caracteres registrados al nivel de significancias de 0.05. Los valores del C.V del análisis de varianza se consideran aceptables para la mayoría de las variables, los cuales oscilan desde 9.69 a 16%, lo cual manifiesta que el experimento fue conducido de forma correcta y le da alta confiabilidad a la investigación. Estos resultados coinciden con Alcalá (2015) donde evaluó híbrido precomerciales y obtuvo diferencias significativas al 0.01 y 0.05 entre genotipos y ambientes, sin embargo en la interacción donde no obtuvo diferencias significativa fue en la variable granos por hilera.

Tabla 5.14 Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz. Roque, Celaya, Gto. 2017.

F.V	G.L	HPM (No)	GPH (No)	IP
Bloque	2	0.92	6.73	0.028
Genotipo (G)	35	4.59**	52.63**	0.049*
Ambiente (A)	2	23.59**	81.86*	0.355**
A (Bloque)	4	4.18	15.59	0.131
$G^*A$	70	2.67**	31.07**	0.047**
Error	72	1.80	13.12	0.027
C.V (%)	-----	9.69	10.26	16.08

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. HPM, GPH e IP; corresponden a hileras por mazorca, granos por hilera e índice de prolificidad, respectivamente.

En la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05) en la Tabla 5.15, se observa que los genotipos Peña col x promon y Querétaro x promon estuvieron dentro de los mejores cinco genotipos para los tres componentes del rendimiento. Sin embargo, el híbrido P2361w fue el que sobresalió en la característica de hileras por mazorca (HPM). Mientras, que el genotipo Querétaro x

promon sobresalió en la característica de granos por hilera (GPH) e índice de prolificidad (IP). Por otro lado, el genotipo SMO x promon mostro la peor condición en dos componentes de rendimiento con un promedio para hileras por mazorca de 12.66 y para granos por hilera de 28.88. De igual manera la línea caimán 106 mostro el peor índice de prolificidad con un (0.90). Del mismo modo, se puede afirmar que el 30% de los materiales no alcanzo la producción de al menos una mazorca por planta. En este sentido Márquez (2000) señala que el índice de prolificidad (IP) es una característica importante y que debe ser incluida en los programas de mejoramiento genético como medio para incrementar el rendimiento. Sin embargo, estos resultados difieren con Cervantes (2015) donde evaluó el rendimiento de maíces criollos mejorados y sus progenitores y obtuvo índices de prolificidad mejores. De igual manera, estos resultados no coinciden con Alcalá (2015) en su evaluación de híbrido precomerciales el 80% de sus materiales no alcanzaron la producción de una mazorca por planta.

Tabla 5.15 Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2017.

<b>Genotipo</b>	<b>HPM (no)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>GPH (no)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>IP (%)</b>
P2361w	15.33 a	Qro x promon	39.00 a	Qro x prom	1.23 a
Qro x prom	15.33 a	M2 x TNM106	38.88 a	M1 x promon	1.19 ab
V. milenio	15.11 ab	P. col x promon	38.66 a	P. col x prom	1.19 ab
P.col x prom	14.88 ab	Qro x TNM87	38.44 ab	Cel x TNM87	1.12 ab
P.col x TNM106	14.66 ab	M2 x TNM87	38.00 ab	M2 x TNM106	1.09 ab
M2 x TNM87	14.44 ab	P. Querétaro	37.77 ab	L. promon	1.08 ab
Cel x TNM87	14.44 ab	H. MME	37.66 ab	Jaral x TNM106	1.06 ab
M1 x promon	14.44 ab	H374c	37.44 ab	TNM-87	1.06 ab
Pionner 12	14.44 ab	SMO x TNM106	37.22 a-c	M2 Rc2	1.05 ab
Qro x TNM106	14.22 ab	P. jaral	36.77 a-d	Pionner 12	1.03 ab
L. promon	13.11 ab	M1 x TNM87	31.88 b-e	Cel x promon	0.95 ab
M1 x TNM106	12.88 ab	P. col x TNM87	30.77 c-e	H374c	0.92 b
Jaral x prom	12.88 ab	Pionner 12	30.66 c-e	M1 Rc1	0.92 b
M1 Rc1	12.88 ab	P. SMO	30.55 de	H. MME	0.91 b
SMO x prom	12.66 b	SMO x promon	28.88 e	TNM- 106	0.90 b
DSH	2.46		6.64		0.30

<b>Ambientes</b>					
Celaya (29/3/17)	14.35 a	Celaya (29/3/17)	36.22 a	Celaya(29/3/17)	1.08 a
Apaseo (7/4/17)	13.77 b	Apaseo (7/4/17)	35.13 ab	Celaya (9/6/17)	1.01 b
Celaya (9/6/17)	13.42 b	Celaya (9/6/17)	34.50 b	Apaseo (7/4/17)	0.9687 b

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. HPM, GPH e IP, corresponden a hileras por mazorca, granos por hilera e índice de prolificidad, respectivamente. (29/3/17), (7/4/17) y (9/6/17), corresponden a los diferentes ambientes.*

Finalmente, el ambiente de Roque, Celaya (29/Marzo/17) y Apaseo el Grande, Gto (7/Abril/17), representan como los mejores ambientes de producción, al ser consistentes con los mejores resultados para el número de hileras por mazorca (HPM), granos por hilera (GPH) e índice de prolificidad (IP). Por otro lado, Virgen *et al.* (2013) hace referencia al índice prolificidad que es debido a que es una características propia del genotipo y no del ambiente, y con respecto a la otra características existen reportes contrastantes.

En la tabla 5.16, se observa el análisis de varianza combinado a través de ambientes, para algunos componentes de rendimiento como porcentaje de desgrane (PD) y peso volumétrico (PV), donde se puede observar diferencias significativa al ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para el carácter registrado peso volumétrico (PV), a excepción de la característica porcentaje de desgrane (PD) donde no presento diferencias significativas. Estos resultados coinciden con Cervantes *et al.* (2015) donde muestra efecto estadístico ( $P \leq 0.05$ ) entre genotipos para el peso volumétrico del grano. Por otro lado, los ambientes se vieron afectado estadísticamente en todos los componentes con significancia ( $P \leq 0.01$ ) para porcentaje de desgrane (PD) y al ( $P \leq 0.05$ ) para peso volumétrico (PV). Estos resultados difieren de los de Cervantes *et al.* (2015) donde el ambiente de evaluación no afecto significativamente el peso volumétrico. Finalmente, el efecto de la interacción Genotipo x Ambiente ( $G^*A$ ) modifico estadísticamente al nivel de significancia de 0.01 la característica de peso volumétrico, pero esta interacción no modifico significativamente el porcentaje de desgrane (PD). Los valores del coeficiente de variación (CV) del análisis de varianza

se consideran aceptables para esta variables, los cuales constan de 3.64% para peso volumétrico (PV) y 13.37% para porcentaje de desgrane (PD). Estos resultados coinciden con Almaraz *et al.* (2015) donde al evaluar maíces pigmentados también obtuvo diferencias significativas en el peso volumétrico.

Tabla 5.16 Cuadrados medios para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz. Roque, Celaya, Gto. 2017.

F.V	G.L	PD (%)	PV (kg hL)
Bloque	2	0.214	22.06
Genotipo (G)	35	8.16 <sup>ns</sup>	23.37 <sup>**</sup>
Ambiente (A)	2	154.35 <sup>**</sup>	25.73 <sup>*</sup>
A (Bloque)	4	11.02	62.43
G*A	70	7.09 <sup>ns</sup>	19.53 <sup>**</sup>
Error	72	8.89	6.78
C.V (%)	-----	13.37	3.64

*\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad; ns, No significativo. PD y PV; corresponden a porcentaje de desgrane y pesos volumétrico, respectivamente.*

En la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05) en la Tabla 5.17, se observa que los genotipos muestran un porcentaje de desgrane (PD) que oscila entre 20 a 24%, por otra parte, el carácter de peso volumétrico (PV) muestra que las cruzas Peña col x promon y M1 x promon presentaron el mejor peso específico de los materiales. Los genotipos con mayor peso volumétrico fueron las cruzas Peña col x promon y M 1 x promon rebasando los 74 kg hL<sup>-1</sup>. Estos resultados se contraponen con los de Vázquez *et al.* (2003), donde encontraron que el 60% de las retrocruzas hechas en maíz tuvieron un peso hectolitrito mayor o igual al mínimo establecido en la norma mexicana de calidad. La cual establece que para que un genotipo de maíz este dentro de norma debe de encontrarse entre los valores de 70 a 80 Kg hL. En este estudio, la línea TNM-106 y las poblaciones San Miguel Octopan y Celaya obtuvieron valores menores a los 70 kg hL<sup>-1</sup>, por que están fuera de norma y no cumplen con la calidad industrial para grano.

Tabla 5.17 Comparación de medias para rendimiento y sus componentes en mestizos de maíz para el centro de México. Roque, Celaya, Gto. 2017.

<b>Genotipo</b>	<b>PD (%)</b>	<b>Genotipo</b>	<b>PV (kg/hL)</b>
Peña colorada x TNM-87	24.30 a	Peña col x promon	74.52 a
P. Celaya	24.09 a	M1 x promon	74.06 ab
Peña colorada x TNM-106	23.69 a	Querétaro x promon	73.46 a-c
Jaral x promon	23.49 a	Celaya x TNM-87	73.43 a-c
Celaya x TNM-106	23.47 a	H374c	73.41 a-c
M1 x promon	23.39 a	SMO x promon	73.13 a-d
P2361w	23.16 a	Celaya x TNM-106	73.07 a-d
M1 x TNM-87	22.85 a	Querétaro x TNM-106	73.04 a-d
Pionner 12	22.83 a	V. milenio	72.45 a-e
M2 x TNM-87	22.78 a	L. promon	72.43 a-e
Querétaro x TNM-87	21.28 a	Peña colorada x TNM-106	69.17 c-e
M2 Rc2	20.92 a	Pionner 12	69.02 c-e
TNM- 87	20.79 a	P. SMO	68.81 c-e
M1 Rc1	20.69 a	TNM-106	68.38 de
TNM-106	19.97 a	P. Celaya	68.23 e
DSH	5.47		4.78
<b>Ambientes</b>			
Celaya (29/3/17)	23.58 a	Celaya (29/3/17)	72.10 a
Apaseo (7/4/17)	22.04 b	Apaseo (7/4/17)	71.31 ba
Celaya (9/6/17)	21.22 b	Celaya (9/6/17)	71.21 b

*Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes. PD y PV, corresponden a porcentaje de desgrane y peso volumétrico, respectivamente. (29/3/17), (7/4/17) y (9/6/17), corresponden a los diferentes ambientes.*

Finalmente, los mejores ambientes en lo que se refiere a la característica porcentaje de desgrane (PD) donde se obtuvo el mejor porcentaje fueron los ambientes de Roque, Celaya (29/Marzo/17) y Apaseo el Grande, Gto (7/Abril/17) obteniendo 23.58 y 22.04%, respectivamente; por otro lado, con respecto al carácter de peso volumétrico (PV) en todos los ambientes evaluados presento arriba del 70 kg/hL en las medias, obteniendo un buen manejo de grano libre de impurezas y daños ocasionado por plagas y maquinaria.

De acuerdo con Tukey ( $\alpha$ , 0.05), en la Tabla 5.18 se observa la comparación de medias para la interacción genotipo por ambiente, el cual muestra que para el carácter rendimiento de campo (RC), la cruza Peña col x promon obtuvo el mejor rendimiento con  $11.29 \text{ ton ha}^{-1}$  en el ambiente Roque (29/M/17); sin embargo, para los dos ambientes restantes presento un disminución ( $3.32$  a  $3.76 \text{ ton ha}^{-1}$ ), por otro lado, los genotipos TNM-106, promon, Celaya x promon, M1 RC1 y P. SMO presentan los rendimiento más bajos en los tres ambientes con valores de  $3.30$  a  $6.14 \text{ ton ha}^{-1}$ . Se han reportado resultados que han evaluado el mejoramiento genético a través de retrocruzas en maíz y muestran que el rendimiento de grano se incrementó en 30% con respecto de sus progenitores (Márquez *et al.*, 2000 y Vázquez *et al.*, 2003). Con respecto a la sanidad de mazorca (SM) se pudo observar en el ambiente Roque (29/M/17) presentó un rango de 23 a 35% de sanidad de mazorca. Por otro lado, con respecto longitud de mazorca (LM) los genotipos de bajo rendimiento mostraron en esta característica una buena longitud ( $16.20$  a  $18.89 \text{ cm}$ ) en los tres ambientes, con excepción de la línea promon que obtuvo valores de  $12.30$  a  $14.50 \text{ cm}$ , ya que este material es una línea endogámica nivel S8 de homocigocidad. Con respecto al diámetro de mazorca (DM) todos los genotipos mostraron diámetros que oscilan entre  $4.07$  a  $5.33 \text{ cm}$  en todos los ambientes.

Tabla 5.18 Valores medios del comportamiento de la interacción genotipo-ambiente (G\*A) en maíz para el centro de México.

Genotipo	Ambiente	Rendimiento (ton/ha <sup>-1</sup> )	Sanidad de mazorca (%)	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Peso volumétrico (kg/hL)
Peña colorada x promon	1 Roque (29/M/17)	11.29	23.08	20.13	5.33	75.23
	2 Apaseo (7/A/17)	3.76	47.22	18.90	5.04	71.60
	3 Roque (9/J/17)	3.32	34.10	15.52	4.74	76.56
M1 x promon	1 Roque (29/M/17)	10.37	40.06	19.02	5.18	74.33
	2 Apaseo (7/A/17)	4.36	30.00	18.67	4.92	75.73
	3 Roque (9/J/17)	3.58	35.71	16.21	5.33	73.50
Celaya x TNM-87	1 Roque (29/M/17)	10.36	36.57	18.03	5.24	72.53
	2 Apaseo (7/A/17)	3.28	44.44	19.00	4.59	71.00
	3 Roque (9/J/17)	3.29	33.13	17.73	5.30	75.70
Peña colorada x TNM- 106	1 Roque (29/M/17)	9.72	41.70	17.81	5.16	70.23
	2 Apaseo (7/A/17)	6.65	25.75	18.20	4.52	71.23
	3 Roque (9/J/17)	3.28	31.66	15.99	4.49	72.63
M2 x TNM-87	1 Roque (29/M/17)	9.56	37.79	19.93	5.10	75.70
	2 Apaseo (7/A/17)	3.25	23.33	18.36	4.78	67.20
	3 Roque (9/J/17)	3.81	31.94	17.08	5.36	71.00
L. promon	1 Roque (29/M/17)	6.14	41.81	14.50	4.97	70.23
	2 Apaseo (7/A/17)	3.59	20.74	12.31	5.07	67.20
	3 Roque (9/J/17)	3.85	22.40	12.41	4.07	70.23

Celaya x promon	1 Roque (29/M/17)	6.09	42.59	18.89	5.24	69.53
	2 Apaseo (7/A/17)	4.59	33.33	17.02	5.31	69.63
	3 Roque (9/J/17)	4.09	31.57	16.81	5.26	64.66
M1 Rc1	1 Roque (29/M/17)	4.93	52.88	18.81	4.88	68.40
	2 Apaseo (7/A/17)	3.37	45.95	16.25	4.80	69.36
	3 Roque (9/J/17)	3.30	35.55	14.33	4.26	69.26
P. SMO	1 Roque (29/M/17)	4.91	48.94	16.21	4.66	68.76
	2 Apaseo (7/A/17)	3.32	45.95	19.27	4.97	66.76
	3 Roque (9/J/17)	4.90	35.51	14.43	4.73	70.90
TNM-87	1 Roque (29/M/17)	3.85	37.65	17.41	5.17	68.40
	2 Apaseo (7/A/17)	3.27	32.06	16.62	4.97	69.36
	3 Roque (9/J/17)	3.90	34.44	14.44	4.30	71.63

*Comparación de medias para los tres ambientes evaluados. RC, SM, LM, DM y PV. Que corresponde a rendimiento de campo, sanidad de mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso volumétrico, respectivamente.*

Finalmente, se observa que el peso volumétrico (PV) está por arriba de los 74 kg hL<sup>-1</sup> en las cruza Peña col x promon, M1 x promon en dos ambientes, Celaya x TNM-87 y Peña col x TNM-106 sobresalieron en el ambiente Roque (29/3/17) y M2 x TNM-87 únicamente supero los 74 Kg hL<sup>-1</sup> en el ambiente Apaseo (7/4/17) superando estos el parámetro establecido por la norma mexicana de calidad. En este sentido, Medina *et al.* (2002) mencionan que la interacción genotipo por localidad evidenció un comportamiento diferencial entre los genotipos para el rendimiento de campo en maíz. Otros estudios indican que la interacción genotipo por ambiente ha mostrado un comportamiento diferencial entre variedades e híbridos de maíz (Medina *et al.*, 2002).



## VI. CONCLUSIONES

- El análisis de varianza mostro efecto estadístico significativo en los caracteres de calidad de semilla y vigor inicial de plántula en mestizos de maíz entre genotipos.
- Los mestizos con mejor peso de semilla fueron Jaral x TNM-87, San Miguel Octopan x TNM-87 y Jaral x Promon; mientras que, las líneas progenitoras presentaron el peor comportamiento.
- Los valores de porcentaje de emergencia (PE) fueron en general altos, superando el porcentaje mínimo establecido por el SNICS (90 %). Aunque la población Jaral presentó un 76 % de emergencia.
- Los mestizos Peña col x promon, M1 x promon, Querétaro x promon y Celaya x TNM-87 fueron consistentes con el mejor comportamiento para los caracteres agronómicos (índice de clorofila, hojas arriba de mazorca, número de hojas total, altura de planta, cobertura de mazorca aspecto general y resistentes al acame de raíz.
- Los híbridos Peña col x promon, M1 x promon, M2 x TNM-87, Celaya x TNM-87 y Querétaro x promon presentaron el rendimiento más alto (5.66 a 6.55 ton ha<sup>-1</sup>) en promedio en todas las localidades. Del mismo modo, la mayoría de estos genotipos antes mencionados fueron consistentes con el mejor comportamiento para los componentes de rendimiento.
- Con respecto al peso volumétrico, el 95% de los genotipos evaluados superó el valor mínimo establecido por la Norma Oficial Mexica de calidad de semilla.

- Las localidades de Roque, Celaya (29/Marzo/17) y Apaseo el Grande, Gto (7/Abril/17) fueron los ambientes que expresaron la mejor adaptabilidad de los genotipos evaluados, al ser superiores en la mayoría de los caracteres registrados.
- Hubo efecto en la interacción genotipo por ambiente ( $G \times A$ ) para los caracteres evaluados en los componentes de rendimiento. Sin embargo, en los caracteres agronómicos el ambiente no mostro expresión fenotípica.
- Finalmente, las cruzas Peña col x promon, M1 x promon y Celaya x TNM-87 presentaron mayor estabilidad y adaptabilidad para rendimiento, superando la media por ambientes; ya que sus resultados fueron consistentes en los tres ambientes evaluados, por otro lado, las cruzas Peña col x TNM-106 y M2 x TNM-87, donde también sobresalieron en dos ambientes pero también estuvieron por arriba de la media de rendimiento en dos ambientes.

## VII. LITERATURA CITADA

- Agrawal, P. K., Agrawal, B. D.; Venkat, R.P. and Singh, J. 1998. Seed multiplication, conditioning and storage. In: Morris, M. L (Ed). Maize seed industries in developing countries. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Lynne Rienner Publishers. Inc, USA. Pp. 103-124.
- Aguilar Soto, César. Sistemas de regadío y empresarios agrícolas en el norte de Sinaloa, México, 2010.
- Ajala SO; Fakorede MAB (1988). Inheritance of seedling vigor and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica* 33: Pp. 121-129.
- Alcalá G, F. 2015. Análisis de la interacción genotipo-ambiente en híbridos pre-comerciales de maíz para el centro de México. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, México. p.36-39
- Alejos, G., P. Monasterio and R. Rea. 2006. Evaluation of the genotype-environment interaction for maize yield in Yaracuy state, Venezuela. *Agronomía Trop.* 56(3): p 370-384.
- Almaraz. Q. E. 2015. Parámetros genéticos de la calidad de semilla, vigor de plántula y caracteres agronomicos en maíces nativos pigmentados. Tesis de maestria. Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, Mexico. P. 54-58.
- Amri A (1997). Participatory plant breeding, adding value and the effect of agricultural policy on genetic diversity of crops. IPGRI. ROMA, ITALIA.
- Andrade F., L. Echarte, R. Rizzalli, A. Della Maggiora y M. Casanovas. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Science* 42: p 1173-1179.
- Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, S. y Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo del maíz.
- Andrio EE; Rodriguez HSA; Palomo GA; Espinosa BA; Cervantes OF; Gutiérrez AE; Arámbula VG; Mendoza EM (2011). Caracterización del potencial agronómico de maíces criollos para el mejoramiento genético. Pp. 44-59. Preciado OR E; Montes HS (eds) (2011) Amplitud, aprovechamiento y riesgos de la diversidad genética del maíz en México. Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, Edo. de México. P. 274
- Antuna G. O., F. Rincón S., E. Gutiérrez R., N. A. Ruiz T. y L. Bustamante G. (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26:11-17.
- Bergvinson, D. J.: Ramírez, A.; Flores Velásquez, D. y García Lara, S. 2007. Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos. México, D.F. CIMMYT.
- Bernardo, R. 1992. Retention of genetically superior lines during early generations testcrossing of maize. *Crop Sci.* 32. p. 933-937.
- Bolaños, J.; Edmeades, G. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Developing drought- and low*

- N-tolerant maize. Proceedings of a Symposium. CIMMYT, El Batán, México. G. O. Technical Editors. p. 355-368.
- Cano, F.J.M.; Cervantes, O.F.; Mendoza, E.M.; Rivera, R.J.G.; Andrio, E.E. comportamiento agronómico y de calidad de semilla en maíces nativos y mejorados por selección de plantas individuales. 2016. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Roque. Celaya, Mexico. p. 36-46.
- Carballo C A (1992) La calidad genética y su importancia en la producción de semillas. *In*: Mendoza, O. L.; Favela, C. E.; Cano, R. P. y Esparza, M. J. H. 1992.
- Carballo C A (1992) La calidad genética y su importancia en la producción de semillas. *In*: Mendoza, O. L.; Favela, C. E.; Cano, R. P. y Esparza, M. J. H. 1992. Situación actual de la producción, investigación y comercio de semillas en México. Memoria tercer Simposium, Torreón Coah., México. p. 80- 101.
- Castañón, G., Cruz, R., del Pino, R., Panzo, E., Montiel, M., Filobello, L. 2000. Selección de líneas de maíz para resistencia a sequía. *Agronomía Mesoamericana*. 11: p. 163-169.
- Castillo-Caamal, J. B., Caamal-Maldonado, J. A. (2011), "Efecto de la fecha de siembra del frijol terciopelo (*Mucuna* sp.) como cultivo de cobertura en el rendimiento de maíz", *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, enero-abril. p. 101-108.
- Cepeda, B. R.; Carballo, C. A. y Hernández A, C. 2009. Interacción genotipo ambiente en la estructura y calidad de nixtamal-tortilla de grano en híbridos de maíz. *Agrociencia* 43(7): p. 95-706.
- Cerutti, M., La agriculturización del desierto. Estado, riego y agricultura en el norte de México (2013), IV Encuentro. Asociación Española de Historia Económica, Monterrey, México.
- Cervantes OF; García DSG; Carballo CA; Bergvinson D; Crossa JL; Mendoza EM; Andrio EE; Rivera RJG; Moreno ME (2011). Estimación de efectos genéticos relacionados con el vigor de la semilla y de la plántula en maíces tropicales mexicanos. *Phyton* 80: Pp. 19-26.
- Cervantes OF; García SG; Carballo CA; Bergvinson D; Crossa JL; Mendoza EM; Moreno ME (2007). Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia*. 41(4): Pp. 425-433.
- Cervantes, F.; Cano, M.; Rivera, G.; Cisneros, H.; Rangel, J.; Mendoza, M.; Andrio, E. 2015. Comportamiento agronómico y productivo de maíces criollos mejorados y sus progenitores en dos fechas de siembra. *Handbook T-II. Ciencias Agropecuarias*. p. 86-88.
- Cervantes, F.; Hernández, J., Rangel, J.A., Andrio, E.E., Mendoza, E.M., Rodríguez, P.G., Guevara, L.P. 2016. Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 39 (3): p. 259-268.
- Cervantes, O.F., Cadenas, T.J., Raya, P.J., Andrio, E.E., Rangel, L.J., Guevara, A.P., Rodríguez, H.S., Mendoza, E.M. 2015. Respuesta del *Silk Balling* a humedad

- edáfica y densidad de población en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.6 Núm.1. Pp. 231-241.
- Cervantes, O.F., Covarrubias, P.J., Rangel, L.J.A., Terron, I.D., Mendoza, E.M., Preciado, O.R. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 24(1): Pp. 101-110.
- Cervantes, O.F., Gámez, S.J.R., Andrio, E.E., Rivera, R.J.G., Rangel, L.J.A., Mendoza, E.M., Cisneros, L.H., López, R.G. 2013. Relación del vigor inicial de plántula con caracteres de planta adulta en maíces criollos mejorados. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*. Vol.1, Núm. 1: Pp. 14-19.
- Cervantes, O.F., Gasca, O. M.T., Andrio, E.E., Mendoza, E.M., Guevara, A.L.P., Vázquez, M.F., Rodríguez, H.S. 2014. Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronomicos y de rendimiento en genotipos de maíz. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 2(1): Pp. 9-16.
- Cervantes, O.F.; Garcia, D.D.G.; Carballo, C.A.; Bergvinson, D.; Crossa, J.; Mendoza, E.M.; Moreno, M.E. 2006. Análisis dialélico para caracteres de vigor de semillas y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México*. 32 (1): p. 77-87.
- Cervantes-Ortiz F., G. García-De Los Santos, A. Carballo-Carballo, D. Bergvinson, J. L. Crossa, M. Mendoza-Elos y E. Moreno-Martínez (2007) Herencia del vigor de plántula y su correlación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41: p. 425-433.
- Conagua (Comisión Nacional de Agua) (2014), Diagnóstico del programa presupuestario K141. Rehabilitación y modernización de infraestructura de riego y temporal tecnificado, Conagua, México. p. 1-31.
- Cowling, W. A. 2013. Sustainable plant breeding. *Plant Breed.* 132(1): p. 1-9.
- Daniel, T.W.; J.A. Helms y F.S. Baker. 1983. Principios de silvicultura (Traducción al español de Ramón Elizondo Mata) McGraw-Hill. México. p. 492.
- Dávila, S. 1990. Aseguramiento de la calidad durante la postcosecha de las semillas. Centro de capacitación y desarrollo de tecnología de semillas. Universidad Autónoma Antonio Narro. México. p. 20.
- Dekalb Press. Buenos Aires. Argentina. 292 p.
- Delouche J. C. 1986. Physiological seed quality. Short course for seedsmen. Mississippi State University. Vol. 27. USA. p. 51-59.
- Douglas, J E y Monsalve, E. 1982. Programas de semillas. Guía de planeación y manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, Colombia. p. 357.
- Espinosa C. A., M. Tadeo R., J. Lothrop y D. Beck (2002) H-155. Maíz híbrido para riego en la zona de transición El Bajío-Valles Altos. *Agricultura Técnica en México* 28: p. 179-181.
- Evans, J. and W. J. Turnbull. 2004. Plantation forestry in the tropics. Third edition. Oxford University Press. New York, United States. p. 467.

- Fan XM, Tan J, Chen M, Yang YJ, Yang HJ (2003) Heterotic grouping for tropical and temperate maize inbreds by analyzing combining ability and SSR markers. *Maydica* 48: p. 251-257.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2006. El maíz principal producto a nivel mundial.
- Fehr, R.W. 1982. Applied plant breeding. Iowa state university. Ames Iowa University Press. p. 552.
- Ferguson, J.M., D.M. TeKrony and D.B. Egli. 1990. Changes during early soybean seed and axes deterioration: Seed quality and mitochondrial respiration. *Crop Sci.* 30: p. 175-179.
- Galarza S., M.; Angeles A., H. H.; Molina Galánl, J, 1973. Estudio comparativo entre la prueba de líneas per se y la de mestizos para evaluar aptitud combinatoria general de líneas S1 de maíz (*Zea mays L.*). *Agrociencia* 11: p. 127-139.
- García S. J. A y Ramírez J., 2014. El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays L.*) en México. Un análisis de saldo comercial por entidad federativa. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 37 (1): p. 68-77.
- García, M.; Watson, C.; Salcedo, F. 2001. Evaluación de métodos para determinar resistencia al acame de raíces en maíz dulce (*Zea mays L.*). *Bioagro.* 13(1): p. 22-31.
- Gaytán M. M., Figueroa C. J. D., Reyes V. M L., Morales S. E. y Rincón S. F. 2013. Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 36: p. 339-346.
- Gaytán, B. R. y N. Mayek P. 2010. Heterosis en híbridos de maíz producidos de cruzamientos entre progenitores de Valles Altos y Tropicales. *Investigación y Ciencia* 48: p. 4-8.
- Gómez, E. A. L., Molina G. J. D, García Z. J. J., Mendoza C. M. del C. y De la Rosa L. A. 2015. Poblaciones exóticas originales y adaptadas de maíz. I: variedades locales de clima templado x variedades tropicales. *Rev. Fitotec. Méx.* vol.38 no.1. p. 25-35.
- González G. J.; Molina G., J. D.; Martínez G., A 1990. Implicación del rendimiento per se y de la ACG de líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays L.*) en la producción de cruza simples de alto rendimiento. *Agrociencia Serie Fitociencia* 2: p. 29-42.
- Goodman, M. M. 1999. Broadening the genetic diversity in maize breeding by use of exotic germplasm. genetics and exploitation of heterosis in crops. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, USA. p. 139-148.
- Goodman, M. M.; Castillo, F. and Moreno, J. 1990. Choosing and using exotic maize germplasm. *Proc Annu Illinois. Corn Breeders School.* 26: p. 148-171.
- Guillen-De la Cruz P., E. de la Cruz-Lázaro, G. Castañón-Nájera, R. OsorioOsorio, N. P. Brito-Manzano, A. Lozano-Del Río y U. López-Noverola (2009) Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: p. 101-107.
- Hallauer, A.R.; Lopez-Perez, E. 1979. Comparison among testers for evaluating lines of corno *Proc. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf.* 34: p. 57- 75.

- Hawkins RC; Cooper PJM (1979). Effects of seed size on growth and yield of maize in the Kenya highlands. *Exptal. Agric.* 15: Pp. 73-79.
- Hernández, L. A 2000. Efecto de la fertilización y densidad de población en el rendimiento y calidad de semilla de girasol Tesis de maestría en Ciencias Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. p. 103.
- Hernández-Esparza Janianny.; Rangel J.A.; Andrio, E. E.; Mendoza, E.M.; Rivera. R. J.G.; Cervantes, O.F. 2015. Aptitud combinatoria para contenido de clorofila en líneas s3 de maíz para el bajío de México. *Interciencia*.
- Heslot N, Yang H-P, Sorrells ME, Jannink J-L (2012). Genomic selection in plant breeding: a comparison of models. *Crop Sci*, 52: p. 146–160.
- Holley, R. N. and Goodman, M. M. 1988. Yield potential of tropical hybrid maize derivatives. *Crop Sci.* 28(2): p. 213-218.
- Horner, E.S.; Chapman, W.H.; Lutrick, M.C.; Lundy, H.W. 1969. Comparison of selection based of yield of topcross progenies and of S2 progenies in maize (*Zea mays L.*). *Crop Sci.* 9: p. 539-543.
- ISTA. 2005. International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. *Seed Sci. Tech.* 27 (Suppl).
- Jenkins, M.T. 1935. The effect of inbreeding and of selection within inbred lines of maize upon the hybrids made in successive generations of selfing. *Iowa State Coll. J. Sci.* 9: p. 429-450.
- Kempton, R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J. A. gric. Sci.* 103: p.123-136.
- Kharb, R. P. S.; Lather, B. P. S. and Deswal, D. P. 1994. Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. *Seed Sci. Technol.* 22: p. 461–466.
- Ledezma, J. 2015. Estudios sobre el control del carbón de la espiga del maíz *Sphacellotheca reiliana* (Kuhn Clinton) en el Valle de Zapopan, Jal. Tesis de Lic. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de México. p. 67.
- Lonnquist, 1.H. 1968. Further evidence on testcross vs lines performance in maize. *Crop Sci.* 8: p. 50-53.
- López, C. D. 2010. Evaluacion de cuatro productos comerciales para adelantar la floracion en maiz (*Zea mays L.*). Universidad Autonoma Antonio Narro. Tesis licenciatura. Coahuila, Mexico. p. 67.
- Ludlow, M. M.; Muchow, R. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in a water-limited environments. *Adv. Agron.* 43: p.107-153.
- Luna E, M.; Molina G., J.; Angeles A, H. 1973. Comparación de métodos para evaluar aptitud combinatoria general de líneas de maíz (*Zea mays L.*) en relación al tamaño de muestra del probador. *Agrociencia* 11: p. 29-41.
- Luna, F. M, Gutiérrez S. J.R. 2000. Investigación fisiotécnica de maíz de temporal en la región alta del norte de México. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 23: p.195-210.
- Magini E. 1962. "Aparatos y procedimientos para la manipulación de las semillas forestales II: Tratamientos sanitarios, almacenamiento, ensayo de semillas y transporte". *Unasyva.* 16(1): p. 20-35.

- Márquez S., E 1985. Genotecnia Vegetal. Tomo I. Métodos, teoría y resultados. AGTEditor, S.A. México, D. E. p. 356.
- Márquez. S. F, L. Sahagún, J. A. Carrera, E. Barrera (2000) Retrocruza limitada para el mejoramiento de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. p. 51.
- Medina, S. y V. Segovia. 2002. Evaluación de variedades experimentales de maíz en la región nor-oriental del Estado Guárico-Venezuela. *Agronomía Trop.* 46(2): Pp. 171-187.
- Mendoza, E. M.; Rodriguez, P. G.; Cervantes, O. F.; Guevara, A. L.P.; Andrio, E. E.; Ojeda, Z. Ma.C.; Presa, F.I.; Rodriguez, H. S.A.; Rangel, L. J.A.; Rivera, R. J.P. 2016. Chlorophyll Concentration and Morphological Diversity in Corn Lines at Different Vegetative Stages. *American Journal of Plant Sciences.* 7. P. 1067-1076
- Mendoza, E.M.; Latournerie, L.; Moreno, E.; Castañon, G.; Cruz, C.J.; De Leon, C.; Garcia, J.G. 2004. Cambios en la calidad de semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. *Agronomía mesoamericana* 15 (2): p. 155-160.
- Moterle L. M., A. L. Braccini, C. A. Scapim, R. J. B. Pinto, L. S. A. Goncalves, A. T. Do Amaral Jr. and T. R. C. Silva (2011) Combining ability of tropical maize lines for seed quality and agronomic traits. *Genetics and Molecular Research* 10: p. 2268-2278
- Ocampo Portillo, Minerva; Ortiz Solorio, Carlos; González Ríos, Jesús; González Mateos, Ricardo; Volke Haller, Víctor; Manzo Ramos, Fernando (2007), "Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal", *Terra Latinoamericana*, vol. 25 núm. p. 399-408.
- Ortega, P. R.A., J. Barajas V. 2011. Variedades locales de maíz en el centro de Tamaulipas: Pasado y presente. *Memorias del 11° Congreso Latinoamericano de Genética y XV Congreso de Fitogenética.* SOMEFI. Mexico. p. 343.
- Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R. y Violic, A. D. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. p. 334.
- Peña, R. A. Martín del Campo, S. V. 1993. Selección de líneas y respuesta de variedades de maíz bajo condiciones ambientales diferentes. *Rev. Fitot. Mex.* 16(1): p. 47-56.
- Pérez de la Cerda, F.J.; Córdova, T.L.; Santacruz, V.A.; Castillo, G.F.; Cárdenas, S.E.; Delgado, A.A. 2007. Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz chalqueño. *Agricultura Técnica en México.* 33 (1): p. 5-16.
- Perry D. A. 1981. Seedling growth and seedling evaluation tests. *In: Basra, A.S. (Ed.). Handbook of vigour test methods.* Perry, D. A. (Ed.). International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. p. 10-20.
- Perry D. A. 1983. El concepto de vigor de semilla y su relevancia en las técnicas de producción de semillas. F. Stanjam (Trad.). Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. p. 693-701.



- Presa F.M.I. 2012. Caracterización fenológica y morfológica de colectas de maíces Nativos del Norte de Guanajuato. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Roque.
- Presa, F. M. I. 2015. Evaluación *per se* en líneas de maíz para rendimiento, forraje y calidad de semilla. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Roque. p. 23-47.
- Producción de semilla de progenitores e híbridos de maíz de Valles Altos en dos fechas de siembra. Rev. Cienc. y Tecnol. Agropec. Méx. 1(1): Pp. 26-32.
- Ramírez D. J. L., M. Chuela B., V. A. Vidal M., J. Ron P. y F. Caballero H. (2007) Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. Revista Fitotecnia Mexicana 30: p. 453-461.
- Ramírez, D. J. L.; Vidal, M. V. A.; Ledesma, M. A.; Chuela, B. M.; Peña, R. A.; Ruiz, C. J. A. y Ron-Parra, J. 2013. Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz de grano amarillo para la zona de Transición de México. I. Método y formación de poblaciones. Fitotecnia Mex. 36(3): p. 189-199.
- Reyes C, P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S.A. México, D.F
- Reyes, F.M. 2014. Estudio agronómico de variedades nativas de maíz y caracterización morfológica del huitlacoche (*Ustilagos maydis* DC corda). Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Roque. Celaya. México. p. 86.
- Ron-Parra, J. and Hallauer, A. R. 1997. Utilization of exotic maize germplasm. Plant Breed. Rev. 14: p.165-187.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2008-2012), Programa de apoyo a la inversión en equipamiento e infraestructura. Memoria documental del “proyecto estratégico de tecnificación de riego 2008-2012”, México, p. 30.
- Sainz R.H., Echeverría H.E. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Argentina. Rev. Fac. Agron. La Plata 103: 37-44
- Salinas M. Y., J. J. Pérez A., G. Vázquez C., F. Aragón C. y G. A. Velázquez C. (2012) Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas Chalqueño, Elotes Cónicos y Bolita. *Agrociencia*. 47: p. 815-825.
- SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público). Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero (2014), “Panorama del Maíz”.
- SIAP (2012). Módulo Agrícola del SIACON 1980 - 2011. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- SIAP y SAGARPA, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera y Secretaria de Agricultura Ganadería Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. 2015. Estimaciones nacionales de la producción de maíz.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2014. Producción nacional de maíz.
- Sierra, M.M., Preciado, O.R.E, Alcázar, A.J.J., Rodríguez, M.F.A . 1991. Selección de líneas por su rendimiento y adaptación con base en un patrón heterótico conocido. p. 109-116.

- Sierra, M.M., Rodríguez, M.F.A. Preciado, O.R.E , Castillo, G.R.A., Ortíz,C.J., Tosquy, V.O.H. 2013. H-513 híbrido de maíz de cruce simple para el trópico mexicano. Folleto técnico. CIRGOC. INIFAP . SARH. p.18
- Situación actual de la producción, investigación y comercio de semillas en México. Memoria tercer Simposium, Torreón Coah., México. p. 80- 101.
- Soto Mora, C. (2003), “La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola”. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. No. 50, México, p. 173-195.
- Sprague G F, L A Tatum (1942) General vs specific combining ability in single-crosses of corn. Amer. Soc. Agron. 43: p. 923-932.
- Sprague, G. E 1946. Early testing of inbred lines of corno Jour. Amer. Soc. Agron. 38: p. 108-117.
- Torres, F. J. L.; Morales, R. E. J.; González, H. A.; Laguna, C. A. y Córdova, O. H. 2011. Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del Centro de México. Rev. Méx. Cienc. Agríc. 2(6): p. 829-844.
- Trejo H., L.; Gil M., A.; Sánchez H., M.; Carballo C., A. y López A., A. 2004. Producción de semilla mejorada por organizaciones de agricultores: caso “productora de maíz teocintle”. Revista Fitotecnia Mexicana. 27 (1): p. 93-100.
- Turrent Fernández, Antonio, Timothy A. Wise y Elise Garvey (2012), “Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México”. Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Turrent–Fernández A (2009) El potencial productivo de maíz. Ciencias 92–93: p. 126–129.
- Uhr, D. V. and Goodman, M. M. 1995. Temperate maize inbreds derived from tropical germplasm: I. Testcross yield trials. Crop Sci. 35(3): p. 779-784.
- USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 2016. Producción mundial de maíz proyección Octubre.
- Vásquez, C. M. L. Guzmán, J. García, F. Márquez, J. Castillo. 2003. Calidad de grano y tortilla de maíces criollos y sus retrocruzas. Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 26, núm.004, octubre-diciembre, pp. 231-238, Sociedad Mexicana de Fitotecnia, A.C. Chapingo, México.
- Velázquez, C. A., González, H.A., Pérez, L.D., Castillo, G.F. 2018. Análisis de híbridos comerciales y mestizos de maíz formados con germoplasma del INIFAP y del CIMMYT. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen 9 número 3.
- Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Arellano, V. J. L.; Ávila, P. M. A y Rojas, M. I. 2013. Producción de semilla de progenitores e híbridos de maíz de Valles Altos en dos fechas de siembra. Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México. 1(1): Pp. 26-32.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**Instituto Tecnológico de Roque**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**HUMEDAD DE COSECHA Y TASA DE SECADO EN LA CALIDAD  
DE SEMILLA Y VIGOR DE PLÁNTULA EN MAÍZ**

**QUE PRESENTA**

**JOSÉ GUADALUPE LÓPEZ VALENZUELA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**  
**CO-DIRECTOR: DR. ENRIQUE ANDRIO ENRÍQUEZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO, 2018**

La tesis “Humedad de cosecha y tasa de secado en la calidad de semilla y vigor de plántula en maíz”, fue realizada por el alumno **José Guadalupe López Valenzuela**, bajo la dirección del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y del Dr. Enrique Andrio Enríquez y asesoría del Dr. Mariano Mendoza Elos y MC. J. Guadalupe García Rodríguez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**  
**Cédula: 6758831**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Enrique Andrio Enríquez**  
**Cédula: 8125558**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Mariano Mendoza Elos**  
**Cédula: 3998828**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_  
**MC. J. Guadalupe García Rodríguez**  
**Cédula: 4142620**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por darme la fuerza y la salud para seguir adelante en este proyecto de vida. Por darme una visión clara y la familia que tengo. Gracias señor, por tu amor y bondad infinita.

### **A mi esposa e hijos**

Por su amor, comprensión, paciencia, apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

### **A mis padres**

A quien les debo toda mi vida, les agradezco el cariño y su comprensión, a ustedes quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

### **A mis hermanos**

Gracias por su cariño, apoyo, comprensión, paciencia y por compartir sus vidas.

**A MIS MAESTROS Y AMIGOS;** gracias por su tiempo, su apoyo; así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al Instituto Tecnológico de Roque;** por darme la oportunidad y todas las herramientas necesarias, para así poder culminar mis estudios de maestría.

**Dupont Pioneer;** que me ha permitido concluir satisfactoriamente mis estudios de Maestría en Ciencias, para así lograr ser un profesional comprometido y competitivo ante el campo laboral.

**A mi director y asesores;** Gracias por darme todo su apoyo para poder llevar a cabo y culminar este trabajo de investigación, gracias por todas las atenciones y tiempo que dedicaron en este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos conmigo.

Gracias por brindarme su amistad, gracias por el apoyo que me han brindado en mi desarrollo personal y académico.

Dr. Francisco Cervantes Ortiz

Dr. Mariano Mendoza Elos.

Dr. Enrique Andrio Enríquez

MC. J. Guadalupe García Rodríguez

**A mis amigos y compañeros;** gracias a todos ellos por su amistad y apoyo incondicional, gracias por el apoyo que me ofrecieron en el desarrollo de esta investigación. Francisco Cervantes Ortiz, Mariano Mendoza Elos, Enrique Andrio Enríquez, Sandra Bolaños Núñez, Julio Cesar León Vargas, Eduardo Mendoza Ramos, Miguel Angel Noriega Carmona, y Fernando Alcalá García.

**ÍNDICE**

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	v
SUMMARY .....	vi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivos .....	4
1.1 Objetivo general .....	4
1.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1. Importancia del cultivo .....	5
2.2. Producción mundial.....	6
2.3. Producción Nacional .....	8
2.4. Producción en el Estado de Guanajuato .....	10
2.5. Características del maíz.....	10
2.6. Importancia de la semilla híbrida de maíz.....	12
2.7. Principales Estados consumidores de semilla híbrida .....	13
2.8. Principales instituciones productoras de semillas.....	14
2.9. Producción de semilla híbrida de maíz .....	15
2.10 Métodos tradicionales en la producción de semilla híbrida de maíz.....	16
2.11. Secado de semilla .....	17
2.12. Humedad de cosecha de semilla híbrida de maíz .....	19

2.13. Calidad de semilla .....	20
2.14. Parámetros que definen la calidad .....	22
2.14.1 Componente genético .....	23
2.14.2 Componente fisiológico .....	23
2.14.3 Componente sanitario .....	24
2.14.4 Componente físico.....	24
2.15. Factores que inciden en la calidad de la semilla.....	25
2.16. Pruebas de calidad en semillas .....	27
2.16.1 Pruebas de viabilidad .....	27
2.16.2 Prueba de germinación .....	28
2.16.3. Pruebas de vigor .....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
3.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO .....	32
3.2 Diseño de tratamientos.....	32
3.2.1. Factores de estudio .....	32
3.3 Clasificación física de la semilla.....	35
3.3.1. Descripción del proceso de clasificación de la semilla .....	36
3.4. Características de calidad de semilla.....	38
3.5. Características de vigor inicial de plántula en cama de arena bajo condiciones de vivero .....	39
3.6. Diseño experimental .....	40
VI. Literatura citada .....	56



**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Principales Estados productores de maíz grano con semillas mejoradas .....	14
Tabla 2. Diseño de tratamientos para los factores de estudio; humedad de cosecha, tasa de secado, forma y tamaño de semilla en cruza simples de maíz. ....	33
Tabla 3. Cuadrados medios para la prueba de cold test, soak test y germinación estándar en híbridos de cruza simple de maíz. ....	44
Tabla 4. Comparación de medias para pruebas de calidad de semilla; cold test, soak test y germinación estándar en híbridos de cruza simple de maíz. ....	48
Tabla 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor de plántula en cama de arena en híbridos de cruza simple de maíz.....	50
Tabla 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor inicial de planta en camas de arena en dos híbridos de cruza simple de maíz. ....	51
Tabla 7. Comparación de medias para caracteres de vigor inicial de plántula en camas de arena en híbridos de cruza simple de maíz. ....	52
Tabla 8. Comparación de medias para caracteres de vigor inicial de plántula en camas de arena en híbridos de cruza simple de maíz. ....	53

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Producción Mundial de maíz .....	7
Figura 2. Principales países productores de maíz.....	8
Figura 3. Producción de maíz grano en México .....	9
Figura 4. Principales estados productores de maíz grano en México .....	10
Figura 5. Eventos que ocurren durante el deterioro de la semilla (Heydecker, 1972). .....	22
Figura 6. Relación entre la pérdida de vigor y germinación de las semillas conforme aumenta el deterioro en tiempo (Filho, 2015). .....	31
Figura 7. Ubicación del desarrollo del experimento.....	32
Figura 8. Descripción del paso 1 para la clasificación de semilla .....	36
Figura 9. Tipo de harneros que se utilizan para la clasificación .....	36
Figura 10. Peso de cada muestra por harnero. ....	37
Figura 11. Clasificación por el tamaño de la muestra.....	38
Figura 12. Descripción de impurezas por muestra. ....	38

## RESUMEN

La disponibilidad de semilla de alta calidad es importante para todos los sectores de la agricultura. El análisis de pureza y las pruebas de germinación han sido ampliamente utilizadas en la evaluación de la calidad de las semillas. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la humedad de cosecha y tasa de secado en la calidad física, fisiológica y de vigor de plántula en cruza simples de maíz para el Bajío de México, para cumplir este objetivo se emplearon cinco factores de estudio; genotipos (G) (P3258 y P3289), contenido de humedad a la cosecha (HC) (22, 27, 32, 37 y 42 %), tasa de secado (TS) (4 y 6 % en 24 h), formas de semilla (Planos y Bolas) y tamaño de semilla (Grandes, Medianos y Chicos). La combinación de estos factores generó 120 tratamiento. Se registraron caracteres de vigor de semilla; germinación estándar (GE), el cold test (CT) y la soak test (ST); además se evaluó el vigor inicial de plántula; velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE), altura de plántula (APL), Peso verde de vástago (PVV), peso seco de vástago (PSV) e índice de vigor I y II. En laboratorio se usó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 2 x 5 x 2 x 2 x 3 con 120 tratamientos y 4 repeticiones y en cama de arena se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En ambos experimentos se usaron 50 semillas por repetición. Los resultados de análisis de varianza mostraron efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para germinación estándar y cold test. La humedad de cosecha modificó estadísticamente todas las variables de laboratorio. La tasa de secado de la semilla sólo tuvo efecto en la GE y CT. El Tamaño de la semilla únicamente modifico la CT y el tamaño de la semilla tuvo significancia estadística en la GE y CT. La prueba de medias indicó que el genotipo P3289W tuvo mejor comportamiento y que en las semillas con alta humedad de cosecha (37 y 42 %) se presenta el vigor más alto. Por otro lado, en la prueba de vigor de plántula, sólo se mostraron cambios por efectos del genotipo.

**Palabras clave:** *Zea mays*, humedad de cosecha, tasa de secado calidad de semilla y vigor de plántula.

## SUMMARY

The availability of high quality seed is important for all sectors of agriculture. Purity analysis and germination tests have been widely used in the evaluation of seed quality. The objective of the present investigation was to determine the effect of harvest moisture and drying rate on the physical, physiological and seedling vigor in simple maize crosses for the shoal of México, to meet this objective five factors were used. study; genotypes (G) (P3258 and P3289), moisture content at harvest (HC) (22, 27, 32, 37 and 42%), drying rate (TS) (4 and 6% in 24 h), forms of Seed (Planes and Balls) and seed size (Large, Medium and Small). The combination of these factors generated 120 treatment. Seed vigor characters were recorded; standard germination (GE), the cold test (CT) and the soak test (ST); In addition, the initial vigor of the seedling was evaluated; emergency speed (VE), emergence percentage (PE), seedling height (APL), green stem weight (PVV), stem dry weight (PSV) and vigor index I and II. In the laboratory, a completely randomized design with a factorial arrangement of 2 x 5 x 2 x 2 x 3 with 120 treatments and 4 repetitions was used and in a sand bed a randomized complete block design with three repetitions was used. In both experiments 50 seeds were used per repetition. The results of analysis of variance showed significant statistical effect ( $P \leq 0.01$ ) between genotypes for standard germination and cold test. Harvest humidity statistically modified all laboratory variables. The rate of seed drying only had an effect on GE and CT. The size of the seed only modified the TC and the size of the seed had statistical significance in the GE and CT. The test of means indicated that the genotype P3289W had better behavior and that in the seeds with high humidity of harvest (37 and 42%) the highest vigor is presented. On the other hand, in the seedling vigor test, only changes were shown due to effects of the genotype.

**Key words:** *Zea mays*, harvest humidity, seed quality drying rate and seedling vigor.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un símbolo cultural de gran importancia histórica en México, y su enorme capacidad para adaptarse tiene que ver con las características fisiológicas de la planta, pero más tiene que ver con el interés, la sabiduría y la pasión de experimentadores agrícolas durante miles de años. Debido a su versatilidad y propiedades alimenticias, esta planta es, sin lugar a dudas, una de las mejores aportaciones de México para el mundo y significa un elemento fundamental de nuestra cocina y desde el punto de vista político, económico y social, el maíz es el cultivo más importante de México (SAGARPA, 2016).

Desde el punto de vista económico, en México el maíz se siembra en más de 8 millones de hectáreas, que representan 39% de la superficie agrícola nacional y 63% de la superficie sembrada con granos y oleaginosas; contribuye con el 8% del producto interno de la agricultura. No obstante, se han importado grandes cantidades de éste; por ejemplo, en el 2006 se importaron 8 millones de toneladas y en 2010 alrededor 10 millones de toneladas, lo que refleja la importancia de este cereal en las importaciones agrícolas de México (González *et al.*, 2008).

México es reconocido como un país de mega diversidad biológica (Sánchez, 2005) y es, también, considerado como uno de los países con mayor diversidad de plantas cultivadas y de sistemas agrícolas. Además, la producción depende de la capacidad humana de mantener la fuente continua de genes para llevar a cabo la obtención de maíces de alto rendimiento, que asimismo estén adaptados a las condiciones cambiantes del ambiente.

En México, la superficie sembrada con semilla de variedades mejoradas de maíz no rebasa el 25 % y en los Valles Altos tan sólo el 6 % (Espinosa *et al.*, 2008a; Luna *et al.*, 2012). El uso de semilla certificada de híbridos de maíz desarrollados por instituciones públicas de investigación, como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), es escaso, especialmente desde el cierre de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) (DOF, 2007).

En contraste, se reconoce que en México el uso de variedades mejoradas de maíz ha sido importante para incrementar la producción de grano. Ante la ausencia de la PRONASE, la participación de empresas privadas ha crecido significativamente pero no existe un equilibrio adecuado de abastecimiento de semillas, ya que prácticamente dos empresas multinacionales controlan más de 80 % del mercado nacional. El incremento de la producción de semilla certificada de variedades nacionales favorecería la equidad en el precio de este insumo. Actualmente en los Valles Altos de México, al menos 20 empresas distribuyen los maíces que el INIFAP ha liberado (Espinosa *et al.*, 2008a, b).

Por otro lado, Multon (1981) y Mohsenin (1986) afirmaron que un incremento en el contenido de agua ligada a la matriz de proteína, almidón y pentosas, ocasiona que las semillas sean menos resistentes a la deformación y más resistentes al quebrado. Sin embargo, King y Riddolls (1960) reportaron que conforme se incrementa el contenido de humedad durante la cosecha de trigo, se redujo el daño físico visible pero también el porcentaje de germinación, lo cual podría indicar que el daño fisiológico fue superior al daño mecánico observado. George *et al.* (2003) mencionaron que, aunque el daño mecánico fue más intenso en las semillas de maíz de mayor tamaño, el porcentaje de germinación de éstas fue mayor. En contraste, Moes y Vyn (1988) reportaron que la semilla de maíz redonda y pequeña fue de menor resistencia al daño mecánico; por su parte, Peterson *et al.* (1995) reportaron que la semilla del estrato basal de mazorca es la de menor resistencia al daño ocasionado por impacto en caída libre.

En la producción de semillas, el porcentaje de germinación es el parámetro más importante para evaluar los lotes de producción, ya que este valor es utilizado para la certificación y comercialización del producto como punto de referencia de la calidad. Las pruebas de germinación se hacen normalmente bajo condiciones favorables de temperatura y humedad, motivo por el cual muchas veces los resultados de estas pruebas no corresponden a los resultados obtenidos en campo; de esta forma, se ha optado por implementar paralelamente a la germinación,

pruebas de vigor para emitir veredictos integrales sobre la calidad fisiológica de un lote de semillas (Martínez *et al.*, 2010). En este sentido, Andrade (1996) menciona que en la agricultura, la calidad de semilla es un componente básico para obtener una mayor eficiencia productiva. La calidad de la semilla es un estándar de excelencia o atributo que puede determinar el funcionamiento de ésta al momento de la siembra o almacenamiento. Los componentes de calidad de la semilla se pueden agregar en categorías, donde se menciona la descripción, higiene y potencial de funcionamiento; en este último, se toma en cuenta el vigor y la germinación (Hampton, 2002).

Cuantificar la viabilidad y calidad de semilla permitirá su comercio en el mercado por lo que se debe disponer de métodos y pruebas confiables que evalúen su vigor (Milosevic *et al.*, 2010) e impacto de la selección temprana en los programas de mejoramiento genético para evitar que líneas avanzadas presenten reducida germinación y emergencia en el campo (Goggi *et al.*, 2007).

McDonald (1980) agrupó las pruebas de vigor inicial en tres grupos: a) pruebas físicas que determinan características de semilla como tamaño y masa. Estas son económicas, rápidas, se pueden aplicar a un gran número de muestras y están correlacionadas con el vigor de semilla. La principal característica del desarrollo de semilla es la acumulación de material nutritivo lo cual también está correlacionado con vigor, i.e. tamaño y masa; b) pruebas fisiológicas que emplean la germinación y parámetros de crecimiento. Hay dos tipos de estas. El primero es cuando la germinación se hace bajo condiciones favorables (germinación estándar en laboratorio y prueba de intensidad de crecimiento). El segundo tipo, cuando se exponen a condiciones ambientales de estrés (prueba fría, envejecimiento acelerado y prueba Hiltner); c) pruebas bioquímicas, consideradas como métodos indirectos de estimación; prueba de Tetrazolio, pruebas de conductividad eléctrica, actividad enzimática y respiración.

## **Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de la humedad de cosecha y tasa de secado en la calidad física, fisiológica y de vigor de plántula en cruza simples de maíz para el Bajío de México.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la calidad física y fisiológica de semilla en genotipos de maíz provenientes de diferentes porcentajes de humedad de cosecha y tasas de secado.
- Medir el vigor inicial de la plántula en función de la humedad de cosecha y tasas de secado en híbridos simples de maíz.
- Determinar la humedad de cosecha optima que permita maximizar la calidad fisiológica de la semilla de híbridos de cruza simple de maíz.

### **1.3 Hipótesis**

Altos contenido de humedad del grano a la cosecha y tasa de secado de 6 % en 24 horas disminuyen drásticamente la calidad de la semilla y el vigor de la plántula en híbridos simples de maíz.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Importancia del cultivo

El maíz (*Zea mays* L.) es una especie central en la alimentación, sociedad, cultura y economía de México. Su origen, domesticación y diversificación han ocurrido en nuestro país (Kato, 2009). El maíz cultivado es una planta completamente domesticada y el hombre y el maíz han vivido y han evolucionado juntos desde tiempos remotos. El maíz no crece en forma salvaje y no puede sobrevivir en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre (Wilkes, 1985; Galinat, 1988; Dowswell, Paliwal y Cantrell, 1996).

El maíz es una de las especies cultivadas más productivas. Es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética. Considerada individualmente, su tasa de multiplicación es de 1:600-1000 (Aldritch, Scott y Leng, 1975). El maíz tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, tal como se pone en evidencia en la bien documentada historia del maíz híbrido en los Estados Unidos de América y posteriormente en Europa. El éxito de la tecnología basada en la ciencia para el cultivo del maíz ha estimulado una revolución agrícola generalizada en muchas partes del mundo ([www.fao.org.mx](http://www.fao.org.mx)).

Hoy día el maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después del trigo, en producción total. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Habiéndose originado y evolucionado en la zona tropical como una planta de excelentes rendimientos, hoy día se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile. La mayor parte del maíz es cultivado a altitudes medias, pero se cultiva también por debajo del nivel del mar en las planicies del

Caspio y hasta los 3 800 msnm en la cordillera de los Andes. Más aún, el cultivo continúa a expandirse a nuevas áreas y a nuevos ambientes ([www.fao.org.mx](http://www.fao.org.mx)).

El maíz tiene usos múltiples y variados. Es el único cereal que puede ser usado como alimento en distintas etapas del desarrollo de la planta. Las espigas jóvenes del maíz (maíz *baby*) cosechado antes de la floración de la planta es usado como hortaliza. Las mazorcas tiernas de maíz dulce son un manjar refinado que se consume de muchas formas. Las mazorcas verdes de maíz común también son usadas en gran escala, asadas o hervidas, o consumidas en el estado de pasta blanda en numerosos países. La planta de maíz, que está aún verde cuando se cosechan las mazorcas *baby* o las mazorcas verdes, proporciona un buen forraje. Este aspecto es importante ya que la presión de la limitación de las tierras aumenta y son necesarios modelos de producción que produzcan más alimentos para una población que crece continuamente. En Vietnam la intensidad de cultivo es de 270% y el cultivo del maíz, el cual en la zona norte es comúnmente trasplantado dando lugar a una ocupación muy corta del suelo, juega un papel muy importante para mantener ese alto nivel de intensidad de cultivo ([www.fao.org.mx](http://www.fao.org.mx)).

## **2.2. Producción mundial**

Entre los ciclos comerciales 2004/05 y 2014/15, la producción de maíz en el mundo presenta un crecimiento promedio anual de 3.5 por ciento, para ubicarse en este último en 1,008.7 millones de toneladas, lo que representa el nivel de producción más alto de la historia (Figura 1). Las expectativas para el 2015/16 ubican la producción mundial de maíz con una reducción de 3.6 por ciento en relación a 2014/15, lo que se traduce en 972.6 millones de toneladas (FIRA, 2015).

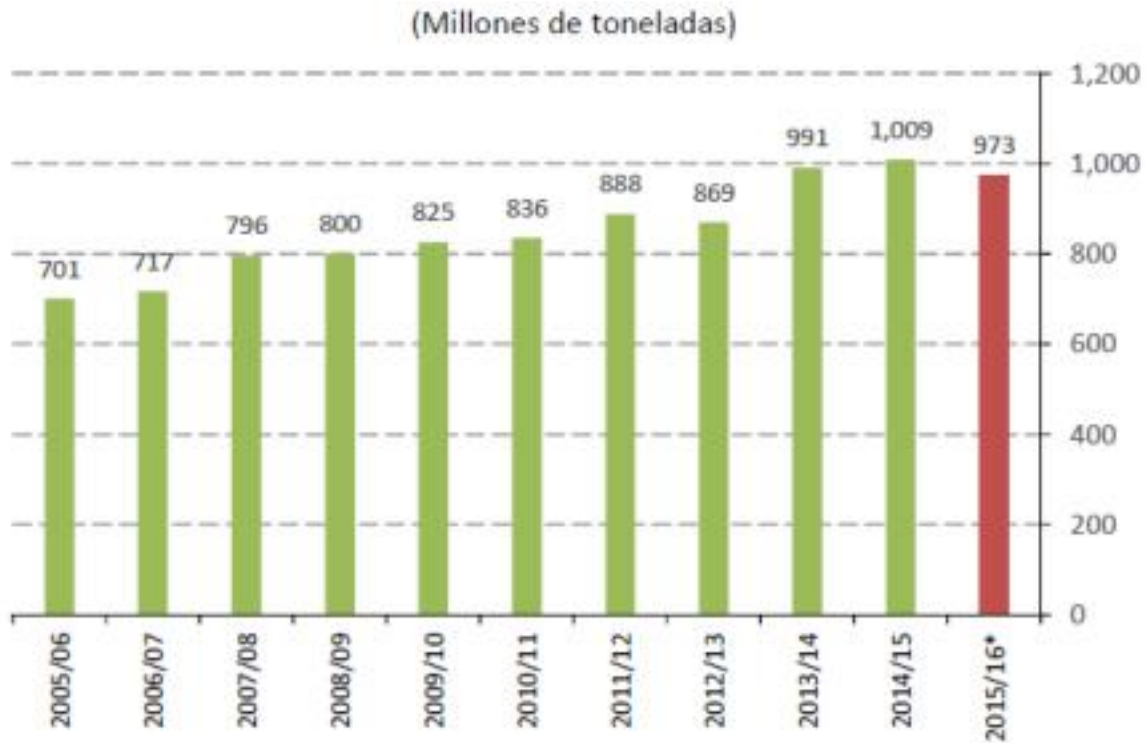


Figura 1. Producción Mundial de maíz

**Fuente: PSD-USDA**

La producción estimada para el ciclo 2015/16 en los principales países productores se ubica a la baja, con excepción de la producción en China. Por un lado, la producción en Estados Unidos, el principal productor de maíz en el mundo con una participación de 35.9 por ciento de la producción total mundial, se estima con un descenso de 4.6 por ciento en relación al ciclo 2014/15, lo que se traduce en 344.3 millones de toneladas. Lo anterior ante los bajos precios de referencia que desincentivan a los productores (Figura 2). De igual manera, la producción en Brasil, la Unión Europea y Ucrania, tercer, cuarto y quinto productor mundial respectivamente, estiman reducciones significativas en su producción. La USDA estima que la producción brasileña caiga un 5.9 por ciento, para ubicarse en 80.0 millones de toneladas. para los productores (FIRA, 2015).

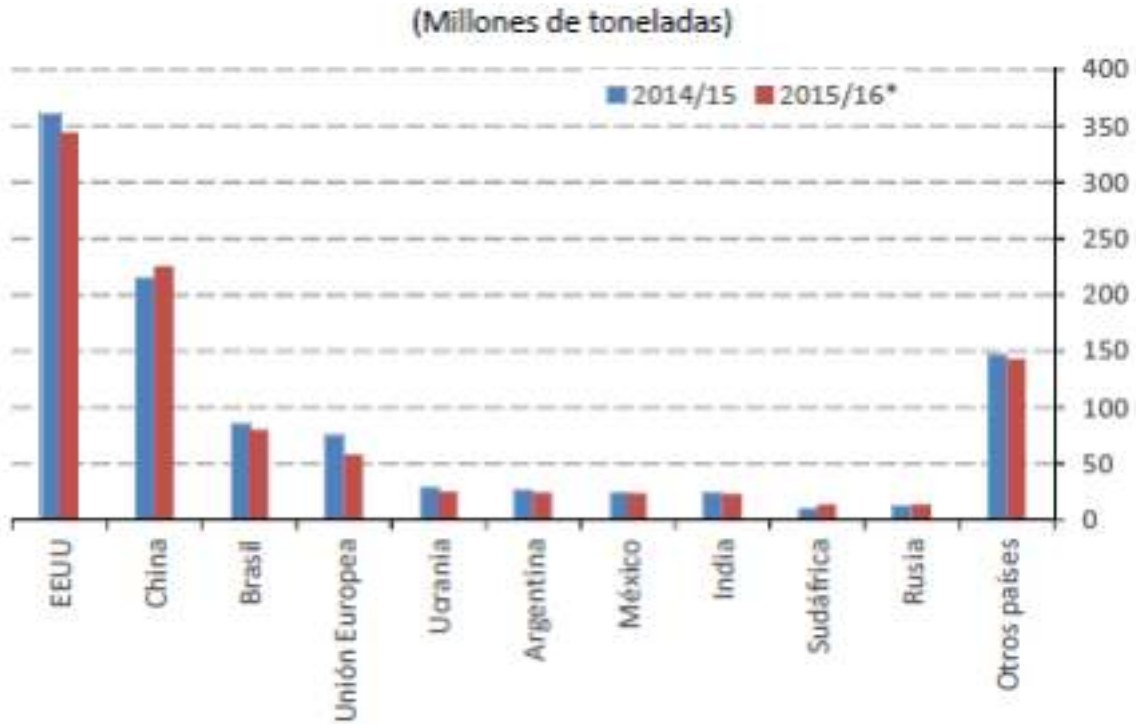


Figura 2. Principales países productores de maíz

Fuente: PSD-USDA

### 2.3. Producción Nacional

El mercado nacional de maíz grano se encuentra en un periodo de recuperación después de registrar el volumen de producción más bajo de los últimos 10 años durante 2011. Así, el programa de producción nacional estima un volumen de 24.95 millones de toneladas durante el año agrícola 2015. De igual manera, el consumo de maíz en el país continúa en aumento, siendo impulsado tanto por incrementos en el consumo de maíz blanco como de maíz amarillo. Las importaciones de maíz al país continúan en aumento, pues durante 2014 aumentaron 45.7 por ciento en relación a 2013. Por otro lado, las exportaciones mexicanas de maíz totalizaron 0.39 millones de toneladas en 2014. Los precios al productor de maíz blanco y amarillo han presentado niveles bajos durante los últimos meses, ante la disponibilidad del grano en el mercado internacional y nacional. Debido a la integración de los precios

nacionales a los precios internacionales de maíz, se estima que los precios continúen deprimidos hasta mediados del 2016 (FIRA, 2015).

Entre los años agrícolas 2014 y 2015 la producción de maíz grano en México ha crecido a una tasa media anual de 2.6 por ciento para totalizar 23.27 millones de toneladas durante el año agrícola 2014. La composición por tipo de maíz muestra que durante el año agrícola 2014 el 89.0 por ciento de la producción total correspondió a maíz blanco, 10.4 por ciento maíz amarillo y el restante 0.6 por ciento a otros tipos de maíz. Es de resaltar que la proporción de maíz amarillo se ha incrementado de 4.9 por ciento en el año agrícola 2004 a 10.4 en 2014 (Figura 3). El programa de producción 2015 de SIAP-SAGARPA estima un incremento a tasa anual del 7.2 por ciento para ubicarse en 24.95 millones de toneladas, el nivel más alto de los últimos quince años en el país (FIRA, 2015).

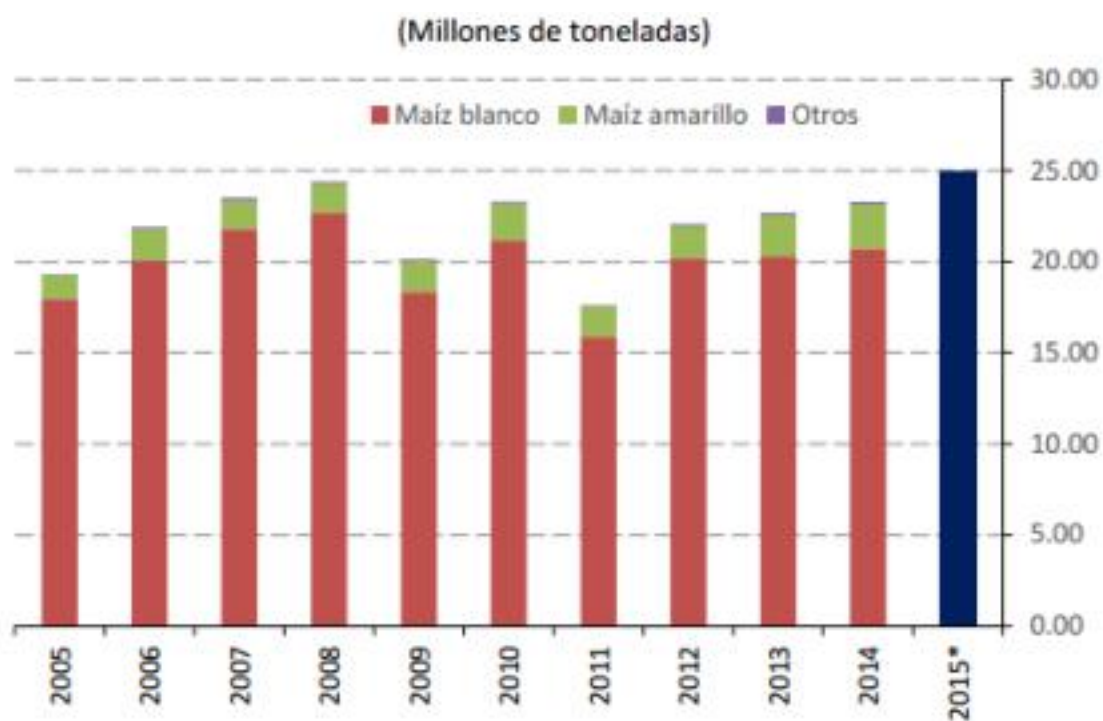


Figura 3. Producción de maíz grano en México

**Fuente: SIAP-SAGARPA**

Por ciclo agrícola, la producción de maíz en México ocurre mayormente durante el ciclo otoño-invierno. Así, durante el año agrícola 2014 el 77.2 por ciento de la producción de maíz provino del ciclo Primavera-Verano, mientras que el restante

22.8 por ciento se produjo en Otoño-Invierno. La proporción en el año agrícola 2015 se estima sin cambios.

#### 2.4. Producción en el Estado de Guanajuato

En Guanajuato (Figura 4) se cosecharon 1.3 millones de toneladas, volumen menor en 2.7% respecto al 2014, al año agrícola anterior y se explica por una baja considerable de la superficie sembrada y a lo cual se suma una alta siniestralidad que originó una menor superficie cosechada, que no pudo contrarrestarse con el aumento en los rendimientos ([/www.secofi-sniim.gob.mx/nuevo](http://www.secofi-sniim.gob.mx/nuevo)).

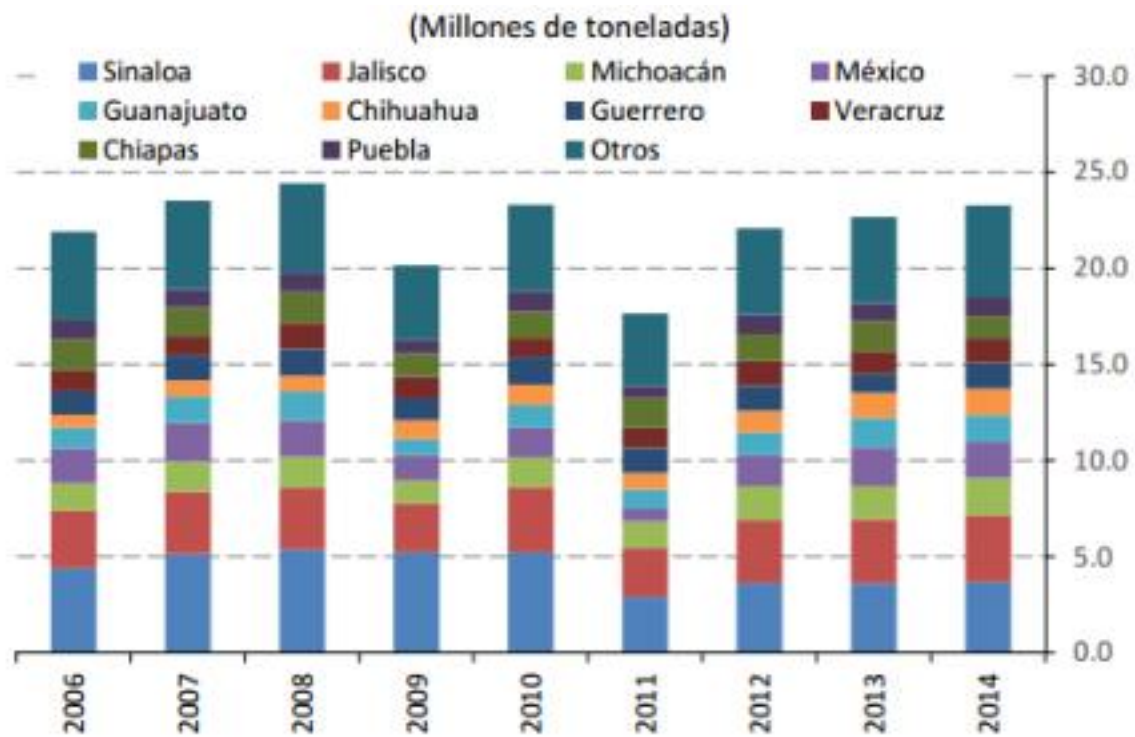


Figura 4. Principales estados productores de maíz grano en México

Fuente: SIAP-SAGARPA

#### 2.5. Características del maíz

El maíz es el cultivo más importante de México. Es un pasto gigante domesticado de origen tropical mexicano, perteneciente a la familia de las *Poaceas*. La planta es usada para producir granos y forraje; los cuales constituyen la base para la elaboración de un gran número de alimentos tanto para consumo humano como

animal, así como productos para la industria farmacéutica y manufacturera (Salvador, 2001).

La planta de maíz es de aspecto robusto, muy similar al de la caña, tiene un solo tallo de gran longitud, que puede llegar a alcanzar hasta 4 m de altura, con pocos macollos o sin ramificaciones. La planta es monoica; es decir, tiene flores tanto masculinas como femeninas en el mismo pie (SIAP, 2014). Con flores masculinas y femeninas bien diferenciadas; la inflorescencia masculina es terminal, es un espigón o penacho amarillo, conocido como panícula o espiga y consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas, cada una de las cuales se encuentra protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrollan los granos de polen. Las inflorescencias femeninas se localizan en las yemas axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen. La mazorca puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en un promedio de 8 a 24 hileras; todo esto, encerrado en numerosas brácteas o totomoxtle (Reyes, 1990; SIAP, 2014).

Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo, se encuentran fijadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, la cual presenta un tamaño y ancho variable. Las hojas son largas y extensas, con terminación lanceolada, de extremos cortantes y con vellosidades en la parte superior. Sus raíces son fasciculadas, es decir, todas presentan más o menos el mismo grosor, y su misión es aportar un perfecto anclaje a la planta (Jugenheimer, 1998; SIAP, 2014).

Según reportes de Gaugel en 2004, el maíz es una especie que se desarrolla adecuadamente en suelos de textura que van de franco arenosa a franco arcillosa, que cuenten con buen drenaje bajo altas precipitaciones y por supuesto una buena

retención de humedad. El suelo necesita alcanzar una temperatura de al menos 12 °C para la siembra y para que germine deberá ser de entre 15 y 20 °C (SIAP, 2014). El maíz requiere una temperatura cálida, entre 25 y 30 °C y mucho sol para poder desarrollarse bien. Su desarrollo se ve afectado después de los 30°C o bien con temperaturas menores a los 8 °C. Además necesita mucha agua, aproximadamente 5mm de lluvia o riego diarios en promedio, aunque cada etapa de su desarrollo demandará diferentes cantidades de agua; por ejemplo, cuando emerge de la tierra, requiere menos cantidad; basta sólo una humedad constante. Sin embargo, durante la fase de crecimiento deberá contar con suficiente agua, siendo la floración el período más importante, pues de ello dependerá el rendimiento (SIAP, 2014). Las semillas de maíz generalmente son atacadas por muchas plagas, entre las que destacan el gusano elotero, cogollero, barrenadores y palomillas de almacén, así como algunos escarabajos como gusanos de raíz y de alambre, gallinas ciegas, gorgojos y barrenadores del grano, los cuales provocan un alto deterioro en la calidad de la semilla (Silverio *et al.*, 2007).

## **2.6. Importancia de la semilla híbrida de maíz en México**

El maíz es el principal cultivo que se produce en México, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social. A principios de la década de 1990, para adecuarse a las políticas de la globalización comercial, el gobierno de México modificó la legislación sobre el tema y se promulgó una nueva Ley de Semillas que permitió la participación del sector privado en la investigación, particularmente en la producción y comercialización de semillas. Además, se abrió la posibilidad de que otros usuarios multiplicaran y comercializaran semilla de variedades generadas por instituciones públicas como el INIFAP (Luna *et al.*, 2012).

Según datos publicados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015), en los ciclos agrícolas del 2014 se sembraron poco más de 7.4 millones de hectáreas destinadas a grano, con una producción superior a los 23 millones de toneladas. Conforme a este reporte, el segundo uso productivo del maíz es el destinado a forrajes, pues se sembraron más de 577 mil hectáreas con un



rendimiento superior a los 13 millones de toneladas. De la superficie destinada a la producción de grano, en el año agrícola 2014 se sembraron más de 3.9 millones de hectáreas con semillas mejoradas, lo que equivale al 53% de la superficie total nacional sembrada con maíz.

Según un reporte publicado en 2014, el consumo per cápita de maíz en México creció de 248 kg en el periodo 2000-2002 a 254 kg en el trienio 2011-2013. Las estimaciones indican que el 60% del consumo nacional de maíz se destina a la alimentación humana, 28% al sector pecuario, 8% a la industria almidonera, y solo el 1% se utiliza como semilla para siembra. Es importante tener en cuenta que en la alimentación, el maíz se consume principalmente de forma procesada y el principal producto es la tortilla, que es el componente más importante de la alimentación de la población. Las últimas estimaciones indican que en el medio urbano el consumo anual per cápita de tortilla es de 56.7 kg mientras en el sector rural es de 79.5 kg (CEDRSSA, 2014).

### **2.7. Principales Estados consumidores de semilla híbrida**

Las investigaciones de (Copeland and McDonald, 2001) concluyeron que las semillas de variedades mejoradas son el medio para incrementar el rendimiento y calidad de las cosechas, al servir como puente entre el mejoramiento genético (la investigación) y el productor.

Los diez Estados que reportaron mayor superficie sembrada con semillas mejoradas de maíz en el año agrícola 2013 se enlistan en la Tabla 1. Los cuales cuentan con sistemas de producción donde prevalecen los tipos de propiedad mediana y grande propiedad; los pequeños agricultores son minoría.

La tercera columna de la Tabla 1, indica el porcentaje de la superficie total bajo la que los mencionados Estados producen maíz utilizando semillas mejoradas; el resto correspondería a siembras con materiales criollos u otro tipo de materiales genéticos, como variedades mejoradas y generaciones avanzadas de híbridos. En

conjunto los 10 Estados citados en la Tabla 1 producen el 77% de la superficie nacional de maíz sembrada con semillas mejoradas. En el contexto nacional es importante también mencionar que, del total de la superficie sembrada con semilla mejorada de maíz, tan solo el 30% (1.19 millones de hectáreas) es establecida bajo algún sistema de riego; de este modo, sigue siendo predominante la producción del grano bajo agricultura de temporal en el restante 70% (SIAP, 2015).

Tabla 1. Principales Estados productores de maíz grano con semillas mejoradas

Estado	Superficie (ha)	Porcentaje respecto al total
Jalisco	547,498	94.1
Sinaloa	497,995	100.0
Michoacán	400,906	84.8
Guanajuato	311,669	78.3
Veracruz	299,679	52.1
Guerrero	292,077	61.8
Chiapas	240,629	34.2
Puebla	179,137	32.6
Estado de México	165,174	30.4
Chihuahua	134,872	68.4

Fuente: (SIAP, 2015)

## 2.8. Principales instituciones productoras de semillas

Con base en información publicada por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2015), desde 1996, cuando se implementó en México el sistema de protección al derecho de obtentor, se han expedido 1,327 títulos, de los cuales, el 85% continúan vigentes.

La industria de semillas en México se compone de: agricultores individuales, empresas multinacionales, empresas privadas nacionales y dependencias de investigación pública. El sector privado tiene el 94% de la participación de mercado; el resto es del sector público (Luna *et al.*, 2012).

En la primera mitad de 2015, del total de solicitudes recibidas por el SNICS, 33.7% provenían de empresas mexicanas, 25.7% de estadounidenses, 11.9% de holandesas, 7.9% de australianas, 7.9% de israelíes, 6.9% de alemanas y 5.9% de otras nacionalidades. Al finalizar junio de 2015, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) encabezaba la lista de obtentores con 294 variedades con solicitud de título, seguido por Semillas y Agroproductos Monsanto S.A. de C.V. y Pioneer Hi-Bred International Inc. con 130 cada uno; Seminis Vegetable Seeds, Inc. con 118; Driscoll Strawberry Associates, Inc. con 115; Meilland International, S.A. con 74; y la Universidad Autónoma Chapingo con 55. Ante el SNICS han sido ingresadas, solamente para el cultivo del maíz, 393 solicitudes de registro, lo que lo convierte en la especie con el mayor número de requerimientos, de las cuales, se han emitido 275 títulos (SNICS, 2015).

### **2.9. Producción de semilla híbrida de maíz**

A diferencia de las variedades de polinización libre, donde solo un parental está involucrado, en el maíz híbrido la producción requiere de entre 2 y 4 progenitores. Es por lo tanto, una operación más compleja que requiere un mayor nivel de competencia técnica y demanda mayores inversiones para el mantenimiento de las líneas endogámicas, así como también en las etapas de semilla fundación y certificada. Las líneas endogámicas son líneas puras con un alto nivel de homocigosis, cuya pureza genética y estándares de uniformidad deben ser cuidadosamente observados y mantenidos. Uno de los elementos clave en la producción de semilla de híbridos es la identificación correcta de las líneas endogámicas que serán usadas como progenitores, el punto crítico de floración, la producción de polen de los progenitores masculinos y el rendimiento de semillas de las plantas hembra. La relación de surcos hembra-macho y los métodos de siembra en las parcelas de cruzamiento pueden tener influencia directa sobre el éxito o el fracaso de la producción de semillas (Paliwal, 2001).

### **2.10 Métodos tradicionales en la producción de semilla híbrida de maíz**

La semilla de las cruza simples se produce cruzando dos líneas endogámicas en una parcela aislada. Algunas veces, la semilla de las cruza híbridas simples, que es costosa, se usa para producir cultivos comerciales de maíz aprovechando el potencial de su alto rendimiento. Para la producción de híbridos triples se siembra una cruza simple como progenitor femenino y una línea endogámica como progenitor masculino polinizador. En el caso de los híbridos dobles, tanto el progenitor femenino como el masculino son híbridos simples, los cuales se siembran en un lote aislado (Paliwal, 2001).

La producción de semilla híbrida de maíz genéticamente pura depende de la polinización cruzada entre progenitores hembra y macho específicos. También depende de contar con un aislamiento reproductivo efectivo en la hembra para fuentes externas de polen. Las empresas semilleras cuentan comúnmente con sus propios estándares de aislamiento que en la mayoría de los casos difieren de los lineamientos públicos dictados por los gobiernos locales. Los estándares típicos de aislamiento incluyen una distancia mínima de todas las fuentes potenciales de polen; cuanto mayor sea la distancia, menor es el potencial de que polen externo entre al campo de producción de semilla; adicionalmente, se sugiere sembrar surcos bordo con el progenitor macho para minimizar el riesgo de cruzamiento por polen externo. El aislamiento reproductivo del modo en que es manejado en la producción de semilla híbrida tiene dos componentes interrelacionados: aislamiento biológico y aislamiento físico. El primero incluye elementos como el periodo de floración, densidad en la liberación de polen, y la proporción de surcos hembra-macho. El aislamiento físico afecta la capacidad del polen de entrar al campo de producción de semilla, considera factores como la distancia del campo a las posibles fuentes externas de polen, orientación y tamaño del campo, así como la superficie del campo con una fuente probable de contaminación por polen (Ireland *et al.*, 2006).

### **2.11. Secado de semilla**

El secado de granos tiene varios objetivos, entre los que podemos citar: 1) reducción del contenido de humedad de acuerdo al estándar de comercialización; 2) reducción de la actividad química y microbiológica para propiciar el almacenamiento; 3) conservar las propiedades nutricionales, biológicas y de uso final del producto; 4) extender la vida útil del producto; 5) minimizar las pérdidas de materia seca y 6) reducir la masa para facilitar el transporte.

A pesar de los múltiples beneficios del secado, existen riesgos derivados de una incorrecta implementación. El secado a alta temperatura consume entre 1200 a 1800 kcal por kg de agua a evaporar del grano (de la Torre, 2010). Para secar de 18 a 14,5% se deben evaporar 40,94 kg de agua por tn, por lo que la cantidad de energía consumida por el secado será de 49 mil a 65 mil kcal por tn. Esta gran cantidad de energía implica que, por un lado si no se aplica correctamente puede resultar afectando la calidad del maíz desde el punto de vista físico, biológico, químico, organoléptico, etcétera, mientras que por el otro si se mejora la eficiencia de secado el ahorro de energía (y de costos) resulta muy significativa para la planta de acopio. En el caso particular del maíz el daño por secado más significativo es la formación de fisuras (Thompson and Foster, 1963). Los granos de maíz fisurados causan reducción del rendimiento de “grits” y harinas en la molienda seca de maíz; reducción del rendimiento de almidón en la molienda húmeda de maíz; problemas de almacenabilidad (insectos, hongos, toxinas); problemas comerciales (incremento de grano partido). Otras consecuencias del incorrecto secado de maíz son la reducción del contenido de proteína disponible; disminución del PH; decoloración; incremento del ángulo de reposo y pérdida de PG (White and Johnson, 2003).

Una semilla de calidad contribuye a mayor eficiencia varietal productiva, ya que es capaz de emerger de manera rápida y uniforme, bajo diferentes condiciones ambientales. La calidad de la semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos (Kelly, 1988), los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo, entre los que destacan: la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria. (Basra, 1995; Copeland y McDonald, 1995). Por otro lado, la calidad física involucra

características tales como: contenido de humedad, peso por volumen y pureza (Moreno, 1996).

De manera adicional, hoy resultan valiosas para las empresas productoras de semilla y para el usuario, tamaño y forma de la semilla, peso de mil semillas, color y daño por insectos y hongos (Basra, 1995; ISTA, 2005). Cabe destacar que la calidad fisiológica se refiere a mecanismos intrínsecos de la semilla que determinan su capacidad de germinación, la emergencia y el desarrollo de aquellas estructuras esenciales para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Basra, 1995).

El éxito de las zonas de producción de semillas tiene que ver con la relación que existe entre los factores climáticos, tecnológicos, económicos y el elevado nivel agronómico.

Son pocos los estudios en los que se ha evaluado el efecto de retraso del secado combinado con la época de cosecha y la duración del almacenamiento sobre la calidad fisiológica. Borba *et al.* (1998) encontraron que la calidad fisiológica de la semilla de maíz cosechada con 21 % de humedad disminuyó significativamente después de 84 h de retraso de secado, lo que no ocurrió en aquéllas cosechadas con 16 %. Eichelberger *et al.* (2002) reportaron una reducción significativa en la germinación y el vigor en semillas de *Lolium multiflorum* Lam. cuando el retraso del secado fue superior a 14 h en semilla cosechada con 35 % de humedad, así como un incremento en el contenido de aminoácidos y disminución en el contenido de azúcares solubles, almidón y proteínas; estas reducciones fueron más pronunciadas al evaluar nuevamente esas variables después de cuatro y ocho meses de almacenamiento.

Los retrasos en el secado son frecuentes cuando las instalaciones de acondicionamiento están alejadas de los campos de producción (Eichelberger *et al.*, 2002) o la capacidad de recepción y secado es insuficiente (Borba *et al.*, 1998; Eichelberger *et al.*, 2002). En estos casos, las mazorcas están en condiciones desfavorables (alto contenido de humedad y falta de aireación) que inducen incrementos en la temperatura debido al calor proveniente de la respiración de la semilla, que acelera su deterioro (Hall, 1980; Perdomo y Burris, 1998) al promover

la presencia de hongos (Shade *et al.*, 2000) y la reducción de azúcares porque afectan el proceso germinativo (Perdomo y Burris, 1998).

### **2.12. Humedad de cosecha de semilla híbrida de maíz**

Taylor and Hunter (Tekrony and Hunter, 1995) indicaron que la producción de semilla híbrida depende de operaciones adecuadas y pertinentes de cosecha que aseguren la máxima calidad y rendimiento de las líneas parentales. Se ha reportado que la mayoría de los híbridos dentados son cosechados cuando la semilla alcanza su máximo peso (madurez fisiológica), lo cual ocurre a concentraciones de humedad de entre 300 y 380g kg<sup>-1</sup>.

En contraparte, en el estudio publicado por Knittle and Burris (1976) se reportó que el máximo vigor de la semilla se presenta antes o en el momento de formación de la capa negra, cuando el contenido de humedad se encontraba entre 331 y 372 g kg<sup>-1</sup>, concluyendo en dicho estudio que el peso seco de la semilla es el mejor indicador del vigor, más aún que la presencia de la capa negra o la humedad misma de la semilla.

Estudios adicionales diversos han relacionado la humedad de la semilla con su madurez; sin embargo, en otros estudios se ha encontrado que los niveles de humedad en madurez fisiológica varían ampliamente entre cultivares, años de producción, fechas de siembra y líneas parentales. En investigaciones previas citadas por los autores se ha relacionado la calidad de la semilla con madurez y han mostrado que la máxima germinación ocurre en altos niveles de humedad, antes incluso de que la semilla alcance su madurez fisiológica. Aunque el vigor para líneas parentales y semilla híbrida se determina con la prueba fría, muy pocos estudios se han reportado sobre maíz dentado relacionando el estado de la formación de la capa negra con la prueba fría. También reportaron que las semillas inmaduras de algunos genotipos mostraban altas tasas de germinación y vigor. Sin embargo, la base genética de estos atributos y de los diferentes estados de madurez aún no está muy clara (Tekrony and Hunter, 1995).

De este modo, el fenómeno de formación de la capa negra ha sido propuesto como una alternativa para determinar el momento oportuno para realizar la cosecha. Del mismo modo, se ha propuesto que el indicador de línea de leche sea combinado con el de capa negra para determinar la madurez de la semilla en maíz dentado (Hunter *et al.*, 1991).

En la producción de maíz, el clima es el factor limitante crucial para determinar el momento de la cosecha, ya que la exposición de las semillas a temperaturas de congelación puede disminuir los niveles de germinación. En el estudio reportado por DeVries *et al.* (2007) se señala que independientemente de la especie, las semillas inmaduras fueron susceptibles a tratamientos de congelación relativa, mientras que la germinación de aquellas semillas que habían alcanzado su madurez fisiológica se vio muy ligeramente afectada. En los híbridos de maíz, el vigor de las plántulas depende altamente de la madurez de las semillas en el momento de su cosecha. De este modo, una semilla de baja calidad puede surgir de cosechas realizadas fuera del periodo adecuado (Knittle and Burris, 1976).

Para la producción de híbridos de maíz, las empresas seleccionan áreas de cultivo con altos niveles de luz solar, temperaturas óptimas, buena irrigación y periodos largos libres de heladas. Estas condiciones le permiten a la semilla alcanzar su madurez fisiológica, lo cual asegura una alta calidad de la misma. Sin embargo, en algunas regiones del mundo, el maíz es cultivado en zonas donde el clima es impredecible y el riesgo de daño por heladas o el mal clima durante el periodo final del cultivo puede provocar que los agricultores cosechen de manera anticipada la semilla, antes de que alcance su madurez fisiológica. La semilla híbrida que es cosechada anticipadamente muestra baja calidad y una baja tasa de germinación bajo condiciones de campo (Liu *et al.*, 2011).

### **2.13. Calidad de semilla**

Una semilla de calidad contribuye a mayor eficiencia varietal productiva, ya que es capaz de emerger de manera rápida y uniforme, bajo diferentes condiciones ambientales (Pérez-Mendoza *et al.*, 2006).



La calidad de semillas es un concepto múltiple y muy amplio que se basa en la valoración de una serie de atributos los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo, entre los que destacan: descripción (especie y pureza varietal, pureza analítica, uniformidad, peso de semillas), higiene (contaminación con materia nociva, sanidad de semillas, contaminación con insectos y ácaros) y potencial de desempeño (comprende germinación, vigor, emergencia, dormancia y uniformidad en campo), es decir, la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria (Kelly, 1988; Copeland and McDonald, 1995). Estos componentes no presentan todo el mismo valor, ni el orden de importancia relativa es el mismo en todas las circunstancias (Mérola and Sebastián, 2012).

La calidad de semilla puede ser vista como un patrón de excelencia que va a determinar el desempeño de la semilla en la siembra o en el almacén; y que es utilizada para reflejar el valor de la semilla para propósitos específicos, como la distribución y comercialización (Hampton, 2001). Consecuentemente, el uso de una semilla de mala calidad puede representar el fracaso de una siembra, ya sea por problemas de germinación o vigor, ataque de algún patógeno presente en la semilla, diseminación e infestación de campos con alguna maleza (Quirós, 2013).

Cuando una semilla es cosechada, siempre presenta condiciones que requieren un manejo especial, por un lado, para reducir la tasa de deterioro; proceso natural que se inicia una vez que alcanza su madurez fisiológica en campo y por otro, para eliminar una serie de contaminantes o elementos indeseables que la acompañan, tales como residuos vegetales, semillas inmaduras o de poco llenado, semillas de malezas, materia inerte y otros (Quirós, 2013).

El manejo postcosecha no mejora o corrige problemas de calidad que no se superaron durante su producción en campo, sobre todo en aspectos de pureza varietal y sanidad; sin embargo, en el caso de semilla sometida a un control de calidad, se pretende lograr un nivel que se ajuste a las normas establecidas para una serie de factores, entre ellos los porcentajes de semilla pura, semilla de malezas, materia inerte, contenido de humedad. La verificación de esa calidad debe ser parte del proceso que se sigue una vez que la semilla es cosechada (Quirós, 2013). Así mismo, y como ya se mencionó, el porcentaje de germinación no es

suficiente para expresar la calidad de la semilla debido a que este concepto también implica calidad genética y fisiológica. La pérdida de la habilidad para germinar es precedida por una larga fila de procesos de deterioro dentro de la semilla que debilitan su desempeño (Figura 5); es decir, que no es posible definir la calidad de la semilla como un valor numérico aislado (Poulsen, 2000).

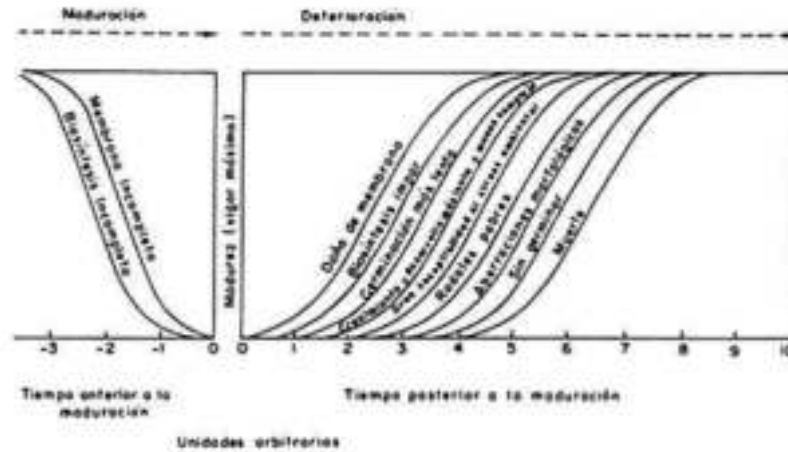


Figura 5 . Eventos que ocurren durante el deterioro de la semilla (Heydecker, 1972).

De manera general se podría decir que la calidad de semillas es un conjunto de cualidades deseables que debe poseer la semilla, que permitan un buen establecimiento del cultivo con plantas vigorosas, sanas y representativas de la variedad en referencia (Villa, 2010).

**2.14. Parámetros que definen la calidad**

La alta calidad de una semilla se traduce en la uniformidad poblacional, ausencia de enfermedades, alto vigor de la planta y mayor productividad y está determinada por características genéticas, físicas, sanitarias y fisiológicas. La calidad genética se relaciona con el origen de la semilla, homogeneidad, resistencia a plagas y enfermedades, potencial productivo, precocidad y calidad del producto; la calidad física implica la ausencia de materiales inertes y de materiales ajenos a la semilla, contenido de humedad, peso, tamaño, color y apariencia; la calidad sanitaria exige ausencia de problemas sanitarios que afecten a la semilla o que interfieran con la producción; la calidad fisiológica determina la capacidad de desempeño de

funciones vitales y está determinada por la germinación, vigor y potencial de almacenamiento (Douglas, 1991; Villa, 2010).

#### **2.14.1 Componente genético**

Thomson (1979), menciona que la calidad se determina por el genotipo de la variedad o híbrido, llamando calidad genética a las características sobresalientes del material genético superior. Las cuales son obtenidas durante la etapa de mejoramiento genético (Garay, 1989); y para que no se pierdan, es necesario identificar los cultivares de potencial y valor comercial (De la Torre, 1992).

#### **2.14.2 Componente fisiológico**

La calidad fisiológica de la semilla incluye los atributos de viabilidad, capacidad de germinación y vigor; en este sentido, Bustamante (1995) menciona que siendo la semilla un insumo vivo, es importante que cuente con la capacidad de reproducir una planta para lograr su establecimiento en campo y obtener rendimientos aceptables de forraje y/o grano. La calidad fisiológica posee un valor comercial puesto que es el principal atributo a evaluar, este consiste en la capacidad de la semilla para germinar y producir una plántula normal (Moreno, 1996). Por su parte Thomson (1979), estableció que las características de la semilla son que fuera viable, que tuviera alta capacidad de germinación y vigor; así mismo, que la calidad fisiológica depende de muchos factores y puede ser muy fácilmente dañada en cualquiera de sus etapas: maduración, cosecha, trillado, secado, desgrane, acondicionamiento, almacenamiento, distribución, siembra y en el suelo mismo.

Moreno (1996) define a la germinación como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables; lo cual coincide con las definiciones de la AOSA (1993) e ISTA (1996). Esta última añade que, la germinación de semillas en un ensayo de laboratorio es la emergencia y desarrollo de la plántula a un estado donde el aspecto de sus estructuras esenciales indica si son o no capaces de desarrollarse en una planta satisfactoria bajo condiciones favorables de suelo.

Otro de los atributos que actualmente se ha considerado dentro del manejo de semillas es el vigor; el cual, la ISTA (1977) definió como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de plántula. Este concepto varió un poco a partir de 1980 cuando la AOSA definió el vigor como aquellas propiedades que determinan el potencial para una rápida, uniforme emergencia y desarrollo de plántula, bajo una amplia variación de condiciones de campo (Moreno, 1996). El mismo autor menciona que, evaluar el vigor de las semillas es de gran utilidad para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas. Finalmente, la ISTA (1996) menciona que las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas de bajo vigor.

#### **2.14.3 Componente sanitario**

La sanidad de semillas es la ausencia de organismos causantes de enfermedades; tales como hongos, bacterias, virus y plagas, como nematodos o insectos; además condiciones fisiológicas como vestigios de deficiencia de elementos que pueden estar incluidos (ISTA, 1996). Por su parte, Garay (1989) menciona que la sanidad de la semilla es una de las cualidades básicas ya que influye en el potencial de productividad. Por otra parte, el concepto de sanidad se ha ampliado para considerar la presencia de toxinas producidas por los microorganismos que pueden contaminar un lote. Respecto a esto, Champeil *et al.* (2003) mencionan que el nivel de contaminación del grano por micotoxinas depende del clima y de los sistemas de siembra. Los mismos autores realizaron un estudio en cuatro sistemas de siembra, en tres ciclos de cultivo con contaminación natural de *Fusarium*; la severidad de *Fusarium* y niveles de toxinas difirieron entre años debido a efectos climáticos.

#### **2.14.4 Componente físico**

La pureza analítica, el contenido de humedad, peso de la semilla y el color, entre otras; son indicadores de la calidad de un lote de semillas como lo menciona Garay

(1989), quien al mismo tiempo señala que todos los componentes juegan un papel importante en la aptitud de la semilla para la siembra y que la calidad de ésta puede ser calificada a partir de ciertos atributos como: pureza genética, viabilidad, vigor, magnitud de daño mecánico, grado de sanidad, contenido de humedad, pureza física, uniformidad, apariencia, peso de la semilla y otros (Pérez, 2011).

Respecto al tamaño de semilla, Thomson (1979) menciona dos componentes físicos esenciales, el tamaño y la uniformidad tiene su origen en las condiciones ambientales.

### **2.15. Factores que inciden en la calidad de la semilla**

Entre los factores que afectan la calidad de la semilla resaltan el rompimiento incompleto de la latencia, el método de pre-tratamiento, la constitución genética de la semilla, la edad, condición y manejo en campo de las semillas, el clima y la condición de la planta madre durante el desarrollo de la semilla, madurez al momento de la recolección y procesamiento de la semilla (Poulsen, 2000).

La calidad fisiológica depende de factores bióticos y abióticos que pueden fácilmente dañar la maduración, cosecha, secado, almacenamiento, acondicionamiento, distribución durante la siembra; y añade que la semilla como una unidad biológica es susceptible a ser dañada en todo instante, por lo que su manejo desde la maduración hasta la siembra requiere de alto grado de especialización (Bustamante, 1995).

Ferguson (1995), afirma que uno de los componentes de la calidad que muestra señales de deterioro, es el vigor de las semillas, seguido por una reducción en la germinación o en la producción de plántulas normales y finalmente, la muerte de las semillas.

Según Moreno (1996), se deben considerar otros siete aspectos que pueden influir en la calidad de las semillas y estos son: 1) Genotipo; la constitución genética determina el vigor sobre todo en la plántula. 2) Madurez de la semilla; según la madurez de la semilla, el potencial de germinación y vigor aumenta. Las semillas maduras dan su máxima expresión de vigor en contraste con las semillas

inmaduras. 3) Condiciones ambientales; la temperatura del aire y disponibilidad de humedad del suelo afectan el tamaño de la semilla durante el desarrollo, el rendimiento posterior, la germinación y el vigor. 4) Tamaño de la semilla. 5) Daño mecánico; semillas dañadas mecánicamente pueden parecer normales, pero presentan un menor vigor que las semillas sin dañar. Este se puede presentar en la trilla, en la limpieza, en el tratamiento, en el envasado, en el transporte y/o durante la siembra. 6) Envejecimiento; disminuye el vigor y es más susceptible a plagas y enfermedades. 7) El ataque de plagas y/o enfermedades; ya sean transmitidas por la misma semilla o el suelo que está contaminado, afectan la germinación y el vigor.

Por otra parte, Baud *et al.* (2002) describieron el desarrollo de la semilla en tres etapas. Durante la primera etapa se presenta la embriogénesis temprana (es decir, la morfogénesis), el peso de la semilla aumenta y el contenido de lípidos son bajos, mientras que las cantidades importantes de almidón se acumulan transitoriamente. En la segunda etapa, o la fase de la maduración, se presenta un aumento rápido en peso seco de la semilla y la acumulación de grandes cantidades de aceites y proteínas, donde se tiene aproximadamente 40 % de materia seca. Durante la tercera y última etapa (maduración incluyendo la adquisición de la tolerancia a la desecación), sigue siendo constante el peso seco, mientras exige una pérdida aguda de agua en la semilla la síntesis del almacenaje termina con la acumulación de sacarosa y rafinosa, revelando la ocurrencia de actividades metabólicas, tales como la síntesis de proteínas en la fase de la desecación del embrión y una correlación llamativa entre los picos en hexosa al cociente de la sacarosa y las fases de la transición durante la embriogénesis.

D'Antonino (1993) reporta que, bajo condiciones de almacenamiento las semillas pueden tener calidades diferentes, que dependen de variables ocurridas en etapas anteriores. De este modo, no se puede esperar que un lote de semillas de calidad mediana se comporte igual que un lote de semillas de alta calidad. La calidad inicial de las semillas; según éste autor, depende de los siguientes factores: condiciones climáticas durante el período de maduración de la semilla, grado de maduración en el momento de la cosecha, daños mecánicos, impurezas, humedad, temperatura,

microorganismos, insectos y roedores. Algunos de estos factores que afectan la calidad dependen en gran manera al tipo de almacén que se le dé a la semilla y el tratamiento químico que se le aplique, ya que este sirve como preventivo o como correctivo.

Dentro de los procesos que influyen en el comportamiento de la semilla sobre el vigor, se encuentran los procesos bioquímicos durante la germinación, las reacciones enzimáticas, la actividad respiratoria, la tasa y uniformidad de germinación de la semilla, el crecimiento de la plántula en el campo y la habilidad de emergencia de la plántula bajo condiciones no favorables. De igual manera, los efectos del nivel del vigor pueden persistir para influir en el desarrollo de la planta, uniformidad del cultivo y el rendimiento (Perry, 1987).

Por su parte, Ferguson (1995) señaló que la composición química en semillas de soya con elevado contenido de ácidos grasos polinsaturados, sufren importantes reducciones en su calidad fisiológica en períodos relativamente cortos de tiempo. Mencionando que las alteraciones en los procesos bioquímicos son generalmente los primeros cambios detectables que ocurren durante el deterioro de un lote de semillas. Él considera que las pruebas de conductividad eléctrica permiten medir el nivel de integridad de las membranas celulares.

## **2.16. Pruebas de calidad en semillas**

La disponibilidad de semilla de alta calidad es importante para todos los sectores de la agricultura. El análisis de pureza y las pruebas de germinación son los ensayos mayormente utilizados en la evaluación de la calidad de las semillas; sin embargo, la medición de otros componentes de la calidad de semillas como la sanidad, pureza genética y vigor, cada día adquieren mayor importancia (Salinas *et al.*, 2001).

### **2.16.1 Pruebas de viabilidad**

Existen varias pruebas bioquímicas para determinar la viabilidad de las semillas; sin embargo, sólo las pruebas con Tetrazolium y la prueba de conductividad son utilizadas en análisis prácticos de semillas. La evidencia ampara que el resto de las pruebas es escasa y deriva principalmente de lo que se conoce sobre los cambios

fisiológicos en semillas deterioradas. De tal manera, se infiere que la pérdida de viabilidad está a menudo acompañada por la pérdida de la capacidad de respiración, ácidos grasos no saturados, lípidos de la membrana, reducción en la carga de energía de adenilato, así como en la actividad enzimática y contenido de ARN mensajero (Poulsen, 2000).

El propósito de la prueba topográfica con Tetrazolium es mostrar mediante la actividad bioquímica el potencial que tiene la semilla de producir una plántula normal. Una semilla no viable muestra deficiencias y/o anomalías de naturaleza en su desarrollo (ISTA, 2005). Es una prueba cualitativa ampliamente utilizada por su rapidez, los resultados son obtenidos en 24 h, donde la semilla es remojada en una solución de Tetrazolium y el tejido vivo se torna rojo debido a la acción de varias enzimas de deshidrogenasa en las células y es así como se evalúa el patrón de tinción (Poulsen, 2000).

La prueba de conductividad eléctrica evalúa indirectamente el grado de estructuración de las membranas celulares, mediante la determinación de la cantidad de iones lixiviados en la solución de imbibición. Los iones lixiviados son inversamente proporcionales a la integridad de las membranas celulares (Soto and Valiengo, 2011).

Esta prueba presenta la ventaja de rapidez, objetividad y bajo costo, además es capaz de identificar el deterioro de las semillas en su estado inicial (AOSA, 1983; Hampton and Tekrony, 1995; Soto and Valiengo, 2011).

### **2.16.2 Prueba de germinación**

A menudo, semillas completas que parecen viables no germinarán porque no fueron fertilizadas o son demasiado viejas. Por lo tanto, la manera más confiable para evaluar la calidad de un lote de semillas es someter a germinación una muestra de semillas del mismo. Los ensayos de germinación permiten evaluar el poder germinativo de las semillas y estimar su valor potencial para la siembra en campo (Rodríguez *et al.*, 2008).

Para determinar el porcentaje germinativo se hacen pruebas con muestras de semilla tomadas al azar sometiéndolas a condiciones germinativas favorables. Para



los ensayos de germinación son aceptables una cantidad de medios; si bien el que se emplee debe asegurar adecuada aireación y suficiente, pero no excesiva humedad a cada semilla. Es importante además que el medio sea estéril para prevenir daños por hongos (FAO, 1986).

Las Normas Internacionales para los Ensayos de Semillas (ISTA, 2010) recomienda para los ensayos de germinación una temperatura de 30 °C durante 16 h (luz) y de 20 °C durante 8 h (oscuridad). Estas normas también especifican la exposición de las semillas a la luz durante las pruebas. Las muestras de semillas deben ser bastante grandes para asegurar que por lo menos algunas de ellas germinen. Hasta el final del período de germinación activa deberán anotarse a intervalos regulares la cantidad de semillas que tienen una germinación normal. Una vez que la semilla ha germinado y ha sido recontada debe ser eliminada para evitar la posibilidad de contarla de nuevo.

Los resultados de un ensayo de germinación pueden expresarse en diferentes maneras, incluyéndose el porcentaje de germinación, la energía germinativa y la capacidad germinativa. El porcentaje de germinación, o el porcentaje real de todas las semillas de la muestra que han germinado durante la prueba, es útil para comparar la calidad de los lotes de semillas en los programas de ensayo y en investigación (FAO, 1986).

La energía germinativa se refiere al porcentaje de semilla en la muestra que ha germinado durante una prueba hasta el momento en que la cantidad de semilla que germina por día ha llegado a su máximo. La cantidad de días requeridos para alcanzar este máximo es el período energético. Por lo general, las plántulas que se originan de las semillas que germinan dentro del período energético constituyen el stock de plantación de mejor calidad. La capacidad de germinación es la cantidad total de semillas en la muestra que ha germinado en un ensayo, más la cantidad de semillas que queda por germinar, pero que son aún sanas al final de la prueba, expresadas en porcentajes. Desde el punto de vista práctico, esta estadística se parece al valor del porcentaje de semilla completa obtenida en un ensayo de viabilidad (FAO, 1986).

Los resultados de un ensayo de germinación se usan a menudo para calcular la cantidad de semilla que debe sembrarse para obtener una cierta cantidad de plántulas. Sin embargo, debe recordarse que la cantidad real de plántulas sobrevivientes puede ser muy inferior a la que indica los ensayos de germinación, por las pérdidas debidas a condiciones desfavorables climáticas, por los roedores y pájaros, insectos y enfermedades (Poulsen, 2000).

### **2.16.3. Pruebas de vigor**

El vigor de la semilla se define como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y de desempeño de la semilla o bien del lote de semillas durante la germinación y la emergencia de las plántulas (ISTA, 2007).

Es importante señalar que el vigor de la semilla se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas, incluyendo; 1) cambios en los procesos bioquímicos, 2) la tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas y 3) la germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés. Las alteraciones en los procesos bioquímicos son generalmente los primeros cambios detectables que ocurren durante el deterioro de un lote de semillas (Ferguson, 1995).

El objetivo principal de la prueba de vigor de semillas es el de proporcionar una identificación más precisa de las diferencias en el potencial fisiológico entre los lotes de semilla de valor comercial, en su mayoría los de porcentaje de germinación similares, con el objetivo de identificar los lotes de mayor probabilidad para un buen desempeño después de la siembra o bien durante su almacenamiento (Filho, 2015).

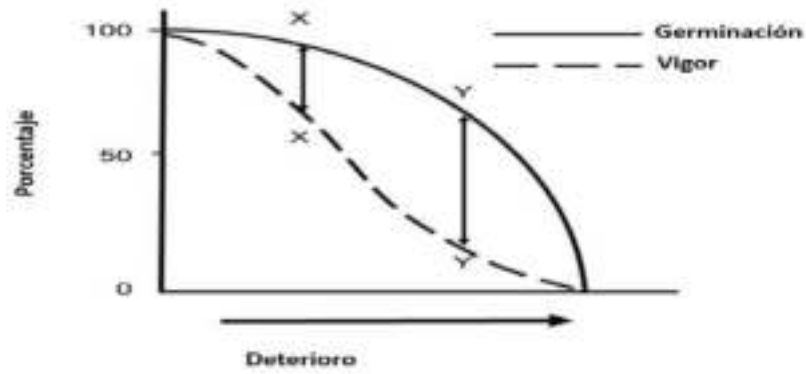


Figura 6. Relación entre la pérdida de vigor y germinación de las semillas conforme aumenta el deterioro en tiempo (Filho, 2015).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

La investigación se realizó en el laboratorio de Análisis de semillas del Tecnológico Nacional de México/I.T. Roque, localizado en Celaya, Guanajuato, México, que de acuerdo con datos del google earth está situado a los 20°34' N y 100°49' O y 1775 m de altura sobre el nivel del mar y en el laboratorio de Pioneer localizado en Culiacán, Sinaloa, México, que de acuerdo con datos del google earth está situado a los 24°40' N y 107°26' O y 775 m de altura sobre el nivel del mar (Figura 7)



Figura 7. Ubicación del I.T Roque y planta de beneficio de semillas de Pioneer.

#### 3.2 Diseño de tratamientos

##### 3.2.1. Factores de estudio

FACA= 2 híbridos de maíz de cruza simple

FACB= 5 niveles de humedad de cosecha (22, 27 32, 37 y 42 %)

FACC= 2 tazas de secado (4 y 6 % en 24 horas)

FACD= 2 formas de semilla (planos y bolas)

FACE= 3 tamaños de semilla (pg, pm, pch; bg, bm y bch)

La combinación de todos los factores y sus niveles de estudio generó un total de 120 tratamiento (Tabla 2).

Tabla 2. Diseño de tratamientos para los factores de estudio; humedad de cosecha, taza de secado, forma y tamaño de semilla en cruzas simples de maíz.

Tratamiento	Genotipos	Humedad de cosecha	Taza de secado	Forma de la semilla	Tamaño de la semilla
1	P3258W	22	4	Bola	BCH
2	P3258W	22	4	Bola	BM
3	P3258W	22	4	Bola	BG
4	P3258W	22	4	Plano	PCH
5	P3258W	22	4	Plano	PM
6	P3258W	22	4	Plano	PG
7	P3258W	22	6	Bola	BCH
8	P3258W	22	6	Bola	BM
9	P3258W	22	6	Bola	BG
10	P3258W	22	6	Plano	PCH
11	P3258W	22	6	Plano	PM
12	P3258W	22	6	Plano	PG
13	P3258W	27	4	Bola	BCH
14	P3258W	27	4	Bola	BM
15	P3258W	27	4	Bola	BG
16	P3258W	27	4	Plano	PCH
17	P3258W	27	4	Plano	PM
18	P3258W	27	4	Plano	PG
19	P3258W	27	6	Bola	BCH
20	P3258W	27	6	Bola	BM
21	P3258W	27	6	Bola	BG
22	P3258W	27	6	Plano	PCH
23	P3258W	27	6	Plano	PM
24	P3258W	27	6	Plano	PG
25	P3258W	32	4	Bola	BCH
26	P3258W	32	4	Bola	BM
27	P3258W	32	4	Bola	BG
28	P3258W	32	4	Plano	PCH
29	P3258W	32	4	Plano	PM
30	P3258W	32	4	Plano	PG
31	P3258W	32	6	Bola	BCH
32	P3258W	32	6	Bola	BM
33	P3258W	32	6	Bola	BG
34	P3258W	32	6	Plano	PCH
35	P3258W	32	6	Plano	PM
36	P3258W	32	6	Plano	PG
37	P3258W	37	4	Bola	BCH
38	P3258W	37	4	Bola	BM
39	P3258W	37	4	Bola	BG
40	P3258W	37	4	Plano	PCH
41	P3258W	37	4	Plano	PM

---

<b>Tratamientos</b>	<b>Genotipos</b>	<b>Humedad de cosecha</b>	<b>Taza de secado</b>	<b>Forma de la semilla</b>	<b>Tamaño de la semilla</b>
42	P3258W	37	4	Plano	PG
43	P3258W	37	6	Bola	BCH
44	P3258W	37	6	Bola	BM
45	P3258W	37	6	Bola	BG
46	P3258W	37	6	Plano	PCH
47	P3258W	37	6	Plano	PM
48	P3258W	37	6	Plano	PG
49	P3258W	42	4	Bola	BCH
50	P3258W	42	4	Bola	BM
51	P3258W	42	4	Bola	BG
52	P3258W	42	4	Plano	PCH
53	P3258W	42	4	Plano	PM
54	P3258W	42	4	Plano	PG
55	P3258W	42	6	Bola	BCH
56	P3258W	42	6	Bola	BM
57	P3258W	42	6	Bola	BG
58	P3258W	42	6	Plano	PCH
59	P3258W	42	6	Plano	PM
60	P3258W	42	6	Plano	PG
61	P3289W	22	4	Bola	BCH
62	P3289W	22	4	Bola	BM
63	P3289W	22	4	Bola	BG
64	P3289W	22	4	Plano	PCH
65	P3289W	22	4	Plano	PM
66	P3289W	22	4	Plano	PG
67	P3289W	22	6	Bola	BCH
68	P3289W	22	6	Bola	BM
69	P3289W	22	6	Bola	BG
70	P3289W	22	6	Plano	PCH
71	P3289W	22	6	Plano	PM
72	P3289W	22	6	Plano	PG
73	P3289W	27	4	Bola	BCH
74	P3289W	27	4	Bola	BM
75	P3289W	27	4	Bola	BG
76	P3289W	27	4	Plano	PCH
77	P3289W	27	4	Plano	PM
78	P3289W	27	4	Plano	PG
79	P3289W	27	6	Bola	BCH
80	P3289W	27	6	Bola	BM
81	P3289W	27	6	Bola	BG
82	P3289W	27	6	Plano	PCH
83	P3289W	27	6	Plano	PM

---

Tratamiento	Genotipos	Humedad de cosecha	Taza de secado	Forma de la semilla	Tamaño de la semilla
84	P3289W	27	6	Plano	PG
85	P3289W	32	4	Bola	BCH
86	P3289W	32	4	Bola	BM
87	P3289W	32	4	Bola	BG
88	P3289W	32	4	Plano	PCH
89	P3289W	32	4	Plano	PM
90	P3289W	32	4	Plano	PG
91	P3289W	32	6	Bola	BCH
92	P3289W	32	6	Bola	BM
93	P3289W	32	6	Bola	BG
94	P3289W	32	6	Plano	PCH
95	P3289W	32	6	Plano	PM
96	P3289W	32	6	Plano	PG
97	P3289W	37	4	Bola	BCH
98	P3289W	37	4	Bola	BM
99	P3289W	37	4	Bola	BG
100	P3289W	37	4	Plano	PCH
101	P3289W	37	4	Plano	PM
102	P3289W	37	4	Plano	PG
103	P3289W	37	6	Bola	BCH
104	P3289W	37	6	Bola	BM
105	P3289W	37	6	Bola	BG
106	P3289W	37	6	Plano	PCH
107	P3289W	37	6	Plano	PM
108	P3289W	37	6	Plano	PG
109	P3289W	42	4	Bola	BCH
110	P3289W	42	4	Bola	BM
111	P3289W	42	4	Bola	BG
112	P3289W	42	4	Plano	PCH
113	P3289W	42	4	Plano	PM
114	P3289W	42	4	Plano	PG
115	P3289W	42	6	Bola	BCH
116	P3289W	42	6	Bola	BM
117	P3289W	42	6	Bola	BG
118	P3289W	42	6	Plano	PCH
119	P3289W	42	6	Plano	PM
120	P3289W	42	6	Plano	PG

### 3.3 Clasificación física de la semilla

En el proceso de comercialización de granos comerciales a través de cribas de selección (26/64vo, 22/64vo, 19.5/64vo y 15.5/64vo) estos son los estándares de selección PIONNER en México después de la cosecha, cuando la semilla se

encuentra aproximadamente en 12% de humedad. Finalmente se obtiene la siguiente clasificación de grano para cada tratamiento proveniente de campo:

- PLANO GRANDE (PG)
- PLANO MEDIO (PM)
- PLANO CHICO (PC)
- BOLA GRANDE (BG)
- BOLA MEDIA (BM)
- BOLA CHICA (BC)
- DESCARTE

### 3.3.1. Descripción del proceso de clasificación de la semilla

Pesar 1000 g de muestra de semilla desgranada. Pasar por los harneros redondos 26/64, 22/64, 19.5/64 y 16.5/64<sup>vo</sup> estos harneros separan los tamaños grandes, medianos y chicos estos y estos datos deberán registrarse. Agitar las cribas por un tiempo aproximado de 60 segundos para que la semilla pase a través de las cribas (Figura 8).



Figura 8. Descripción del paso 1 para la clasificación de semilla

1. Pesar lo que quedó sobre 26/64<sup>vo</sup> y la que pase la criba 16.5/64<sup>vo</sup> la suma de estas dos será el descarte (Figura 9).



Figura 9. Tipo de harneros que se utilizan para la clasificación de semilla



2. Pesar lo que quedo sobre los harneros 22/64<sup>vo</sup> (tamaño grande), 19.5/64<sup>vo</sup> (tamaño Mediano) y 16.5/64<sup>vo</sup> (tamaño chico). Registrar el dato de cada clasificación: GRANDE, MEDIANO y CHICO (Figura 10).



Figura 10. Peso de cada muestra por harnero.

3. Pasar por harnero rectangular 13/64<sup>vo</sup> las muestras obtenidas de las cribas 22/64, 19.5/64 y 16.5/64<sup>vo</sup>, para separar granos tipo planos (la muestra pasa a través la criba rectangular) y granos tipo bolas (muestra que queda sobre la criba rectangular). Obteniendo de la criba 22/64<sup>vo</sup> (PG y BG), criba 19.5/64<sup>vo</sup> (PM y BM) y 16.5/64<sup>vo</sup> (PCH y BCH). Registrar los datos en gramos (Figura 11).

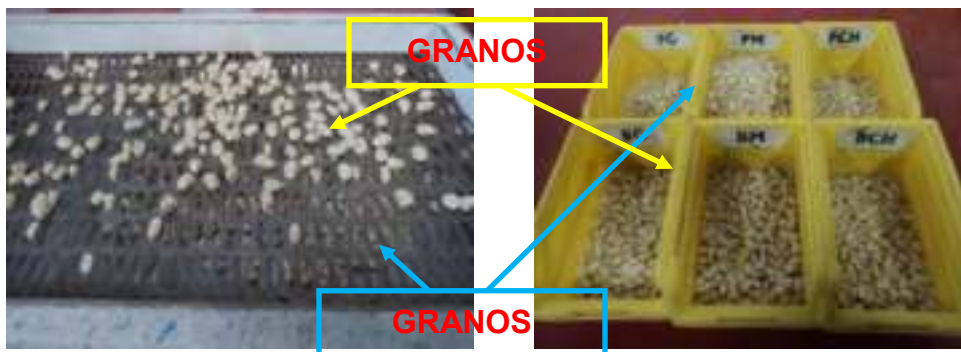




Figura 11. Clasificación por el tamaño de la muestra.

4. Limpiar cada tamaño PG, PM, PC, BG, BM y BC, eliminando impurezas (granos quebrado y dañados del embrión) registrar esta información de impurezas por tamaño (Figura 12).



Figura 12. Descripción de impurezas por muestra.

5. Contar el número de grano con una contadora o personal por cada muestra previamente limpia de impurezas; PG, BG, PM, BM, PCH y BCH.

### 3.4. Características de calidad de semilla

#### 3.4.1 Velocidad de germinación (VE)

La prueba se desarrolló de acuerdo con la metodología de la ISTA (2015); considerando únicamente las plántulas normales al primer conteo (día 4). Se usaron

cuatro repeticiones de 50 semillas por tratamiento y se sembraron entre papel, posteriormente se colocaron en bolsas de polietileno y se sometieron a la cámara de germinación a 25 °C de temperatura constante.

#### **3.4.2 Germinación estándar (GE)**

La prueba se realizó de acuerdo a la metodología establecida por la ISTA (2015); que considera el porcentaje de plántulas normales en dos recuentos; al cuarto y séptimo día después de ser sometido el ensayo. Se sembraron cuatro repeticiones de 50 semillas por tratamiento utilizando papel de germinación; se enrollaron e identificaron con fecha, clave del tratamiento y repetición y se colocaron en bolsas de polietileno, colocándolas finalmente en canastas en una cámara germinadora a 25 °C constante bajo condiciones de oscuridad.

#### **3.4.3 Prueba de frío (Cold test)**

La prueba se hizo de acuerdo con la ISTA (2015); usando charolas con arena y depositando 50 semillas por repetición; posteriormente, las charolas son regadas con agua corriente y se colocan en una cámara fría a 10°C por siete días, transcurrido este periodo se le práctica una prueba de germinación estándar tal como se redactó anteriormente.

#### **3.4.4 Prueba de imbibición (Soak test)**

Esta consiste en sumergir en agua la semilla por 24 horas; transcurrido ese tiempo se someten a una prueba de germinación estándar (ISTA, 2015). Para esta característica también se usaron cuatro repeticiones de 50 semillas.

### **3.5. Características de vigor inicial de plántula en cama de arena bajo condiciones de vivero**

Para esta prueba se usaron tres repeticiones de 50 semillas establecidas en camas de arena. Las semillas se colocaron a dos centímetros de profundidad y se registraron los siguientes caracteres; velocidad de emergencia (VE), realizando conteos diarios a partir del 4 día y hasta el día 8 después de la siembra (DDS),

porcentaje de emergencia (PE), peso verde de vástago (PVV) y peso seco de vástago (PSV), longitud de plántula (LPL) e índice de clorofila (IC)

La velocidad de emergencia se determinó de acuerdo con Maguire (1962) usando la siguiente fórmula:

$$VE = \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del primer conteo}} + \dots + \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del conteo final}}$$

El porcentaje de emergencia se determinó contando el número de plántulas emergidas al décimo día y utilizando la siguiente expresión:

$$PE = (100) \left( \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas emergidas al día 10 DDS}}{N^{\circ} \text{ total de semillas sembradas}} \right)$$

Así mismo, a los 16 días después de la siembra se obtuvo el peso verde de vástago y longitud de planta utilizando una muestra de diez plantas por genotipo y por unidad experimental. Las plantas que fueron cortadas se metieron a la estufa a una temperatura de 60° por 48 horas, transcurridas las horas se pesaron para obtener el peso seco de vástago. Con estos datos se calculó el índice de vigor I e índice de vigor II, tal como lo describieron Kharb *et al.* (1994), este se obtiene al multiplicar el porcentaje de emergencia por el peso seco de la parte aérea y el porcentaje de emergencia por la longitud de la plántula.

### 3.6. Diseño experimental

En condiciones de laboratorio se usó un diseño completamente aleatorizado con 120 tratamientos en arreglo factorial 2 x 5 x 2 x 2 x 3 con 4 repeticiones; cada repetición se conformó de 50 semillas.

Por otro lado, la prueba de la cama de arena se evaluaron los mismos factores, pero bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en condiciones no controladas, cada repetición de 50 semillas.

### **3.7. Análisis estadístico**

Para todos los caracteres evaluados se realizó un análisis de varianza (factorial incompleta), usando el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 2005) ver 9.4. La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de análisis de varianza para la prueba de germinación estándar (GE), muestran efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.01$ ) para genotipos (G) y tasa de secado (TS) y significativo a 0.05 de probabilidad para humedad de cosecha (HC); por el contrario, la forma de la semilla (FS), y el tamaño de semilla (tam) no modificaron estadísticamente este carácter. Por otro lado, las interacciones entre los factores de estudio Genotipo\* Humedad de Cosecha (G\*HC), genotipo\* Tasa de secado (G\*TS) y Humedad de Cosecha\* Tasa de Secado (HC\*TS), afectaron estadísticamente esta Variable (Tabla 3).

Con respecto a la prueba de cold tets (CT), se presentó efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) para todos los factores de estudio (Genotipo, Humedad de Cosecha, Tasa de secado, forma y tamaño de la semilla). Por otro lado, las interacciones simples (dos Factores) genotipo por humedad de cosecha (G\*HC), genotipo por tasa de secado (G\*TS) y humedad de cosecha por tasa de secado (HC\*TS), modificaron estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) esta variable. Con respecto a las triples interacciones genotipo por humedad de cosecha por tasa de secado (G\*HC\*TS) mostró efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) y la interacción genotipo\* humedad de cosecha\* forma de la semilla (G\*HC\*FS) y genotipo\* humedad de cosecha\* tamaño de semilla lo hicieron (G\*HC\*Tam) con  $P \leq 0.05$  de probabilidad. Del mismo modo, la interacción genotipo por humedad de cosecha por tasa de secado por forma de la semilla afectaron estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) este carácter; la misma condición se presentó para la interacción de los cinco factores de estudio.

En soak test el análisis de varianza mostro efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) para humedad de cosecha (HC) y tamaño de semilla (Tam), mientras que el resto de los factores de estudio; genotipos (G), tasa de secado (TS) y forma de semilla (FS), no modificaron estadísticamente este carácter. En las interacciones simples de los factores genotipo por humedad de cosecha (G\*HC), genotipo por tasa de secado (G\*TS), genotipo por forma de la semilla (G\*FS), humedad de cosecha por tasa de secado (HC\*TS), humedad de cosecha por forma de la semilla (HC\*FS), humedad

de cosecha por tamaño de semilla (HC\*Tam), tasa de secado por tamaño de semilla (TS\*Tam), afectaron significativamente esta variable; mientras que, la interacción genotipos\*tamaño de semilla (G\*Tam) no modificaron esta característica.

Por otro lado, las interacciones triples no presentaron significancia estadística para la variable, pero las interacciones de cuatro y cinco factores sí modificaron estadísticamente este carácter.

De acuerdo con Delouche (2001), la industria de semillas ha sido generalmente contraria a la incorporación de las recomendaciones para las pruebas de vigor en las reglas para análisis de semillas y en las exigencias de rotulado en las leyes de semillas, a un siendo el laboratorio de las empresas de semillas, y siguen siendo, los primeros en utilizar las pruebas de vigor. Su posición surgió muy oportunamente a partir del temor de que los resultados de las pruebas de vigor podrían ser exigido en los datos de la etiqueta de las semillas, lo que resultaría en complicaciones incontrolables en el control del mercado, responsabilidades y litigios.

Hasta el momento ningún país exige que las semillas comercializadas tengan en la etiqueta los datos de vigor. En este sentido, el uso de las pruebas de vigor debe utilizarse por los productores de semillas y empresas para identificar lotes de semillas en proceso de deterioro y lotes de riesgo que deberían ser retirados del mercado y destinados para otro uso.

El coeficiente de variación (C.V) fue de 2.74 % para la prueba de germinación estándar, de 5.48 % para cold test (C.T) y 5.68 % para soak test (S.T); estos valores se consideran bajos y por lo tanto aceptables y además le dan alta confiabilidad al experimento como lo afirmaron Cervantes *et al.* (2007) para caracteres de calidad fisiológica de semilla de maíz.

Tabla 3. Cuadrados medios para las pruebas de germinación estándar, cold test y soak test en híbridos de cruza simple de maíz.

FV.	G.L	GE	CT	ST
<b>Genotipos (G)</b>	1	134.40**	279.07**	10.80 <sup>ns</sup>
<b>H.C.</b>	4	17.72*	1679.80**	578.49**
<b>T.S.</b>	1	49.40**	273.00**	93.63 <sup>ns</sup>
<b>F.S.</b>	1	0.67 <sup>ns</sup>	407.00**	32.03 <sup>ns</sup>
<b>tam</b>	4	10.39 <sup>ns</sup>	1999.36**	789.06**
<b>G*hc</b>	4	40.59**	565.59**	160.05**
<b>G*ts</b>	1	44.40*	452.40**	874.80**
<b>G*fs</b>	1	1.87 <sup>ns</sup>	54.67 <sup>ns</sup>	529.20**
<b>G*tam</b>	4	6.69 <sup>ns</sup>	41.30 <sup>ns</sup>	51.20 <sup>ns</sup>
<b>hc*ts</b>	4	39.26**	276.69**	457.38**
<b>hc*fs</b>	4	12.90 <sup>ns</sup>	4.57 <sup>ns</sup>	176.61**
<b>hc*tam</b>	16	7.66 <sup>ns</sup>	75.95**	105.31**
<b>ts*tam</b>	5	6.56 <sup>ns</sup>	8.98 <sup>ns</sup>	98.35**
<b>G*hc*ts</b>	4	7.22 <sup>ns</sup>	119.22**	44.92 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*fs</b>	4	6.22 <sup>ns</sup>	73.69*	36.15 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*tam</b>	16	5.15 <sup>ns</sup>	38.94*	49.11 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*ts*fs</b>	9	11.63 <sup>ns</sup>	45.17*	120.18**
<b>G*hc*ts*fs*tam</b>	36	8.06 <sup>ns</sup>	48.83**	50.47**
<b>Error</b>	360	7.08	23.23	26.18
<b>C.V: (%)</b>	---	2.74	5.48	5.68

\*, \*\* Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. gen= genotipo, hc= humedad de cosecha, ts= tasa de secado, fs= Forma de la semilla, tam= tamaño de semilla. CT, ST y GE, corresponden a las pruebas de cold test, soak test y germinación estándar, respectivamente.

En la prueba de comparación de medias (Tabla 4) para germinación estándar el genotipo P3289W tuvo mejor comportamiento en comparación con la cruza P3258W, aunque ambos materiales superaron el porcentaje mínimo establecido por el SNICS (90 %) para considerar un lote de semilla de alta calidad. Con respecto a el factor humedad de cosecha (HC) se tuvo que cuando la semilla es cosechada con menor contenido de humedad, esta va perdiendo la calidad fisiológica, condición que ha sido afirmada por diversos científicos alrededor del Mundo, ya que las semillas sufren deterioro por los factores bióticos y abióticos. Por otro lado, la tasa de secado de 6 puntos porcentuales en 24 horas presentó la mejor respuesta, superando al nivel de 4 % en la tasa de secado en 24 horas. Finalmente, la forma y tamaño de la semilla presentaron una respuesta similar en la germinación estándar.



Luego de la madurez fisiológica, la semilla aún unida a la planta madre, inicia un proceso de pérdida de agua o secado natural. Ese proceso ocurre en la naturaleza para que las semillas se dispersen más fácilmente por sus vectores como pájaros o los vientos y para que mantengan su viabilidad hasta encontrar una zona ideal para propagarse. En las especies sembradas para fines comerciales, entre el punto de madurez fisiológica y el momento de la cosecha, el tenor de agua de dicha semilla deberá ser lo suficiente para garantizar la calidad del producto y ser de fácil cosecha mecánica.

En tal sentido, es fundamental el conocimiento de los conceptos de grado de humedad antes incluso de conocer los conceptos de secado. El agua se clasifica en cuatro tipos de acuerdo a cómo se fija en las semillas: El primer tipo, o agua monomolecular, tiene un tenor entre 0 y 5%, y es fuertemente absorbida y ligada íntimamente a las moléculas a través de las Fuerzas de Van der Waals. El segundo tipo, o agua polimolecular, está entre 5 a 12% de humedad y también es fuertemente absorbida, siendo no soluble, pero ya no está ligada directamente a las moléculas y sin las cadenas moleculares.

El agua de tipo tres u osmótica, tiene su ligazón basada por la tensión osmótica de la célula, tiene una función solvente y es un agua francamente absorbida, con un tenor entre 12 a 27% de agua. El cuarto tipo de agua contenida en las semillas se denomina agua libre y es un agua absorbida y soluble con más de 27%.

El agua libre es la primera a ser retirada por el secado y la que se retira más rápido. El agua de tipo tres, osmótica, será retirada con más dificultad, y generalmente es el tenor de agua el que mantiene la calidad de las semillas. En esta etapa del retiro del agua de las semillas el productor deberá concentrar mucha atención, identificando y seleccionando métodos y procesos de secado que no impliquen comprometer su producto (Peres y Peske, 2016).

En la prueba de cold test hubo diferencias entre los genotipos; siendo mejor el híbrido P3289W con 88.65 % después de que las semillas fueron sometidas a estrés

por bajas temperaturas. En relación con la humedad de cosecha (HC); las semillas que fueron cosechadas a los 37 y 42 % de humedad expresaron el vigor más alto por arriba de 90 % de plántulas normales; lo cual indica que en campo de producción de semillas la cosecha debe realizarse en altos contenidos de humedad (Madurez fisiológica). La tasa de secado de 4 % en 24 horas tuvo la mejor respuesta para vigor a través de la prueba de frío. Con respecto a la forma de semilla; las semillas planas expresan la mejor respuesta que las semillas bolas y las semillas de mayor tamaño (planos grandes y bolas grandes) mejoran el vigor de la semilla; por lo tanto, se recomienda eliminar los tamaños de semilla chica, ya que afectan el vigor de la semilla.

Luego de la madurez fisiológica, la semilla aún unida a la planta madre, inicia un proceso de pérdida de agua o secado natural. Ese proceso ocurre en la naturaleza para que las semillas se dispersen más fácilmente por sus vectores como pájaros o los vientos y para que mantengan su viabilidad hasta encontrar una zona ideal para propagarse.

Muchos estudios realizados con la maduración de las semillas de diversas especies indican el punto de máximo contenido de materia seca como el mejor y más seguro indicativo de que las semillas alcanzaron la maduración fisiológica. De esta manera, la maduración fisiológica queda caracterizada como aquel punto después del cual la semilla ya no recibe más nutrientes de la planta madre, ocurriendo la desconexión entre la planta y la semilla. A partir de este punto, la semilla permanece ligada a la planta solo físicamente. Es necesario resaltar los cuidados con la semilla en este punto, considerando que el contenido de reservas es máximo y el contenido de humedad todavía es elevado (variando de 30 a 50 % dependiendo de la especie. Semillas de soja presentan cerca de 50 a 55 % de humedad en esta etapa, en cuanto que el de maíz alrededor de 35 a 40 %. Pudiendo las reservas acumuladas ser consumidas por la respiración intensa de la semilla con un porcentaje tan elevado de humedad (Dias, 2001).

Con respecto a la prueba de vigor de soak test, los genotipos presentaron la misma respuesta. En el factor humedad de cosecha se observó diferencias entre los niveles

evaluados; destacando las humedades de 37 y 42 % con el vigor más alto, superando los 91 % de plántulas vigorosas después de ser sometidas al estrés por exceso de agua. La tasa de secado de la semilla no modificó el vigor de la semilla. En los tamaños de semilla se vio una diferencia entre los tratamientos destacando los grandes tanto planos como bolas. Finalmente, las semillas grandes; tanto en planos como en bolas presentaron mayor resistencia a la imbibición en agua por 24 horas, ya que arrojaron resultados favorables en el vigor de la semilla superando 92%.

McDonald y Copeland, 1997 establecieron que la mejor época de cosecha, se ubica en la madurez fisiológica o posterior a ella, dependiendo de la infraestructura que se disponga para el secado y su ciclo de siembra a madurez fisiológica, o con base en las unidades térmicas. se trata de relacionar las épocas de cosecha con el vigor de la semilla cosechada, ya que el vigor es una característica relevante en siembras comerciales, para lograr un adecuado establecimiento de plantas en condiciones limitantes o desfavorables. De acuerdo a lo anterior, conviene establecer la época más adecuada de cosecha, posterior a esta madurez fisiológica, que depende de la disponibilidad de infraestructura para secado, entre más cercana esté la cosecha de esta fecha, combinado con un buen secado se preserva la calidad.

Díaz (2001) afirma que el desarrollo y la maduración de la semilla son aspectos importantes que deben ser considerados en la tecnología de producción de semillas, pues, entre los factores que determinan la calidad de las semillas, están las condiciones ambientales predominantes en la etapa de floración/fructificación y la cosecha en la época adecuada. Por lo tanto, el conocimiento de cómo se procesa la maduración de las semillas y de los principales factores involucrados, es de fundamental importancia para la orientación de los productores de semillas, auxiliándolos en el control de calidad, principalmente lo que se refiere al planeamiento y a la definición de la época ideal de cosecha, con el objetivo de obtener calidad y productividad.

En el caso de maíz, es posible realizar la cosecha próxima a la maduración fisiológica si existe la posibilidad de ser realizada la cosecha en mazorca, que

implica el uso de maquinaria y secador adecuados. En este caso, las semillas pueden ser cosechadas con humedad alrededor de 35 %, disminuyéndose de esta manera los riesgos de deterioración en el campo y obteniéndose semillas de mejor calidad.

Por otro lado, Peres y Peske, (2016) señalan que la velocidad de secado está en función de la rapidez con que ocurre la evaporación del agua de la superficie de la semilla que depende de la HR y de la temperatura del aire de secado y de la velocidad de transferencia de la humedad interna hasta la superficie, que depende de la permeabilidad de las membranas de la semilla, lo que es una característica propia de cada especie.

En este sentido, la tasa de secado es el cociente entre la cantidad de masa de agua retirada en el tiempo para que ello ocurra. Depende de la humedad inicial del producto, de la capacidad y de la cantidad de aire de secado, del método de secado (si fuera artificial), del tipo de secador, de las características del producto, de la cantidad y de la profundidad de la masa de producto que el aire deberá atravesar.

La tasa de secado, referida también como velocidad de secado, es de fundamental importancia para que no ocurra el deterioro de las semillas por la demora en el secado. Sin embargo, esta velocidad debe ser tal que no genere tensiones excesivas que fisuren las semillas, por gradiente de humedad o térmico.

Tabla 4. Comparación de medias para pruebas de calidad de semilla; cold test, soak test y germinación estándar en híbridos de cruza simple de maíz.

<b>FACTORES</b>	<b>GE</b>	<b>CT (%)</b>	<b>ST</b>
<b>GENOTIPOS</b>			
P3289W	97.30 a	88.65 a	90.22 a
P3258W	96.25 b	87.12 b	89.92 a
<b>HUMEDAD DE COSECHA (%)</b>			
22	96.14 b	81.89 d	87.62 b
27	96.77 ab	88.29 b	89.52 b
32	96.93 ab	85.81 c	88.02 b
37	97.33 a	92.08 a	93.22 a
42	96.70 ab	91.35 a	91.97 a

<b>TASA DE SECADO (%)</b>			
4	96.45 b	88.64 a	90.51 a
6	97.10 a	87.13 b	89.63 a
<b>FORMA DE SEMILLA</b>			
BOLA	96.74 a	86.96 b	90.33 a
PLANO	96.81 a	88.80 a	89.81 a
<b>TAMAÑO DE SEMILLA</b>			
PG	96.92 a	91.72 a	92.32 ab
BG	97.12 a	91.17 ab	94.02 a
PM	96.95 a	89.05 b	88.52 cd
BM	96.87 a	90.10 ab	90.67 bc
PCH	96.57 a	85.65 c	88.60 cd
BCH	96.22 a	79.62 d	86.30 d

Letras iguales en la misma columna no presentan diferencias significativas. CT, ST y GE, corresponden a las pruebas de cold test, soak test y germinación estándar, respectivamente.

Los análisis de varianza para velocidad de emergencia (VE), mostró efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.01$ ) para genotipos (G); mientras que, el resto de los factores estudiados y la interacción entre ellos no presentaron diferencias significativas para esta variable. Por otro lado, para porcentaje de emergencia (PE) hubo diferencia significativa ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos (G) y significativa al 0.05 de probabilidad para la forma de semilla (FS), el resto de los factores de estudio no presentaron significancia estadística. Por otro lado, sólo la interacción de los factores humedad de cosecha por tasa de secado (HC\*TS) presentó significancia estadística ( $P \leq 0.05$ ) para esta variable. Para altura de plántula (APL), se presentó significancia estadística ( $P \leq 0.01$ ) únicamente para genotipos (Tabla 5.).

El coeficiente de variación (C.V), fue de 34.9 % para velocidad de emergencia (VE), 13.44 % para porcentaje de emergencia (PE) y 22.5 % para altura de plántula (APL).

La calidad de la semilla está definida por la suma de atributos genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios, los cuales determinan su germinación, vigor y longevidad (Goggi et al., 2008; Popinigis, 1985). El uso de semillas con alta calidad favorece la mayor productividad en campo (FinchSavage, 1994; Munamava et al., 2004), debido a que un establecimiento deficiente del cultivo en campo se traduce en rendimiento bajo en la mayoría de las especies cultivadas (Marcos-Filho, 2005). Por

tanto, es importante investigar el efecto genético y su relación con la calidad de la semilla (TeKrony y Egli, 1991).

A pesar de que el maíz es un cultivo ampliamente estudiado, existe poco interés por involucrar los efectos genéticos en la calidad de la semilla y vigor inicial de plántula (Moterle *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013, Cervantes *et al.*, 2016). En este sentido, Vergara *et al.* (2005) recomiendan conocer el comportamiento genético de las características de importancia económica de cada población de maíz, con el propósito de elegir la estrategia de selección y obtener híbridos con mayores ventajas agronómicas.

Tabla 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor de plántula en cama de arena en híbridos de cruza simple de maíz.

<b>F.V</b>	<b>G.L</b>	<b>VE</b>	<b>PE</b>	<b>APL</b>
<b>Genotipos (G)</b>	1	2892.83**	3854.67**	82.84**
<b>Hc</b>	4	108.75 <sup>ns</sup>	143.95 <sup>ns</sup>	1.64 <sup>ns</sup>
<b>Ts</b>	1	0.70 <sup>ns</sup>	22.50 <sup>ns</sup>	0.034 <sup>ns</sup>
<b>Fs</b>	1	38.22 <sup>ns</sup>	504.100*	0.200 <sup>ns</sup>
<b>Tam</b>	4	2.12 <sup>ns</sup>	40.25 <sup>ns</sup>	0.37 <sup>ns</sup>
<b>G*hc</b>	4	92.73 <sup>ns</sup>	135.17 <sup>ns</sup>	3.06 <sup>ns</sup>
<b>G*ts</b>	1	14.84 <sup>ns</sup>	266.94 <sup>ns</sup>	0.36 <sup>ns</sup>
<b>G*fs</b>	1	1.10 <sup>ns</sup>	240.10 <sup>ns</sup>	0.47 <sup>ns</sup>
<b>G*tam</b>	4	3.60 <sup>ns</sup>	28.52 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>
<b>hc*ts</b>	4	54.40 <sup>ns</sup>	352.22*	0.65 <sup>ns</sup>
<b>hc*fs</b>	4	19.44 <sup>ns</sup>	95.26 <sup>ns</sup>	0.43 <sup>ns</sup>
<b>hc*tam</b>	16	12.59 <sup>ns</sup>	102.18 <sup>ns</sup>	1.09 <sup>ns</sup>
<b>ts*tam</b>	5	1.48 <sup>ns</sup>	36.15 <sup>ns</sup>	0.35 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*ts</b>	4	65.20 <sup>ns</sup>	235.88 <sup>ns</sup>	0.57 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*fs</b>	4	14.64 <sup>ns</sup>	75.15 <sup>ns</sup>	0.79 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*tam</b>	16	5.98 <sup>ns</sup>	70.75 <sup>ns</sup>	0.40 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*ts*fs</b>	9	14.10 <sup>ns</sup>	96.98 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*ts*fs*tam</b>	36	8.77 <sup>ns</sup>	73.25 <sup>ns</sup>	0.48 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	240	47.29	118.30	2.79
<b>C.V (%)</b>	----	34.95	13.44	22.05

\*, \*\* Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. gen= genotipo, hc= humedad de cosecha, ts= tasa de secado, fs= Forma de la semilla, tam= tamaño de semilla. VE, PE, APL, corresponden a la velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, altura de plántula.

En la Tabla 6. se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza, donde se observa efecto significativo ( $P \leq 0.01$ ) para genotipos (G) en peso verde del vástago (PVV), peso seco del vástago (PSV), índice de vigor I y II. La humedad de cosecha (HC) sólo afectó estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) el peso seco de vástago (PSV); el resto de los factores y la interacción entre ellos no presentaron efecto en ninguna característica estudiada.

El coeficiente de variación (C.V) fue de 28.4 % peso verde del vástago (PVV), 25.30 % en peso seco del vástago, 25.85 % para el índice de vigor I y de 30.93 % para índice de vigor II; estos porcentajes se consideran aceptables.

Tabla 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor inicial de planta en camas de arena en dos híbridos de cruce simple de maíz.

F.V	G.L	PVV	PSV	IVI	IVII
<b>Genotipos (G)</b>	1	41.75**	0.42**	1360183.5**	5902.47**
<b>HC</b>	4	2.13 <sup>ns</sup>	0.056**	22690.05 <sup>ns</sup>	227.24 <sup>ns</sup>
<b>TS</b>	1	0.021 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	6.83 <sup>ns</sup>	4.64 <sup>ns</sup>
<b>FS</b>	1	0.018 <sup>ns</sup>	0.00002 <sup>ns</sup>	32680.27 <sup>ns</sup>	28.95 <sup>ns</sup>
<b>Tam</b>	4	0.15 <sup>ns</sup>	0.004 <sup>ns</sup>	1113.01 <sup>ns</sup>	23.69 <sup>ns</sup>
<b>G*hc</b>	4	2.74 <sup>ns</sup>	0.036**	10224.43 <sup>ns</sup>	226.15 <sup>ns</sup>
<b>G*ts</b>	1	0.56 <sup>ns</sup>	0.0046 <sup>ns</sup>	28118.27 <sup>ns</sup>	214.21 <sup>ns</sup>
<b>G*fs</b>	1	0.23 <sup>ns</sup>	0.0002 <sup>ns</sup>	27019.20 <sup>ns</sup>	1.21 <sup>ns</sup>
<b>G*tam</b>	4	0.21 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	7912.66 <sup>ns</sup>	10.89 <sup>ns</sup>
<b>hc*ts</b>	4	0.73 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>ns</sup>	47075.59 <sup>ns</sup>	247.83*
<b>hc*fs</b>	4	0.83 <sup>ns</sup>	0.0098 <sup>ns</sup>	12044.18 <sup>ns</sup>	105.08 <sup>ns</sup>
<b>hc*tam</b>	16	0.34 <sup>ns</sup>	0.0066 <sup>ns</sup>	21608.78 <sup>ns</sup>	83.98 <sup>ns</sup>
<b>ts*tam</b>	5	0.14 <sup>ns</sup>	0.0046 <sup>ns</sup>	8860.29 <sup>ns</sup>	61.54 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*ts</b>	4	0.49 <sup>ns</sup>	0.016 <sup>ns</sup>	29704.54 <sup>ns</sup>	160.62 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*fs</b>	4	1.18 <sup>ns</sup>	0.013 <sup>ns</sup>	6969.23 <sup>ns</sup>	122.75 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*tam</b>	16	0.19 <sup>ns</sup>	0.0030 <sup>ns</sup>	3275.95 <sup>ns</sup>	28.10 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*ts*fs</b>	9	0.23 <sup>ns</sup>	0.0070 <sup>ns</sup>	8984.47 <sup>ns</sup>	99.31 <sup>ns</sup>
<b>G*hc*ts*fs*tam</b>	36	0.40 <sup>ns</sup>	0.0066 <sup>ns</sup>	10492.80 <sup>ns</sup>	66.73 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	240	1.27	0.0096	25367.90	97.19
<b>C.V (%)</b>	----	28.4	25.30	25.85	30.93

\*, \*\* Significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. gen= genotipo, hc= humedad de cosecha, ts= tasa de secado, fs= Forma de la semilla, tam= tamaño de semilla. PVV, PSV, IVI e IVII, peso verde de vástago, peso seco de vástago, índice de vigor 1 e índice de vigor 2.

En la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para velocidad de emergencia (VE), el genotipo P3289W fue consistente con 22.5 p día<sup>1</sup>;

mientras que el híbrido P3258W sólo presentó 16.8 p día<sup>-1</sup>. Del mismo modo, la cruza simple P3289W destacó con el mayor porcentaje de emergencia (84.1) y las plántulas de mayor longitud a los 15 días después de la siembra.

Con respecto a la humedad de cosecha (HC), sólo afectó la velocidad de emergencia; donde la HC de 32 % presentó el peor comportamiento con sólo 18 p día<sup>-1</sup>. El resto de los factores estudiados no modificó estas características.

Tabla 7. Comparación de medias para caracteres de vigor inicial de plántula en camas de arena en híbridos de cruza simple de maíz.

<b>FACTORES</b>	<b>VE</b> <b>(p día<sup>-1</sup>)</b>	<b>PE</b> <b>(%)</b>	<b>ALP</b> <b>(cm)</b>
<b>GENOTIPOS</b>			
P3289W	22.50 a	84.16 a	8.05 a
P3258W	16.83 b	77.62 b	7.09 b
<b>HUMEDAD DE COSECHA (%)</b>			
22	21.31 a	81.05 a	7.77 a
27	20.26 ab	80.16 a	7.55 a
32	18.02 b	78.88 a	7.40 a
37	19.18 ab	82.41 a	7.67 a
42	19.56 ab	81.94 a	7.47 a
<b>TASA DE SECADO (%)</b>			
4	19.62 a	81.14 a	7.56 a
6	19.71 a	80.64 a	7.58 a
<b>FORMA DE SEMILLA</b>			
BOLA	19.34 a	79.71 a	7.55 a
PLANO	19.99 a	82.07 a	7.59 a
<b>TAMAÑO DE SEMILLA</b>			
PG	20.25 a	83.40 a	7.52 a
BG	19.37 a	79.73 a	7.54 a
PM	19.89 a	81.36 a	7.70 a
BM	19.47 a	79.86 a	7.49 a
PCH	19.84 a	81.46 a	7.57 a
BCH	19.19 a	79.53 a	7.61 a

Letras iguales en la misma columna no presentan diferencias significativas. VE, PE, ALP, corresponden a la velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, altura de plántula.

La comparación de medias para el carácter peso verde del Vástago (PVV), el mejor es el (P3289W) tiene mayor peso en gramos en comparación del (P3258W) cabe mencionar que es el único tratamiento donde se observaron diferencias significativas.



En la parte del peso seco del vástago (PSV), sigue destacando el (P3289W) mostrando que es mejor que el (P3258W) en genotipos (G), en humedad de cosecha (HC), se observa mínima diferencias sobre saliendo la humedad de 27 % a solo un punto de diferencia del de 22 y a dos de 32 % de humedad y en el resto de los tratamientos no se observa diferencias significativas. Para los índices de vigor I, II, (IVI, IVII) se muestran las diferencias en genotipos destacando el (P3289W), en comparación del (P3258W) mientras tanto para los otros tratamientos no se observaron diferencias significativas.

De acuerdo con Cervantes-Ortiz *et al.* (2007) los programas de mejoramiento genético es importante considerar el vigor inicial de la plántula para asegurar la germinación, la emergencia y desarrollo inicial del cultivo. Por otro lado, la ISTA (1995) afirma que los aspectos del comportamiento asociados con el vigor de las semillas incluyen: a) tasa y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento de plántulas; b) comportamiento en el campo, incluyendo la tasa y uniformidad de la emergencia de las plántulas y c) comportamiento después del almacenamiento y transporte, particularmente la disminución de la capacidad de germinación.

De acuerdo con Ferguson (1995), el vigor de las semillas se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas, incluyéndose: 1) cambios en los procesos bioquímicos; 2) la tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas y 3) la germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés.

Tabla 8. Comparación de medias para caracteres de vigor inicial de plántula en camas de arena en híbridos de cruz simple de maíz.

<b>Genotipos</b>	<b>PVV (gr)</b>		<b>PSV (gr)</b>		<b>IVI</b>		<b>IVII</b>	
P3289W	4.31	a	0.42	a	677.60	a	35.91	a
P3258W	3.63	b	0.35	b	554.67	b	27.81	b
<b>HUMEDAD DE COSECHA (%)</b>								
22	4.18	a	0.40	ab	634.36	a	33.98	a
27	4.12	a	0.41	a	604.05	a	33.43	a
32	3.89	a	0.39	abc	593.77	a	31.38	a
37	3.84	a	0.36	bc	632.93	a	30.66	a
42	3.80	a	0.35	c	615.58	a	29.86	a

<b>TASA DE SECADO (%)</b>						
4	3.97	a	0.38	a	616.00	a 31.98 a
6	3.96	a	0.38	a	616.27	a 31.75 a
<b>FORMA DE SEMILLA</b>						
BOLA	3.96	a	0.38	a	606.61	a 31.58 a
PLANO	3.97	a	0.38	a	625.66	a 32.15 a
<b>TAMAÑO DE SEMILLA</b>						
PLANO GRANDE (PG)	3.93	a	0.38	a	628.58	a 32.59 a
BOLA GRANDE (BG)	3.91	a	0.38	a	606.96	a 31.31 a
PLANO MEDIO (PM)	3.97	a	0.39	a	628.45	a 31.93 a
BOLA MEDIA (BM)	3.96	a	0.38	a	602.87	a 30.94 a
PLANO CHICO (PCH)	4.03	a	0.38	a	619.97	a 31.92 a
BOLA CHICA (BCH)	4.01	a	0.40	a	610.00	a 32.48 a

Letras iguales en la misma columna no presentan diferencias significativas. PVV, PSV, IVI e IVII, corresponden al peso verde de vástago, peso seco de vástago, índice de vigor 1 e índice de vigor 2.

## V. CONCLUSIONES

- Para la prueba de germinación estándar el genotipo P3289W tuvo mejor comportamiento en comparación con la cruza P3258W, aunque ambos materiales superaron el porcentaje mínimo establecido por el SNICS (90 %) para considerar un lote de semilla de alta calidad.
- En la prueba de cold test hubo diferencias entre los genotipos; siendo mejor el híbrido P3289W con 88.65 % después de que las semillas fueron sometidas a estrés por bajas temperaturas.
- En el factor humedad de cosecha se observó diferencias entre los niveles evaluados; destacando las humedades de 37 y 42 % con el vigor más alto, superando los 91 % de plántulas vigorosas después de ser sometidas al estrés.
- La tasa de secado de 4 % en 24 horas tuvo la mejor respuesta para vigor a través de la prueba de frío.
- Las semillas grandes (planos y bolas) presentan mejor comportamiento a pruebas de estrés (frío y exceso de humedad) al producir el porcentaje más alto de plantas vigorosas.
- En el vigor inicial de plántula, sólo hubo efecto significativo para genotipos, sobresaliendo la cruza simple P3289W en todas las características.

**VI. LITERATURA CITADA**

- Andrade H., Acevedo C., Parra J., Pineda E. 1996. La dinámica de sistemas como metodología alternativa en modelado económico: un caso de aplicación en producción regional. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 20 p.
- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. Basra, A. S. (ed.) Food Products Press. Preface. New York, USA.
- Basu, R. N. 1994. Seed viability. p.10-12. *In*: Basra, A. S. (ed). Seed Quality: Basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press: An imprint of the Haworth Press, Inc. New York, USA.
- Bilanski, W. K. and Lal, R. 1965. The behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. Transactions of the ASAE. p. 411- 416.
- Cano O, H Tosquy O, M Sierra M, F A Rodriguez M (2001) Fertilización y densidad de población de maíz cultivado bajo condiciones de temporal. Agron. Mesoam. 12:199-203.
- Cervantes-Ortiz, F., G. García-De los Santos, A. Carballo-Carballo, D. Bergvinson, J.L. Crossa, M. Mendoza-Elos y E. Moreno-Martínez. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. Agrocienca. 41: 425–433.
- Cervantes-Ortiz, F., J. Hernández-Esparza, J.A. Rangel-Lucio, E. Andrio-Enríquez, M. Mendoza-Elos, G. Rodríguez-Pérez. 2016. Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. Rev. Fit. Mex. 39(3):259-268.
- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 1995. Principles of seed science and technology. 3rd. ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Coutiño, E.B. (1979). Eliminación de los órganos florales masculinos en maíz. En: Informe de Labores 1979' Campo Agrícola Experimental Centro de Chiapas' Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Ocozocoautla, Chiapas, México. pp: 33-34

- Desai, B. B.; Kotecha, P. M. and Salunkhe, D. K. 1997. Seeds Handbook. Marcel Dekker. New York, USA. p. 475-477, 528-529, 587-588.
- DeVries M., Goggi A. and Moore K. 2007. Determining seed performance of frost-damaged maize seed lots. *Crop Science*. 47(5): 2089-2097.
- Dias, D.C.F. 2001. Maduración de la semilla. *Seed News*. No. Nov-Dic.
- Espinosa C A, A Turrent F, M Tadeo R, N Gómez M, M Sierra M, F Caballero H (2008b) Importancia del uso de semilla de variedades mejoradas y nativas de maíz en Mexico. *In: Desde los Colores del Maíz, Una Agenda Para el Campo Mexicano*. J Luis Seefoo Lujan (ed). El Colegio de Michoacán. pp:233-255.
- FERGUSON, J. An introduction to seed vigour testing. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, 1995, Copenhagen. [Proceedings...] Zurich : International Seed Testing Association, 1995. p. 1-9.
- Finch-Savage W. E. (1994) Influence of seed quality on crop establishment, growth and yield. In: *Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications*. A. S. Basra (ed.). Food Products Press. New York. pp: 361-384. Goggi A. S., P. Caragea, L. Pollak, G. McAndrews, M. DeVries and K. Montgomery (2008) Seed quality assurance in maize breeding programs: tests to explain variations in maize inbreds and populations. *Agronomy Journal* 100:337-343.
- Goggi A. S., López H., Caragea P., *et al.* 2007. Gene flow in maize fields with different local pollen densities. *Int. J. Biometeorol.* 51: 493-503.
- Hampton J. G. 2002. What is seed quality? *Seed Sci. Technol.* 30(1): 1-10.
- Hunter J. L., Tekrony D. M., Miles D. F. and Egli D. B. 1991. Corn seed maturity indicators and their relationship to uptake of carbon-14 assimilate. *Crop Sciences*. 31(1): 1309-1313.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2005. International rules for seed testing. *Seed Sci. Tech.* 27 (suppl).
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (Zurich, Suíça). Handbook of vigor test methods. 2. ed. Zurich, 1995. 117 p.

- Ireland D., Wilson D., Westgate M., Burris J. and Lauer M. 2006. Managing reproductive isolation in hybrid seed corn production. *Crop Science* 46(1): 1445-1455.
- Kelly A., F. 1988. Seed production of agricultural crops. Longman Scientific and Technical-John Wiley and Sons. New York, USA. 227 p.
- King D. L. and Riddolls A. W. 1960. Damage to wheat seed and pea seed in threshing. *J. Agr. Eng. Res.* 7(2):90.
- Knittle K. and Burris J. 1976. Effect of kernel maturation on subsequent seedling vigor in maize. *Crop Science.* 16(1): 851-855.
- Liu J., Fu Z., Xie H., Hu Y., Liu Z. and Duan L. 2011. Identification of QTLs for maize seed vigor at three stages of seed maturity using a RIL population. *Euphytica.* 178(1): 127-135.
- Luna Mena B M, M Hinojosa R, O J Ayala G, F Castillo G, J A Mejía C (2012) Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en Mexico. *Rev. Fitotec. Mex.* 35:1- 7.
- Marcos-Filho J. M. (2005) *Fisiología de Sementes de Plantas Cultivadas.* Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes. Piracicaba, Brasil. 546 p.
- Martínez L C, L E Mendoza O, D S García, C A Mendoza C, A Martínez G (2005) Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:127-133.
- Martínez M. L., Labuckas D. O., Lamarque A. L., Maestri D. M. 2010. Walnut (*Juglans regia* L.): genetic resources, chemistry, by-products. *J. Sci. Food Agric.*, 90(12): 1959-1967.
- McDonald M. B. Jr. 1980. Assessment of seed quality. *HortScience.* 15(6): 784-788.
- McDonald, M.B; Copeland, L.O. 1997. seed production principles and practices. Chapman & Hall. New York, Usa. 749 p.
- Mesquita, C. M. and Hanna, M. A. 1993. Soybean threshing mechanics: II Impact. *Amer. Soc. Agr. Eng.* 36:281-284.

- Milosevic T., Milosevic N. 2010. The effect of organic fertilizer, composite NPK and elinoptilolite on changes in the chemical composition of degraded vertisol in Western Serbia. *Carpath J. Earth Env. Sci.* 5, 25-32.
- Moes, J. and Vyn, T. J. 1988. Management effects on kernel breakage susceptibility of early maturing corn hybrids. *Agron. J.* 80: 699-704.
- Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers. 2nd. ed. New York, USA. p. 1-8.
- Moterle L. M., A. L. Braccini, C. A. Scapim, R. J. B. Pinto, L. S. A. Goncalves, A. T. Do Amaral Jr. and T. R. C. Silva (2011) Combining ability of tropical maize lines for seed quality and agronomic traits. *Genetics and Molecular Research* 10:2268-2278. Munamava M. R., A. S. Goggi and L. Pollak (2004) Seed quality of maize inbred lines with different composition and genetic backgrounds. *Crop Science* 44:542-548. Popinigis F. (1985) *Fisiologia da Semente*. 2nd ed. Agiplan. Brasilia. 289 p.
- Multon, J. L.; Bizot, H.; Doublier, J. L.; Lefebvre, J. and Abbott, D. C. 1981. Effect of water activity and sorption hysteresis on rheological behavior of wheat kernels, p.179-198. *In*: L. B. Rockland and G. F. Stewart (Eds.) *Water activity: influences on food quality*. New York: Academic Press.
- Paliwal R. L. 2001. *FAO: El maíz en los trópicos, mejoramiento y producción*. [En línea]  
Disponible en: [www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm](http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm)  
[Último acceso: Noviembre, 2016].
- Peres, W.B y Peske, S. T. 2016. Secado de semillas. *Seed News*. No. Nov-Dic.
- Peterson, J. M.; Perdomo, J. A. and Burris, J. S. 1995. Influence of kernel position, mechanical damage and controlled deterioration on estimates of hybrid maize seed quality. *Seed Sci. & Technol.* 23:647- 657.
- Stamp P, S Chowchong, M Menzi, U Weingartner, O Kaeser (2000) Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop. Sci.* 40:1586-1587.
- TeKrony D. M. and D. B. Egli (1991) Relationship of seed vigor to crop yield: a review. *Crop Science* 31:816-822.

## LITERATURA CITADA

- Tekrony D. M. and Hunter J. L. 1995. Effect of seed maturation and genotype on seed vigor in maize. *Crop Science*. 35(1): 857-862.
- Vergara A. N., S. A. Rodríguez H. y H. S. Córdova O. (2005) Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea mays*) tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 16:137-143.





TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CEBADA SOMETIDA A DISTINTOS NIVELES DE  
HUMEDAD INOCULADA CON HONGOS MICORRIZÍCOS ARBUSCULARES**

**QUE PRESENTA**

**MANUEL JERONIMO ARRIAGA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. JUAN CARLOS RAYA PÉREZ**

**CO-DIRECTOR: DR. OSCAR ARATH GRAGEDA CABRERA**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO.**

**DICIEMBRE 2018**

La tesis “**PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE CEBADA SOMETIDA A DISTINTOS NIVELES DE HUMEDAD INOCULADA CON HONGOS MICORRIZÍCOS ARBUSCULARES**”, fue realizada por el alumno **Manuel Jeronimo Arriaga**, bajo la dirección del Dr. Juan Carlos Raya Pérez y Co-dirección del Dr. Oscar Arath Grageda Cabrera, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Juan Carlos Raya Pérez**

**Cédula: 4798249**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Oscar Arath Grageda Cabrera**

**Cédula: 1101261**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. César Leobardo Aguirre Mancilla**

**Cédula: 4798239**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**M.C. Sarahyt González Figueroa**

**Cédula: 9379336**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por mantenerme fuerte en momentos de muchos desafíos que la vida muestra en cada paso y mantenerme perseverante, así como optimista en los retos que he enfrentado.

### **A mi Madre**

Por ser ella quien me empujó al camino del conocimiento, haciéndome ver que puedo alcanzar todo lo me proponga: TE AMO.

### **A Janeth Itzel**

Por ser ella que en un momento dio más sentido a todo mi esfuerzo y punto clave de buscar cada día una superación al ser un ejemplo para ella.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al CONACYT** por el apoyo económico que me brindó en la realización de mis estudios de posgrado.

**Al INIFAP** y a la Coordinación de Posgrado del Instituto Tecnológico de Roque.

A mis padres y hermanos José, Carmen y Humberto siempre motivándome en cada objetivo que se genera en mi persona.

A Itzel y Ximena mis niñas geniales que me han enseñando no olvidarme de la esencia de la libertad y alegría del día a día.

A Sarahyt, por su valiosa orientación haciendo trabajar de la forma correcta, que me transmitió información profesional sin medida.

Al Dr. Grageda que con su manera de exigencia uno valora el tiempo de lograr los objetivos propuestos, en la orientación y también el transmitir conocimientos.

A los Doctores del ITROQUE, Raya-Pérez, Leobardo-Mancilla, que tuvieron la confianza en darme la oportunidad de poder estudiar el posgrado y con esmero el dedicar su tiempo a resolver cuestionamientos en lo profesional.

A mis amigos que estuvieron justo en el momento indicado mostrando apoyo directa e indirectamente: M. Carmen Martínez Rico, Adriana Basilio Apolinar, Miguel A. Noriega Carmona, Leticia Rodríguez Zárate, Mauricio Lino Miranda, Irma Ledesma Caballero y Job Amigón Juárez.

A los amigos de laboratorio del INIFAP (Susi Preciado, Rose Ceballos, Rodrigo y la Sra. Mari).

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ix</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
<b>III. HIPÓTESIS .....</b>	<b>4</b>
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>5</b>
4.1. Origen de la Cebada.....	5
4.1.1. Producción mundial de cebada .....	5
4.1.2. Producción nacional de semilla de cebada maltera .....	6
4.1.3. Cebada variedad Esperanza .....	7
4.2. Calidad de semilla .....	8
4.2.1. Pruebas físicas de calidad de la semilla.....	9
4.2.1. Pruebas fisiológicas de calidad de semilla .....	11
4.3. Micorrizas .....	14
4.3.1. Origen de la micorriza .....	14
4.3.2. Diversificación y tipos actuales de micorrizas .....	16
4.3.3. Interacción HMA con la planta .....	19
4.3.4. Glomalina .....	20
4.4. Ciclos biogeoquímicos en los sistemas agrícolas .....	22
4.4.1. Ciclo del carbono.....	22
4.4.2. Ciclo del nitrógeno.....	23
4.5. Biofertilizante .....	25
4.5.1. Papel del biofertilizante en la fotosíntesis .....	26
4.5.2. Efecto de los biofertilizantes en el ecosistema .....	26
4.6. Panorama del agua .....	28
4.6.1. Problemática del agua en la agricultura .....	28
4.5.2. Contaminación de los mantos acuíferos .....	29
4.7. Sequía .....	29

4.7.1. Estrés hídrico y respuestas de las plantas .....	31
4.7.2. Estrés hídrico y micorrización .....	36
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
5.1. Sitio experimental .....	38
5.2. Diseño experimental .....	38
5.3. Variedad de cebada.....	38
5.4. Dosis y fuente de fertilización .....	39
5.5. Manejo agronómico .....	39
5.6. Cálculo de nivel de humedad en sustrato para la aplicación de riegos .....	40
5.7. Instalación del experimento .....	40
5.8. Desinfestación de la semilla .....	41
5.9. Selección de los biofertilizantes.....	41
5.10. Inoculación de semilla.....	41
5.11 Tratamientos y distribución .....	41
5.12. Análisis estadístico .....	43
5.13. Desglose del modelo estadístico .....	44
5.14. Ecuación de Tukey .....	44
5.15. Modelo estadístico.....	45
5.16. Variables fisiológicas .....	45
5.16.1. Índice de clorofila .....	45
5.16.2 Longitud de la parte aerea .....	45
5.17. Variables de componentes de rendimiento.....	46
5.17.1. Peso seco de biomasa (PSB) .....	46
5.17.2. Peso seco de la semilla.....	46
5.17.3. Índice de cosecha (IC) .....	46
5.17.4. Número de espigas m <sup>-2</sup> .....	46
5.17.5. Número de semillas m <sup>-2</sup> .....	46
5.18. Calidad física .....	47
5.18.1. Germinación estándar (GE) .....	47
5.18.2. Peso de mil semillas (PMS) .....	47
5.18.3 Peso hectolítrico (PHL) .....	47
5.19. Calidad fisiológica.....	47
5.19.1. Vigor inicial de plántula .....	47
5.19.2. Peso seco de la parte área (PSPA) y longitud de plántula (LP) .....	48
5.19.3. Índice de velocidad de emergencia (IVE).....	48

5.19.4. Porcentaje de emergencia (%E) .....	48
5.19.5. Índice de emergencia (IE) .....	48
5.19.6. Longitud de la parte aérea (LPAE) .....	48
5.19.7. Peso fresco de plántula (PFP) .....	48
5.19.8. Peso seco de plántula (PSP) .....	49
5.20. Proteína del suelo relacionada a glomalina (PSRG).....	49
5.20.1. PSRG fácilmente extraíble (PSRG <sub>FE</sub> ).....	49
5.20.2. PSRG total (PSRG <sub>T</sub> ) .....	49
5.20.3. PSRG difícilmente extraíble (GRSP <sub>DE</sub> ) .....	50
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
6.1. ALTURA, CLOROFILA Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN CEBADA MALTERA MICORRÍZADA SOMETIDA A DIFERENTE NÚMERO DE RIEGOS....	51
6.1.1. Conclusión .....	59
6.2. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLA EN CEBADA MALTERA MICORRÍZADA SOMETIDA A DIFERENTE NÚMERO DE RIEGOS.....	60
6.2.1. Calidad física de tres parámetros en semilla.....	60
6.2.2. Calidad fisiológica de semilla .....	63
6.2.3. Conclusión .....	70
6.3. CUANTIFICACIÓN DE GLOMALINA EN SUELO EN CEBADA MALTERA MICORRÍZADA SOMETIDA A DIFERENTE NÚMERO DE RIEGOS.....	71
6.3.1 Conclusión .....	79
<b>VII. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>80</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 5.1.Descripción de tratamientos.....	42
Cuadro 5.2. Fuentes de variación y grados de libertad de la evaluación de la inoculación con hongos micorrizicos en la producción de semilla de cebada sometida a distinto número de riegos .....	44
Cuadro 5.3. Fuentes de variación y grados de libertad de la evaluación de contenido de PSRG* en suelo de la inoculación con hongos micorrizicos en la producción de semilla de cebada sometida a distinto número de riegos.....	44
Cuadro 6.1. Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de las variables evaluadas en el cultivo de cebada micorrizada sometida a diferentes números de riego, evaluadas a nivel invernadero. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	53
Cuadro 6.2. Comparación de medias (Tukey) de altura, clorofila y componentes de rendimiento, en el factor fertilización. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	54
Cuadro 6.4. Interacción del factor fertilización y riegos aplicados en altura, clorofila y componentes de rendimiento en el cultivo de cebada materia. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	58
Cuadro 6.5.Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de las variables evaluadas en calidad de física de tres parámetros en semilla de cebada micorrizada sometida a diferentes números de riego, evaluadas a nivel laboratorio. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	60
Cuadro 6.7. Comparación de medias (Tukey) de calidad física de tres parámetros en semilla de cebada materia para el factor riegos aplicados. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	61
Cuadro 6.8. Interacción del factor fertilización y riegos aplicados mediante en la calidad física de tres parámetros en semilla de cebada materia. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	63
Cuadro 6.9. Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de las variables evaluadas en calidad fisiológica de semilla de cebada micorrizada sometida a diferentes números de riego, evaluadas a nivel laboratorio. INIFAP-CEBAJ,2017.....	65



Cuadro 6.10. Comparación de medias (Tukey) de calidad fisiológica de semilla de cebada maltera para el factor fertilización. INIFAP-CEBAJ,2017.....	66
Cuadro 6.11. Comparación de medias (Tukey) de calidad fisiológica de semilla de cebada maltera en el factor riegos aplicados. INIFAP-CEBAJ,2017.....	66
Cuadro 6.12. Interacción del factor fertilización y riegos aplicados en la calidad fisiológica de semilla de cebada maltera. INIFAP-CEBAJ,2017.....	69
Cuadro 6.13. Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de las variables evaluadas en cuantificación de PSRG en suelo cultivado cebada micorrizada sometida a diferentes números de riego, evaluadas a nivel laboratorio, INIFAP-CEBAJ,2017.....	71
Cuadro 6.14. Comparación de medias (Tukey) en la cuantificación de PSRG en el factor fertilización. INIFAP-CEBAJ,2017.....	72
Cuadro 6.15. Comparación de medias (tukey) en la cuantificación de PSRG en el factor riegos aplicados. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	72
Cuadro 6.16. Comparación de medias (tukey) en la cuantificación de PSRG en el factor profundidad. INIFAP-CEBAJ,2017.....	73
Cuadro 6.17. Interacción del factor fertilización y riegos aplicados en la cuantificación de PSRG. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	73
Cuadro 6.18. Interacción del factor fertilización y profundidad en la cuantificación de PSRG. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	74
Cuadro 6.19. Interacción del factor riegos aplicados y profundidad en la cuantificación de PSRG. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	75
Cuadro 6.20. Interacción del factor fertilización, riegos aplicados y profundidad en la cuantificación de PSRG. INIFAP-CEBAJ, 2017.....	78

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 5.1. Distribución de las unidades experimentales en camas en condiciones de invernadero.....43

Figura 5.2. Dimensión de las unidades experimentales..... 43

Figura 6.1. Altura en los estadios fenológicos de amacollamiento, espigamiento y formación de semilla en el cultivo de cebada esperanza.....51

## RESUMEN

Es necesaria la implementación de alternativas viables que contribuyan a la optimización de los recursos en la producción agrícola, tales como agua y fertilización. Se estableció un experimento en condiciones de invernadero en el Campo Experimental Bajío del INIFAP, Celaya, Guanajuato, México, para evaluar el efecto de dos cepas de hongos micorrízicos arbusculares sobre la tolerancia a diferentes cantidades de riego en cebada maltera variedad Esperanza; se utilizó un diseño experimental bifactorial con arreglo completamente al azar con cuatro repeticiones, los factores fueron: (A) fertilización-inoculación [ i) 100% fertilizado sin micorriza (Testigo), ii) 50% fertilizado sin micorriza, iii) inoculación con micorriza INIFAP y fertilizado al 50% y iv) inoculación con micorriza Cepa D1 y fertilizado al 50%]; (B) aplicación de diferentes riegos (4, 3, 2 y 1). Las variables evaluadas fueron: Altura en formación de semilla (AFS), índice de clorofila en formación de semilla (CFS), componentes de rendimiento, calidad de semilla, vigor de plántula y contenido de proteínas del suelo relacionadas a glomalina (PSRG). El ANOVA mostró que en las variables AFS y CFS, existió diferencia significativa tanto en los efectos simples como en la interacción. Con respecto a los componentes de rendimiento, para peso de semilla (PS) e índice de cosecha (IC), los tratamientos 50% fertilizados e inoculados con micorriza INIFAP y Cepa D1 con 2 y 4 riegos igualaron estadísticamente al testigo 100% fertilizado. En calidad de semilla, peso de mil semillas (PMS), peso hectolítrico (PHL) y germinación estándar (GE), los tratamientos inoculados con micorriza INIFAP y la Cepa D1 con 2 riegos mostraron el mismo comportamiento estadístico que el testigo 100% fertilizado. En la variable velocidad de emergencia (VE), los tratamientos 100% fertilizados con 1, 2, 3 y 4 riegos; 50% fertilizados con 3 y 4 riegos; 50% fertilizados e inoculados con micorriza INIFAP y la Cepa D1 con 2, 3 y 4 riegos, fueron estadísticamente iguales; en índice de vigor I (V-I) y II (V-II), los tratamientos inoculados con micorriza INIFAP y Cepa D1 con 2, 3 y 4 riegos, igualaron estadísticamente al testigo 100% fertilizado. El contenido de PSRG total aumentó en 40% en los tratamientos inoculados,

independientemente de los riegos aplicados. La inoculación de cebada con hongos micorrizcos arbusculares contribuyó a mantener el rendimiento y la calidad de semilla cuando la fertilización disminuyó en un 50%; sin embargo, el número de riegos afectó directamente estas dos cualidades aun y cuando se inoculó.

Palabras clave: Uso eficiente de agua, biofertilizante, nutrición vegetal.

## SUMMARY

It is necessary to implement viable alternatives that contribute to the optimization of resources in agricultural production, such as water and fertilization. An experiment was established under greenhouse conditions in the Bajío Experimental Field of the INIFAP, Celaya, Guanajuato, Mexico, to evaluate the effect of two strains of arbuscular mycorrhizal fungi on the tolerance to different amounts of irrigation in malting barley variety Esperanza; a bifactorial experimental design with a completely random arrangement with four repetitions was used, the factors were: (A) fertilization-inoculation [i) 100% fertilized without mycorrhiza (Control), ii) 50% fertilized without mycorrhiza, iii) inoculation with mycorrhiza INIFAP and fertilized at 50% and iv) inoculation with mycorrhiza Cepa D1 and fertilized at 50%]; (B) application of different risks (4, 3, 2 and 1). The variables evaluated were: Height in seed formation (HSF), chlorophyll index in seed formation (CSF), yield components, seed quality, seedling vigor and soil protein content related to glomalin (SPRG). The ANOVA showed that in the AFS and CFS variables, there was a significant difference both in the simple effects and in the interaction. With respect to yield components, for seed weight (SW) and harvest index (HI), 50% fertilized treatments inoculated with INIFAP mycorrhiza and D1 strain with 2 and 4 irrigations statistically matched the 100% fertilized control. As seed, weight of one thousand seeds (OMP), hectolitre weight (HW) and standard germination (SG), the treatments inoculated with mycorrhiza INIFAP and Cepa D1 with 2 irrigations showed the same statistical behavior as the control 100% fertilized. In the variable emergency speed (ES), treatments 100% fertilized with 1, 2, 3 and 4 irrigations; 50% fertilized with 3 and 4 waterings; 50% Fertilized and inoculated with mycorrhiza INIFAP and Strain D1 with 2, 3 and 4 irrigations, were statistically equal; in vigor index I (V-I) and II (V-II), the treatments inoculated with mycorrhiza INIFAP and Cepa D1 with 2, 3 and 4 irrigations, matched statistically the control 100% fertilized. The total SPRG content increased by 40% in the inoculated treatments, independently of the irrigations applied. The inoculation of barley with arbuscular mycorrhizal fungi contributed to maintain yield and

seed quality when fertilization decreased by 50%; however, the number of risks directly affected these two qualities even when inoculated.

Keywords: Efficient use of water, biofertilizer, vegetable nutrition

## I. INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático traen como consecuencia una serie de impactos a escala global, tales como la disponibilidad de agua (IPCC, 2007; Stern, 2006); además de posibles incrementos de los eventos meteorológicos extremos, principalmente sequías. Dichos factores afectan a la agricultura, principalmente por las irregularidades en la precipitación pluvial ocasionando vulnerabilidad a la producción (Crimmins *et al.*, 2011).

Se estiman que para el año 2050 la producción mundial de alimentos tendrá que aumentar en un 70% (FAO, 2006; OECD, 2009; SIWI, 2004) y los requerimientos de agua duplicarán las necesidades actuales para el 2025; el impacto más agudo que ha tenido México es el decremento en la producción por las consecuencias de la sequía que se ha presentado durante el año agrícola 2011, considerada la más grave en las últimas siete décadas (Ortega y Velasco, 2013).

La cebada ocupa el cuarto lugar en términos de área de siembra en el mundo y se utiliza principalmente como materia prima para la elaboración de la cerveza y los piensos (Wu *et al.*, 2015). En México, el grano de cebada se usa principalmente como materia prima para la elaboración de cerveza (Pérez-Ruiz *et al.*, 2016). La superficie dedicada al cultivo de cebada es muy variable, anualmente se siembran alrededor de 350,000 ha. La producción se encuentra concentrada en cinco estados: Guanajuato (33.9%), Hidalgo (27.3%), Tlaxcala (14.6%), Estado de México (7.9%) y Puebla (6.7%). El promedio anual de producción en riego es de 218,051 t y en temporal de 372,569 t. Guanajuato es el estado que produce el 94.1% en modalidad de riego en tanto que Hidalgo produce el 97.3% de temporal (Grageda-Cabrera *et al.*, 2014). El Bajío es la principal región de producción de cebada maltera en modalidad de riego, en el ciclo otoño-invierno el rendimiento en el año 2015 fue de 4.64 t ha<sup>-1</sup>, muy por debajo del rendimiento del año 2014 donde se registró 5.02 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2014).

En El Bajío Guanajuatense la cebada se produce bajo condiciones de riego en una superficie superior a 54 mil ha (SIAP, 2014). Esta región funciona como proveedora de semilla para la distribución en los estados productores de grano y se caracteriza por la obtención de altos rendimientos durante el ciclo otoño-invierno (Steffen y Echanover, 2005), los elevados rendimientos vienen acompañados del consumo de aguas subterráneas, de los cuales 76% son destinados para las actividades agrícolas (Acevedo-Torres, 2004). Entre los principales problemas que afectan la producción de cebada en El Bajío está la escasez de agua; en esta región el balance hídrico subterráneo presenta un déficit de más de 900 millones m<sup>3</sup>, debido a una sobreexplotación del acuífero que ocasiona un abatimiento del manto freático de 3 a 6 m año por año (Arreola-Torres *et al.*, 2006).

El déficit hídrico induce sequía y salinidad, provocando los principales tipos de estrés abiótico, los cuales determinan la distribución de la vegetación global y las limitaciones de productividad en el sector agrícola (Lin *et al.*, 2006). Las plantas son especialmente sensibles al déficit de agua durante la etapa reproductiva temprana, lo que provoca la pérdida de rendimiento significativa en la producción y los efectos perjudiciales sobre la calidad de semilla (Ahmadi y Baker, 2001; Balla *et al.*, 2011). El nivel de sensibilidad al déficit hídrico se presenta en todas las etapas del desarrollo de la planta, aunque en cebada existen varias que son críticas, los cuales involucran la etapa de germinación, iniciación floral, la polinización y la etapa más crítica se localiza durante el llenado de granos (Ramírez-Novoa *et al.*, 2014).

La problemática del déficit hídrico en relación directa con el cultivo de cebada ha expuesto la necesidad de implementar alternativas para el aprovechamiento del agua utilizando fuentes viables reproducibles y sustentables, ya que semillas y granos de buena calidad permiten sustentar las actividades con fines agrícolas, mejorando la producción en términos de calidad y rentabilidad; la inoculación con hongos micorrizales arbusculares (HMA) en condiciones limitantes de agua se considera una alternativa para incrementar el crecimiento, sobrevivencia y rendimiento.



Los HMA son de importancia agrícola y ecológica debido a que mejoran las relaciones hídricas de la planta en condiciones de estrés (Auge *et al.*, 2003). La mitigación del efecto negativo del déficit de agua por la micorrización es resultado de modificaciones de los balances hídrico (transpiración y uso eficiente del agua) que hacen más competitiva a las plantas en zonas donde hay escasez de nutrimentos y agua (Requena *et al.*, 1996), ayudan a incrementar la adquisición de nutrimentos que no están disponibles para las plantas, principalmente fósforo y nitrógeno (Auge *et al.*, 2003).

Debido a que cada vez es más escasa la disponibilidad de agua en El Bajío Guanajuatense, es importante realizar investigaciones que permitan comprender los efectos debido al déficit hídrico y cómo mitigarlo con técnicas o alternativas sustentables sin disminuir la calidad y el rendimiento en el cultivo de cebada; por lo mencionado anteriormente, es necesario generar conocimiento con respecto a la utilización de inoculantes como estrategias agronómicas para reducir la dosis de fertilización y/o los riegos aplicados sin afectar los rendimientos o la calidad de semilla en el cultivo de cebada.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de los HMA sobre la tolerancia al déficit hídrico en la producción de cebada maltera.

### 2.2. Objetivos específicos

Evaluar el comportamiento fisiológico y de rendimiento en el cultivo de cebada maltera micorrizada sometida a déficit hídrico.

Evaluar la calidad física y fisiológica de semilla de cebada maltera micorrizada sometida a déficit hídrico.

Cuantificar la PSRG en suelos con diferentes niveles de déficit hídrico en el cultivo de cebada maltera micorrizados.

## III. HIPÓTESIS

El uso de HMA como inoculantes en la producción de semilla de cebada reduce la dosis de fertilización y mitiga los daños ocasionados por déficit hídrico sin afectar el rendimiento ni la calidad de la semilla.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Origen de la Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es uno de los cultivos precursores de la agricultura del occidente, la evidencia arqueológica alude la existencia de cebada en Egipto a lo largo del río Nilo desde hace 17,000 años (Badr *et al.*, 2000) e indican que fue domesticada alrededor de 8000 a.C. (Nesbitt y Samuel, 1996). La progenie silvestre de la planta se conoce como *Hordeum spontaneum*. La nomenclatura tradicional, que considera taxones separados de *H. spontaneum* y *H. vulgare* son morfológicamente similares, la forma cultivada que tiene hojas más anchas, tallo más corto, aristas y raquis duro, una espiga más corta y más gruesa, así como de los granos más grandes (Nevo, 1992).

La cebada tiene uno de los rangos de adaptación más extensos de todas las especies cultivadas. Actualmente se cultiva en un área de 55 millones de hectáreas; en regiones fértiles o marginales; desde el nivel del mar hasta los 4500 m de altitud en el Himalaya; desde países tropicales como Colombia hasta zonas cercanas al Círculo Polar Ártico en Norteamérica y Europa (Langridge y Barr, 2003). Se ha llegado a esta situación a través de la modificación de los patrones de desarrollo y el control del momento de la floración por medio de la selección humana, favoreciendo la producción en cada ambiente.

#### 4.1.1. Producción mundial de cebada

La cebada ocupa el cuarto lugar en importancia en el mundo después del trigo (215 millones de ha), arroz (155 millones de ha) y maíz (139 millones de ha) (Langridge y Barr, 2003). González- González *et al.* (2016), mencionan que en el año 2013 en el mundo se sembraron más de 49 millones de hectáreas, con un rendimiento medio de

2.9 t ha<sup>-1</sup>. Por su gran adaptación, inclusive a situaciones y ecosistemas extremos, es un cultivo ampliamente distribuido por todo el planeta (Poehlman, 1985); alrededor de 89 países producen este cereal, desde regiones subtropicales (África, Brasil), hasta zonas frías (Noruega, Alaska). No obstante su amplia distribución, su producción se concentra en la Unión Europea, ocupando el primer lugar como productor de cebada con el 46.1%; en conjunto con Rusia, Canadá, Australia y Ucrania representan el 73% de la producción mundial.

Por países, el 50% de la producción mundial se concentra en China, Estados Unidos de América, Alemania y Brasil con 18.5%, 17.7%, 8% y 5%, respectivamente. De la producción total, se estima que un 25% se destina a la producción de malta, materia prima para la elaboración de cerveza y el 75% para la alimentación animal, mientras que sólo el 2% se utiliza directamente para el consumo humano; pese a su gran potencial por su contenido de beta-glucanos, su utilización en la alimentación humana es limitado (Sullivan *et al.*, 2013; Newton *et al.*, 2011).

#### **4.1.2. Producción nacional de semilla de cebada maltera**

De acuerdo con el SIAP, durante el ciclo agrícola 2013 en México fueron sembradas 355 782 ha de cebada, de las cuales 320 946 ha correspondieron a cebada maltera, 33 491 ha a cebada forrajera y 1345 ha destinadas para producción de semilla (González-González *et al.*, 2016).

En México, el cultivo de cebada maltera ocupa una superficie superior a las 300 mil ha al año. Una cuarta parte de esta superficie se siembra en condiciones de riego. En la región de "El Bajío" los principales estados productores son Guanajuato, Queretaro, Michoacán y Jalisco, la producción de semilla de distintas variedades se concentran en el estado de Guanajuato, en una superficie de 11,000 ha, de donde se distribuye a todo el país (García-Rodríguez *et al.*, 2008).

En el año 2016, Guanajuato fue el principal estado productor de semilla, del total de la superficie sembrada que osciló en 722,058 ha, sólo el 6.69% fue exclusivamente para semilla, el restante 93.30% fue para la producción de grano (SIAP, 2017).

Los principales municipios que produjeron semilla en el estado de Guanajuato con la modalidad otoño-invierno fueron: Celaya, Salvatierra, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Cortazar, Salamanca, Villagran, Abasolo y Cuerámara; se obtuvo un volumen de producción de 24951.29 t con un rendimiento promedio para estos estados de un 4.3 t ha<sup>-1</sup>, los cuales fueron distribuidos a todos los estados productores de grano para malta (SIAP, 2017).

### **4.1.3. Cebada variedad Esperanza**

La variedad Esperanza es el resultado de la selección de líneas avanzadas de cebada, originadas en el INIFAP por cruzamiento realizados en los campos Experimentales del Bajío, en Celaya, Gto., y del Valle de México, en Chapingo, Edo. de México (Ramírez-Pérez *et al.*, 1997).

#### **4.1.3.1. Hábito de crecimiento**

Esta variedad tiene hábito de crecimiento de primavera; la floración ocurre entre los 69 y 77 días, dependiendo de las condiciones ambientales y fechas de siembra. La madurez ocurre entre los 118 y los 134 días, por lo que es considerada como una variedad de ciclo intermedio (Ramírez-Pérez *et al.*, 1997).

La planta es semienana, con una altura promedio de 80 cm. Cuando se le cultiva bajo condiciones de riego, en suelos planos y de textura pesada, desarrolla de 5 a 10 tallos por planta. La raíz es fibrosa con abundantes vellosidades que se desarrollan de 0 a 20 cm de profundidad, las hojas son de color verde oscuro. La hoja bandera mide de 1.2 y 1.6 cm de ancho, los tallos son huecos, erectos, fuertes, cortos y consistentes,

con 5 entrenudos, los nudos en la etapa vegetativa son de color verde claro y en la madurez de color crema (Ramírez-Pérez *et al.*, 1997).

#### **4.1.3.2. Calidad Industrial**

Los granos de la cebada Esperanza reúnen todas las características de calidad requerida por la industria maltera nacional, debido al balance que guarda sus características químicas en grano malteado: 1) Extracto de molienda fina, 2) Diferencia entre el extracto de molienda fina y el extracto de molienda gruesa, 3) Poder diastásico, alfa-amilasa, 4) La relación entre proteína soluble y proteína total, entre otras (Ramírez-Pérez *et al.*, 1997).

#### **4.2. Calidad de semilla**

La calidad de la semilla depende de las condiciones físicas a las que está expuesta la planta madre durante las etapas de siembra, crecimiento, cosecha, procesamiento, y el almacenamiento. El deterioro de la semilla es la pérdida de la calidad, la viabilidad y el vigor debido al efecto de factores ambientales adversos. Varias condiciones o factores pueden disminuir la calidad de las semillas; las causas básicas son la temperatura, la humedad relativa, el contenido de humedad de la semilla y la invasión de microorganismos e insectos. La pérdida completa de calidad se refiere a la incapacidad de las semillas para reanudar el crecimiento activo después de la hidratación (Yang y Wen, 2017).

Hay cuatro parámetros básicos para los atributos de calidad de la semilla:

1. La calidad física de la semilla es que no contiene semillas dañadas, semillas de otras plantas, tierra, piedras y son uniformes en el tamaño.
2. La calidad fisiológica se refiere a aspectos del rendimiento de la semilla e incluye varios factores que afectan la vida, la calidad o la longevidad de los

embriones dentro de la semilla. La buena calidad muestra alta germinación y vigor de crecimiento.

3. La calidad genética se relaciona con las características genéticas específicas de la variedad de semilla. La semilla de buena calidad muestra un alto potencial genético para los criterios deseados (resistencia, calidad, etc.) es genéticamente pura y está óptimamente adaptada a las condiciones locales.
4. La calidad fitosanitarias se refiere a la presencia o ausencia de enfermedades y plagas dentro de un lote de semillas, las semillas de buena calidad son saludables y están libres de plagas y enfermedades.

### **4.2.1. Pruebas físicas de calidad de la semilla**

#### **4.2.1.1. Germinación estándar**

El ensayo de germinación normalizado (Anno, 1976) es una medida reproducible de la viabilidad que predice la emergencia en campo cuando se siembra en condiciones de suelo casi ideales (Sherf, 1953). Tales condiciones raramente existen y este ensayo sobreestima la emergencia en campo en porcentajes variables dependiendo de la adversidad de las condiciones de suelo (Swanson y Hunter, 1936). Esto es debido al hecho de que el vigor de la semilla integra factores más allá de la simple viabilidad.

Delouche (1974), concluye que el ensayo de germinación era una medida poco sensible y engañosa del vigor de la semilla, porque se enfoca primeramente sobre la consecuencia final del deterioro y no tiene en cuenta adecuadamente la pérdida muy substancial en potencial de expresión que puede ocurrir y ocurre antes de que se pierda la capacidad de germinación.

En el congreso de la Asociación Internacional de Ensayo de Semilla (ISTA) en 1950, estableció que cualquier ensayo desarrollado para obtener una magnitud similar a la emergencia en suelo, fuera denominada “ensayo de vigor de plántula” (Frank, 1950).

En el mismo Congreso se formó el Comité de Ensayo Bioquímico y de Vigor de Plántula con el objetivo de definir e investigar sobre las propiedades del vigor de la semilla, denominado después como Comité de Ensayo de Vigor.

#### **4.2.1.2. Peso Hectolítrico**

La calidad física de la semilla se determina en la actualidad a través del peso hectolítrico (PHL) y por la relación semilla/cáscara. El peso hectolítrico da una idea de llenado de semilla (Pomeranz *et al.*, 1997). Un alto PHL no solo determina que una mayor cantidad de producto se puede transportar o guardar en un determinado volumen, sino que también es considerado como una característica deseable para la molienda junto con el tamaño, la limpieza y otros factores de la semilla.

En trigo el peso hectolítrico es un factor de gran importancia en la definición de la calidad comercial, en el precio y en la calidad industrial. Éste es un carácter complejo e influenciado por numerosos factores tales como el suelo, disponibilidad de agua, temperatura, enfermedades, lluvias, madurez, etc. (Mockel *et al.*, 1984; Polidoro *et al.*, 2004).

Los valores más altos de PHL se consiguen cuando la semilla se seca lentamente y por única vez; ya que en los procesos de sorción y desorción de agua de sucesivos humedecimientos y secados producen cambios de volumen y peso (Gonzales, 2008). El PLH en avena varía en función de las condiciones ambientales, localidad, año de cultivo, época de siembra y tratamiento cultural (Forsberg y Reeves, 1992; Floss, 1998).

Condiciones desfavorables en llenado de semilla, como falta de precipitaciones, vientos fuertes y desecantes junto a altas temperaturas, influyen negativamente sobre el carácter. Del mismo modo, lluvias persistentes previas o durante la cosecha, cultivos volcados por acción de la lluvia y el viento y en ocasiones exceso de nitrógeno pueden llevar a la pérdida de peso hectolítrico (Bridger *et al.*, 1996; Burke *et al.*, 2001).



El PHL puede estar influenciado por factores intrínsecos (tamaño, forma, densidad, aspereza del pericarpio, humedad, etc.) y extrínsecos a la semilla (materias extras, compactación). En trigo el peso hectolítrico está asociado con el peso de los granos y con el contenido de proteína (Abbate *et al.*, 2001).

### **4.2.1.3. Peso de mil semillas**

El peso de la semilla está controlado principalmente por el balance de las condiciones del cultivo y la cantidad de fotoasimilados para llenarlos. La dimensión de la relación fuente/destino de un cultivo esta gobernado por el ambiente, las características propias del cultivar y por el manejo del cultivo. A medida que aumenta la cantidad de semilla, el peso por semilla generalmente se reduce, como ocurre aplicando nitrógeno en macollaje, particularmente en cultivares de alto rendimiento y cuando es seguido por sequias durante el llenado. Nornberg *et al.* (2007), hallaron una correlación negativa y significativa entre el número de semillas y peso medio de los mismos, indicando que la selección para incremento en el número de semillas resulta en menor peso de las mismas.

Durante el llenado de grano, el déficit hídrico acelera la senescencia foliar y reduce la eficiencia de conversión de la radiación interceptada, disminuyendo el peso de la semilla, esto sucede en mayor medida cuando el número de semilla por m<sup>2</sup> es alto (Abbate *et al.*, 1994).

### **4.2.1.Pruebas fisiologicas de calidad de semilla**

#### **4.2.2.1. Vigor**

El concepto de vigor de nacimiento ha tenido varias definiciones, Germ (1949), relacionó el vigor con la actuación bajo condiciones desfavorables. Isely (1954), sugirió que el vigor se relaciona con el énfasis propuesto por Germ sobre la actuación bajo

condiciones desfavorables, o con el vigor “*per se*”, como se refleja en la velocidad de germinación y tasa de crecimiento de plántulas. Isely (1954), definió el vigor como “la suma de todos los atributos de la semilla que favorecen el establecimiento bajo condiciones de campo desfavorables y un lote de semillas vigoroso es el que seguramente tendrá éxito bajo una amplia variedad de condiciones de campo”. Delouche y Caldwell (1960), definieron el vigor como la suma de todos los atributos seminales que favorecen un rápido y uniforme establecimiento en campo.

#### **4.2.2.1.1. Germinación de la semilla**

Es un proceso complejo que se inicia a partir de la absorción de agua por parte de las semillas secas y la elongación continua del eje embrionario (Bewley y Black, 1994) . Weitbrecht *et al.* (2011), separan el proceso de germinación de la semilla en tres fases.

- La Fase I o fase temprana, incluye la imbibición de semillas secas y la fase de meseta temprana de absorción de agua.
- La Fase II o fase intermedia, incluye la fase de meseta de la captación de agua y la protrusión visible de la radícula a través de las capas que cubren las semillas.
- La Fase III o fase posterior, es el desarrollo de plántulas, también llamada fase post-germinación.

En monocotiledóneas, durante la germinación de la semilla la coleorhiza es la primera parte que crece del recubrimiento de la semilla, mientras que en dicotiledóneas las raíces (radículas) crecen primero. Durante estos procesos, se producen muchas reacciones físicas y químicas, incluida la ruptura del endosperma y la testa; filtración de solutos celulares; reparación de orgánulos, membranas y ADN; y síntesis de ADN, ARN y proteínas. Con la imbibición, las giberelinas (GA) almacenadas en el embrión

dan la señal de germinación, se transportan a la capa de aleurona que cubre el endospermo, que es rico en proteínas (Yang y Wen, 2017).

Enzimas hidrolíticas como cisteína, endopeptidasas ácidas, serina carboxipeptidasas y aminopeptidasas neutras (Shutov y Vaintraub, 1987) se activan en el endospermo y degradan las proteínas de almacenamiento en aminoácidos. GA3 activa la expresión de ADN que codifica  $\alpha$ -amilasa en las células de la aleurona (Gubler *et al.*, 1995).

#### **4.2.2.1.2. Metabolismo de las proteínas en la germinación de la semilla**

Las principales proteínas de almacenamiento presentes en el endospermo son hidrolizadas por las proteinasas durante la germinación. Las proteínas o polipéptidos se hidrolizan en oligopéptidos más cortos mediante endopeptidasas y luego se descomponen en aminoácidos mediante peptidasa, o las proteínas o péptidos se hidrolizan directamente mediante carboxipeptidasas o aminopeptidasas de los extremos carboxilo o amino, respectivamente, en péptidos más cortos o aminoácidos (Yang y Wen, 2017).

Las enzimas proteolíticas se sintetizan en el retículo endoplasmático y luego se transportan a los cuerpos proteicos para liberarse y ponerse en contacto con las proteínas de almacenamiento (Bewley, 2001). El contenido de proteína en las semillas de cebada no es muy alto, alrededor del 15% del peso seco de la semilla (Helm y Francisco, 2004). El contenido de proteínas solubles en agua es bajo, solo alrededor de 1.5% en semillas secas de cebada y disminuye gradualmente durante la germinación (Yang y Wen, 2017).

En las semillas inactivas, el contenido de proteínas solubles en agua se estabiliza en aproximadamente  $1.2 \text{ mg g}^{-1}$ , mientras que en las semillas germinadas disminuye aún más. En el embrión el contenido de proteína soluble en agua es mucho mayor,

alrededor del 6% (Ma *et al.*, 2016). Existen al menos cuatro sistemas para la absorción de aminoácidos, incluidos dos sistemas no específicos, un sistema específico para la prolina y otro específico para los aminoácidos básicos (Langridge y Barr, 2003). La fosforilación de proteínas desempeña un papel importante en la regulación del transportador de péptidos escutelar de cebada (HvPTR) (Waterworth *et al.*, 2005). Los nutrientes del metabolismo de las proteínas de almacenamiento se absorben en el escutelo, donde la mayoría de los péptidos se hidrolizan en aminoácidos (Higgins y Payne, 1981) .

### **4.3. Micorrizas**

El vocablo Micorriza, proviene etimológicamente de la palabra que se forma del griego “*mykos*” (hongo) y del latín “*rhiza*” (raíz) y significa la unión o simbiosis de la raíz de una planta con las hifas de determinados hongos (Font, 1997). El término fue utilizado por primera vez por Albert B. Frank en 1881 para designar esta simbiosis como “la asociación de hifas a los órganos subterráneos de las plantas superiores” por lo tanto, el termino implica la asociación de un hongo con las raíces de las plantas tanto cultivadas como silvestres (Maronek *et al.*, 1981; Harley y Smith, 1983).

#### **4.3.1. Origen de la micorriza**

Numerosos estudios paleobotánicos, morfoanatómicos y filogenéticos basados en técnicas moleculares evidencian que la coevolución mantenida entre hongos micorrízicos y raíces de plantas se remonta al Paleozoico, hace más de 400 millones de años (Ma), con el origen de las primeras plantas terrestres. Los ancestros de las actuales briófitas y helechos, ya presentaban asociaciones que recuerdan a las ahora conocidas como micorrizas arbusculares (Honrubia, 2009).

Los primeros datos relativos al desarrollo de estructuras simbióticas en estos paleoecosistemas confirmaron la presencia de arbusculos, con su tronco basal y

ramificaciones bien conservados en el interior de células parenquimáticas de rizomas de *Aglaeophyton (Rhynia) major* del Devónico temprano (Remy *et al.*, 1994; Taylor *et al.*, 1995), lo que refuerza la idea de que los hongos micorrízico-arbusculares fueron esenciales para el éxito de las primeras plantas terrestres.

Recientemente Krings *et al.* (2007), han descrito la presencia de hifas aseptadas, hifas portadoras de vesículas y esporas en más del 95% de los fragmentos estudiados de rizomas de *Nothia aphylla* (pequeño esporófito fósil vascular afín a las *Zosterophyllophyta*), que recuerdan extraordinariamente a estas mismas estructuras formadas por los hongos endomicorrízicos actuales (Honrubia, 2009).

Simon *et al.* (1993), mediante secuenciación de genes del ADN ribosómico en 12 especies de hongos micorrízico arbusculares, estimó el origen de los *Glomeromycota* y su diversificación en las tres familias actualmente reconocidas (*Glomaceas*, *Acaulosporaceas* y *Gigasporaceas*) entre los 353 y 462 Ma de antigüedad.

Parece existir unanimidad en considerar:

- a) La existencia de los *Glomeromycota* desde el Ordovícico (Redecker *et al.*, 2000), como precursores de los actuales hongos responsables de la micorriza arbuscular.
- b) Las estructuras endotróficas se remontan al Devónico temprano (Taylor *et al.*, 2004).
- c) Las primitivas micorrizas arbusculares deberían ser funcionales, a tenor de las evidencias anatómico-estructurales de la infección, con células vegetales presentando paredes típicamente engrosadas y pigmentadas y con material granular cubriendo las hifas infectivas (Berbee y Taylor, 2007).
- d) La endosimbiosis micorrízica hongo vs planta fue transcendental en el proceso de terrestreización (Pirozynski y Malloch, 1975).

La estrategia nutricional de la simbiosis en hongos es incluso anterior a la estructurada por los primitivos *Glomeromycota* y plantas, según indican Yuan *et al.* (2005). De acuerdo con estos autores, los fósiles encontrados en la Formación Doushantou, en Weng'an, al sur de China, presentan hifas estrechamente asociadas con cianobacterias o algas cocoides, a modo de primitivas formas liquénicas, datadas con una antigüedad de entre 551 y 635 Ma. Al igual que ocurriera con los hongos liquenizados, que debieron surgir al menos varias veces durante la evolución, principalmente entre los *Ascomycota*, según las evidencias moleculares propuestas por Gargas *et al.*, (1995), la simbiosis micorrízica hubo de aparecer en repetidas ocasiones a lo largo del tiempo y en diferentes lugares de la geografía emergida del Paleozoico. Sin embargo, y a diferencia del mutualismo liquenáceo, las formas fúngicas que inicialmente se “especializaron” en la simbiosis micorrízica (*Glomeromycota*) fueron mucho menos diversas, aunque consiguieron estabilizarse morfológicamente y se han mantenido iguales hasta nuestros días. Otros tipos de micorrizas, como las ectomicorrizas, en las que *Ascomycota* y *Basidiomycota* adquieren singular relevancia surgieron muy tardíamente, en otras situaciones ambientales (Honrubia., 2009).

#### **4.3.2. Diversificación y tipos actuales de micorrizas**

Las micorrizas difieren entre sí en sus características morfológicas de acuerdo con la formación de sus estructuras dentro o fuera de la planta, se han descrito siete tipos siguiendo criterios estructurales, funcionales y taxonómicos, los cuales son: Ectomicorrizas, Endomicorrizas o Micorrizas Arbusculares (MA), Ectoendomicorrizas, Arbutoides, Monotropoides, Ericoides y Orquidioides (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

##### **4.3.2.1. Ectomicorrizas**

Estas asociaciones simbióticas típicamente se forman entre las raíces de plantas leñosas y hongos pertenecientes a los Phyla Basidiomycota, Ascomycota y Zygomycota (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

Colonizan aproximadamente un 10% de las familias de plantas que incluyen pinos, abedules, eucaliptos, encinos y hayas, entre otros. Las ectomicorrizas se pueden visualizar macroscópicamente pues el hongo rodea a la raíz y forma una capa o manto fúngico. A partir de esta estructura, las hifas se introducen entre las células de la corteza, sin llegar a penetrarlas y forman de esta manera la red de 'Harting', ocasionando diversos cambios anatómicos. En algunos casos las hifas penetran las células vegetales y forman una ectendomicorriza. Por fuera de las raíces el micelio del hongo forma una extensa trama dentro del suelo y material vegetal en descomposición que ayuda a estabilizar el suelo y ampliar el acceso de las plantas a fuentes de agua y nutrientes que de otra manera serían inaccesibles a las plantas. De este modo, las ectendomicorrizas forman un manto externo, al igual que las ectomicorrizas; sin embargo, penetran en el interior de las células, como las endomicorrizas, pero no forman vesículas o arbusculos (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

#### **4.3.2.2. Endomicorrizas**

Las endomicorrizas conforman un grupo muy variable de hongos que se clasifican en arbusculares, ericoides, arbutoides, monotropoides y orquidioides (Peterson *et al.*, 2004).

Las asociaciones de Hongos Micorrízicos Arbusculares o HMA (previamente conocidas como Hongo Vesículo Arbuscular o HVA) son formadas únicamente por hongos pertenecientes al Phylum Glomeromycota. Las hifas de las micorrizas arbusculares penetran en las células de las raíces produciendo estructuras ovales (vesículas) o invaginaciones conocidas como arbusculos que se ramifican

dicotómicamente dentro de la célula para aumentar la superficie de interacción del hongo con la planta hospedera (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

Los HMA forman relaciones con alrededor del 75% de las especies de plantas (Newman y Reddell, 1987) y están presentes en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Davison *et al.*, 2015; Soudzilovskaia *et al.*, 2015a), las micorrizas arbusculares constituyen el grupo de hongos simbióticos más importante desde un punto de vista agrícola y ecológico. Los hongos HMA son relevantes a nivel mundial, por la incorporación de la dinámica en modelos a gran escala puede mejorar las proyecciones de almacenamiento de C en el suelo (Treseder, 2016).

Actualmente son el grupo de hongos más empleado en la formulación de biofertilizantes y son fuertes candidatos para el biocontrol de fitopatógenos a través de sus capacidades competitivas por los espacios disponibles en las raíces. El funcionamiento de estos hongos se ve afectado en suelos con altos contenidos de fósforo (Linderman y Davis, 2004) o metales pesados (Leyval *et al.*, 1997), por lo que se recomienda aplicar dosis bajas de fertilizantes fosfatados al utilizar HMA en el campo.

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares son simbioses obligados que deben multiplicarse necesariamente en asociación con las raíces de una planta hospedera. Todas las estructuras de los HMA son fuentes de inóculo potenciales, aunque en la práctica sólo tres tipos han demostrado ser efectivos: las esporas, las raíces de plantas infectadas y las hifas (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

Las fuentes de inóculo original de las micorrizas provienen del conjunto de hongos que están asociados a las raíces o que se encuentran en la rizósfera de las plantas. Debido a su simbiosis obligada, la producción masiva de estos microorganismos requiere que los hongos sean cultivados en asociación con las plantas en contenedores con



sustratos estériles y bajo condiciones controladas de riego y nutrición (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

#### **4.3.3. Interacción HMA con la planta**

Alrededor del 45% de la longitud de la raíz en las capas superiores del suelo está ocupada por estructuras de HMA tales como arbusculos, vesículas e hifas intraradicales (Soudzilovskaia *et al.*, 2015a). Treseder y Cross (2006), estimaron que alrededor de 0.5  $\mu\text{g}$  C está contenido dentro de los tejidos vivos de los HMA dentro de las raíces en los 10 cm superiores del suelo. Esta cantidad no incluye hifas extraradicales u hongos HMA en suelos más profundos, por lo que este cálculo es conservador.

El principal beneficio que aportan los HMA es mejorar la Productividad Primaria Neta (PPN) al facilitar sustancialmente la absorción de N y P por las plantas (Hoeksema *et al.*, 2010). A cambio, reciben C y vitaminas de la planta anfitriona (Smith y Read, 2008). Por lo tanto, una porción de la PPN adicional se asigna bajo tierra a los HMA. De hecho, los hongos HMA pueden recibir alrededor del 37- 47% de la PPN subterránea en ecosistemas dominados por plantas hospederas HMA (Johnson *et al.*, 2002; Treseder y Cross, 2006). Los hongos HMA influyen en el ciclo del C, además, que controlan procesos críticos dentro del ciclo y pueden mediar el almacenamiento en el suelo (Verbruggen *et al.*, 2013; Mohan *et al.*, 2014; Verbruggen *et al.*, 2016).

En consecuencia, el flujo anual global de C en HMA puede ser sustancial. A medida que los hongos HMA crecen, una parte de C en su biomasa puede permanecer en el suelo y finalmente formar materia orgánica (Steinberg y Rillig 2003, Wilson *et al.*, 2009). En conjunto, los hongos HMA pueden mejorar la eliminación de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera por las plantas y luego depositar una parte de esa C adicional en el suelo (Treseder, 2016).

Asimismo, los HMA tienen influencia sustancial en la fisiología y las relaciones hídricas de la planta en condiciones de estrés (Harris-Valle *et al.*, 2009). Los beneficios en el estado hídrico y nutricional del hospedero son específicos de las circunstancias ambientales y de las especies asociadas (Augé *et al.*, 2003). Al respecto, las hifas aumentan el acceso a un mayor volumen del suelo y pueden penetrar poros reducidos inaccesibles para las raíces, un beneficio adicional es la exudación fúngica de mucílagos, que lubrican las raíces para facilitar su movimiento en el sustrato y absorber minerales y agua (Morgan *et al.*, 2005).

En ecosistemas áridos y semiáridos, el grado de retención de agua es un factor primordial que determina el tipo de vegetación a establecerse. Los HMA producen exudados proteicos denominados “glomalininas” que están correlacionados positivamente con la estabilidad de los agregados en el suelo, ya que tienen una degradación relativamente lenta en comparación con los exudados del sistema radical (Rillig, 2004).

#### **4.3.4. Glomalina**

La glomalina es una glicoproteína (Wright *et al.*, 1996; Gadkar y Rillig, 2006) producida en grandes cantidades por las hifas de los HMA y relacionada con la estabilidad del agregado del suelo (Rillig, 2004a; Spohn y Giani, 2011), pueden influir indirectamente en el almacenamiento de C del suelo al estabilizar los agregados (Zhu y Miller, 2003).

El estudio de glomalina comenzó con un anticuerpo monoclonal (MAb32B11) contra un epítipo desconocido sobre esporas trituradas de la especie del HMA *Glomus intraradices* (Wright y Upadhyaya 1996; Wright *et al.*, 1996). La glomalina se define mediante condiciones de extracción del suelo (tampón de ácido cítrico, autoclave, un pH de 7,0 u 8,0 y su reacción de anticuerpos (MAb32B11).

Sin embargo, está claro que desde el principio se formuló la hipótesis de que la "glomalina" era una proteína específica (o grupo de proteínas) y, por lo tanto, existe un problema de confusión terminológica. Un aspecto clave de esta nueva terminología es que "glomalina" en el sentido estricto se refiere solo al producto genético (y actualmente desconocido) por HMA. Las fracciones del suelo, hasta ahora denominadas "glomalina", sumariamente son referidas como Proteínas del Suelo Relacionadas con Glomálina (PSRG), para reconocer el hecho de que el vínculo entre la glomalina y estas fracciones de proteína del suelo aún no está claramente establecido (y no puede ser hasta que se describa la proteína) (Rilling, 2004b).

Se han considerado diferentes aspectos de PSRG: las fracciones fácilmente extraíbles (PRSG-FE) y las fracciones totales (PRSG-T) (Rilling, 2004b). Inicialmente, las fracciones fácilmente extraíbles se consideraron las porciones producidas más recientemente de PSRG; sin embargo, un estudio más reciente ha sugerido que el grupo fácilmente extraíble también está compuesto por PSRG recientemente modificado (a medida que la fracción PRSG-FE aumentó durante la descomposición, mientras que el Glomalina inmunoreactiva IRSP disminuyó simultáneamente (Steinberg y Rillig, 2003). Por lo tanto, estas fracciones deben considerarse como primeros pasos importantes hacia la definición de PSRG con respecto a la edad y/o función. Existe una necesidad urgente de dar el paso de un PSRG definido operativamente a la descripción bioquímica de una proteína glomalina. Está claro que la falta de un fundamento bioquímico ha plagado interpretaciones claras de los datos PSRG. Además, la relación de glomalina con PSRG solo puede definirse una vez que se ha encontrado la secuencia de la proteína. Principalmente, un cambio en los pools GRSP en los suelos puede ser provocado por dos mecanismos diferentes: un cambio en la tasa de producción o un cambio en la tasa de descomposición (Rilling, 2004b).

La relación entre el GRSP y la estabilidad del agua en los agregados del suelo es curvilínea en una amplia gama de estabilidades (Wright y Upadhyaya, 1998). Esto significa que más allá de cierta concentración de GRSP de "saturación" en un suelo dado, la deposición adicional de GRSP no producirá aumentos detectables en la estabilidad del agua del agregado del suelo, al menos tal como se mide con las fuerzas de desintegración convencionales (Kemper y Rosenau, 1986). Sin embargo, en muchos agroecosistemas intensamente manejados, esto puede no ser un problema importante, ya que la estabilidad de los agregados será baja. Para niveles bajos de GRSP (y estabilidad del agua) la relación parece ser lineal (Wright y Upadhyaya 1998), como también se observó en una cronosecuencia del suelo ribereño con edades del suelo menores de 60 años (Harner *et al.*, 2004). Una posible interpretación del patrón curvilíneo es que los agregados (y suelos) con altas concentraciones de GRSP pueden estar bastante "saturados" con GRSP, tal vez porque la mayoría de los poros en estos macroagregados ya han sido parcialmente "sellados" por la deposición de esta sustancia, ralentizando por la penetración de agua en el agregado (Rilling, 2004b).

#### **4.4. Ciclos biogeoquímicos en los sistemas agrícolas**

##### **4.4.1 Ciclo del carbono**

El ciclo global del C consiste de un ciclo bioquímico a corto plazo, y de un ciclo geoquímico a largo plazo. Anualmente, las actividades humanas alteran ambos ciclos al emitir 8.6 Pg de C ( $8.6 \times 10^{15}$  gramos de C). De este C emitido, 3.3 Pg son absorbidos por la atmósfera y 2.2 Pg son absorbidos por el océano. En los últimos 150 años, las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se han incrementado en 31% (Verhulst *et al.*, 2015). La reserva de carbono en el suelo comprende dos componentes:

1. La reserva de carbono orgánico en el suelo (COS).
2. La reserva de carbono inorgánico en el suelo (CIS).

Las actividades agrícolas afectan principalmente la reserva de COS. La degradación del C lleva a importantes pérdidas en la calidad del suelo y representa una amenaza para los sistemas de producción agrícola y seguridad alimentaria. Al asegurar la sustracción del dióxido de carbono de la atmósfera e incorporarla en el suelo (captura del C) se incrementa la sustentabilidad (Verhulst *et al.*, 2015).

En los suelos agrícolas, las pérdidas de C se deben a los procesos de erosión y mineralización de la materia orgánica. Las pérdidas por erosión van de 1 a 10 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y en casos extremos hasta 50 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Lal *et al.*, 1998), lo que representa a nivel global una pérdida de C de 150 a 1 500 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Gregorich *et al.*, 1998). Entre las medidas más comunes para prevenir la erosión están: el terraceo, las curvas de nivel, el uso de coberturas vegetales y las barreras arbóreas, entre otras. Todas ellas, además de proteger el suelo, favorecen la acumulación de la materia orgánica. También se ha documentado que los sistemas de labranza de conservación hacen un buen manejo del C en los suelos y adicionalmente contribuyen a mejorar su calidad.

Las concentraciones de C en el suelo están determinadas por el balance entre los aportes, como los residuos del cultivo, y las pérdidas por medio de la descomposición de la materia orgánica. El manejo para acumular COS requiere el incremento en el aporte de carbono, la reducción de la descomposición, o ambos. Es esencial mantener una concentración adecuada de COS y microbios para la productividad sostenible, la rentabilidad y sumidero razonable de CO<sub>2</sub> atmosférico. Después de una mejora en las prácticas de manejo agrícola, el C orgánico alcanzará gradualmente un nuevo estado en equilibrio. Los estimados del tiempo requerido para el equilibrio varían entre 20 a 100 años (Verhulst *et al.*, 2015).

#### **4.4.2. Ciclo del nitrógeno**

El N en la tierra consiste principalmente de una reserva de gas en la atmósfera y una de intercambio entre la biota y el suelo en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). La actividad humana ha duplicado la transferencia de N de la atmósfera a las reservas biológicamente disponibles (principalmente por medio de la fijación industrial del N) con un aumento en la emisión, transporte, reacción y deposición asociadas a gases de N tales como el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el óxido nítrico (NO) y el amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) (Verhulst *et al.*, 2015).

Los ciclos globales de C y N están conectados. La descomposición de la materia orgánica del suelo libera  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) al suelo, y cuando el amonio no es asimilado por microorganismos es oxidado.

La dinámica del N en los sistemas agrícolas es afectada en gran medida por las mayores cantidades agregadas de fertilizantes nitrogenados. El suministro de N a los suelos incrementa la productividad y la acumulación de biomasa en corto plazo. Por lo tanto, se ha considerado que un aumento en las concentraciones de aportes de N sería una estrategia para favorecer la captura de carbono en el suelo. Sin embargo, la aplicación de N como fertilizante implica costos de emisión de  $\text{CO}_2$ , debido a la producción, empaque, transporte y aplicación de los fertilizantes (Verhulst *et al.*, 2015).

Adicionalmente, los incrementos en la materia orgánica del suelo pueden acelerar la dinámica del N y, por lo tanto, la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$ , un gas de efecto invernadero. El N afecta el balance neto de los gases con efecto invernadero en cuatro formas:

1. El  $\text{CO}_2$  es liberado a partir de la energía y los combustibles fósiles requeridos para la producción intensiva de fertilizantes nitrogenados.
2. El rendimiento del cultivo cambia en función de la tasa de aplicación de N.

3. El aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados puede causar una reducción en el pH del suelo. Esto plantea el uso de cal agrícola, cuya producción también es de alto consumo energético y productora de CO<sub>2</sub>.
4. Las emisiones de N<sub>2</sub>O varían con la práctica de labranza y en función de la tasa de aplicación del N.

#### **4.5. Biofertilizante**

Un biofertilizante es una sustancia que contiene microorganismos vivos que cuando se aplica a semillas, plantas o suelo, coloniza la rizosfera y/o el interior de las plantas y promueve el crecimiento al aumentar el suministro de nutrientes a la planta huésped (Malusa y Vassilev, 2014). Son ampliamente utilizados para acelerar procesos microbianos que aumentan la disponibilidad de nutrientes que pueden ser fácilmente asimilados por las plantas. Mejoran la fertilidad del suelo al fijar N atmosférico, solubilizar los fosfatos insolubles y producir sustancias que promueven el crecimiento de plantas (Mazid y Khan, 2015). Los biofertilizantes se han promovido para aumentar la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos (Pandey y Singh, 2012).

Los biofertilizantes son rentables, respetuosos del ambiente y su uso prolongado aumenta sustancialmente la fertilidad del suelo (Singh *et al.*, 2011). Puede elevar el rendimiento del cultivo en un 10-40% al aumentar el contenido de proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas y fijación de nitrógeno (Bhardwaj *et al.*, 2014). Los beneficios del uso de biofertilizantes incluyen fuentes baratas de nutrientes, excelentes proveedores de macro y micronutrientes, proveedores de materia orgánica, secreción de reguladores de crecimiento y contrarrestar el impacto negativo de los fertilizantes químicos (Gaur, 2010). Los diferentes microorganismos son componentes vitales del suelo y juegan un papel crucial en diversas actividades

bióticas del ecosistema que hace que el suelo sea dinámico para la movilización de nutrientes y sostenible para la producción de cultivos (Ahemad y Kibret, 2014).

#### **4.5.1. Papel del biofertilizante en la fotosíntesis**

Una mayor fotosíntesis revela un mejor crecimiento de la planta, porque casi el 90% de la biomasa de la planta se deriva de la asimilación de CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis (Long *et al.*, 2006). La inoculación de biofertilizantes como *Rhizobium leguminosarum*, *Rhizobium* sp. IRBG 74 y *Bradyrhizobium* sp. IRBG 271 aumentó la tasa de fotosíntesis de la planta en un 14% comparación con el control sin inocular (Peng *et al.*, 2002). Ciertas cepas de Rhizobia aumentaron significativamente las áreas superficiales de las hojas, la tasa fotosintética neta, la conductancia estomática y la eficiencia de utilización del agua, lo que indica que la inoculación rizobial del arroz puede aumentar considerablemente la capacidad fotosintética (Mia y Shamsuddin, 2010).

El estrés hídrico genera especies reactivas de oxígeno que dañan el aparato fotosintético de la planta (Heidari y Golpayegani, 2012). Los resultados en la combinación de tres biofertilizantes bacterianos a base de, *Pseudomonades*, *Bacillus lentus* y *A. brasilense*, aumentó la expresión de enzimas antioxidantes, así como un mayor contenido de clorofila en hojas bajo estrés que dió como resultado la formación de una maquinaria fotosintética de la planta (Heidari y Golpayegani, 2012). Por lo tanto, el biofertilizante al aumentar la actividad fotosintética ayuda a que la planta crezca bien incluso en condiciones de estrés.

#### **4.5.2. Efecto de los biofertilizantes en el ecosistema**

Los biofertilizantes han sido ampliamente utilizados en la agricultura durante las últimas décadas, la información sobre su colonización y ecología está poco ilustrada. Además, el mecanismo detrás de su interacción con la planta y la comunidad



microbiana residente es todavía una cuestión de curiosidad. Uno de los principales factores que determinan la eficacia del biofertilizante en el sistema natural es la presencia de microflora indígena en la rizosfera. Esta comunidad altamente competitiva con diversas especies puede afectar la supervivencia y las propiedades promotoras del crecimiento del biofertilizante en las plantas (Hibbing *et al.*, 2010).

Además de eso, la inoculación de semillas y plántulas o enmiendas del suelo puede traer cambios a la estructura de la microflora indígena que es crucial para ser considerado con respecto a la seguridad de la introducción de los microorganismos en el ambiente (Dey *et al.*, 2012). Eventualmente, se debe considerar la prevención del efecto no deseado, que se define como efecto del biofertilizante microbiano en organismos distintos del patógeno objetivo, efecto sobre los ciclos biogeoquímicos, efecto sobre la textura del suelo y propiedades del suelo, incluida la capacidad de retención de agua, porosidad y fertilidad, cuidadosamente (Pereg y McMillan, 2015). Por lo tanto, antes de liberar biofertilizantes en el ambiente, es crucial estimar sus efectos no objetivo en la población de microflora residente y por lo tanto en el ecosistema y, junto con eso, se requiere un examen detallado de los efectos de los biofertilizantes antes de modificar las prácticas agrícolas.

Se han estudiado en cierta medida los efectos de los biofertilizantes sobre los miembros no objetivo de la rizosfera y la red trófica del suelo, la mayoría de los estudios informaron cambios medibles debido a la introducción de bioinoculantes en la rizosfera; sin embargo, la magnitud de las alteraciones y su importancia en la ecología de las funciones aún no se han informado (Martínez-Viveros *et al.*, 2010). El alcance del efecto de la introducción de biofertilizantes en las comunidades residenciales depende de varios factores, incluidas las características del suelo, el modo de aplicación de los biofertilizantes y las diferentes condiciones ambientales (Dey *et al.*, 2012).

#### **4.6. Panorama del agua**

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales en México, el agua puede tener usos consuntivos y no consuntivos; entre los primeros están el abastecimiento urbano, la agricultura, el pecuario y la industria, y entre los segundos la producción de energía eléctrica, la refrigeración de plantas industriales y centrales energéticas, la acuicultura y los caudales con fines ambientales y paisajísticos. Aunque estas demandas no consumen prácticamente agua, condicionan y limitan el suministro de los usos consuntivos porque tienen que estar disponibles en el momento y lugar requeridos y con la calidad adecuada (IMTA, 2003).

##### **4.6.1. Problemática del agua en la agricultura**

El cambio climático, el crecimiento de la población y el desarrollo económico afectarán la disponibilidad futura de agua para la agricultura (Rosensweig *et al.*, 2004). En México existe un grave problema de sobreexplotación de acuíferos. De los 188 acuíferos más importantes que abastecen 66 % del agua usada en el país y donde se capta 79 % de la recarga de agua subterránea, 80 están sobreexplotados, lo que implica que las condiciones hidrogeológicas quizá estén cambiando ya que el volumen de agua en los acuíferos se ha modificado y la competencia entre los diferentes tipos de usuarios será mayor (Fornes *et al.*, 2005).

La competencia por el uso del agua entre los diferentes sectores consumidores de cualquier región está determinada por los diferentes tipos de consumidores y por la baja y decreciente disponibilidad del recurso. Con base en la clasificación hecha por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la mayor parte del territorio del estado de Guanajuato pertenece a la región hidrológico-administrativa Lerma-Santiago-Pacífico, la cual durante el 2005 fue calificada con un grado de presión media-fuerte sobre el recurso hídrico (32 %, mayor a 40 % es ya calificado como fuerte presión) y ocupó el

segundo lugar como la región hidrológico-administrativa con mayor densidad de población: 106 hab km<sup>2</sup> (SEMARNAT-CONAGUA, 2006).

El mayor consumidor de agua es el sector agrícola; la superficie sembrada con riego ascendía a 493 720 ha en 1995 y en sólo ocho años aumentó a 554 306 ha; es decir, se sumaron 60 586 ha. Los cultivos que más incrementaron su superficie sembrada durante el periodo de 2000 a 2004 fueron la cebada grano, trigo grano y maíz grano, los cuales registraron una TCMA de 35.89, 6.57 y 6.18 %. El PIB generado por el sector agropecuario en el estado de Guanajuato ha mantenido un crecimiento constante de 1995 a 2004, registrando una TCMA de 0.68% (Guzmán-Soria *et al.*, 2009).

#### **4.5.2. Contaminación de los mantos acuíferos**

Los agricultores emplean dosis excesivas de fertilizantes químicos, principalmente nitrogenados, y pesticidas para tratar de obtener altos rendimientos (Grageda-Cabrera *et al.*, 2000; Arreola-Tostado *et al.*, 2006), ocasionando con ello un alto riesgo de contaminación de los mantos acuíferos y un fuerte impacto en la fertilidad química del suelo. En México, la degradación del suelo ocasionada por la actividad humana se ha estimada en más de 45%, mientras que, en el estado de Guanajuato, ésta representa más de 65% de su territorio (SEMARNAT, 2002). Cerca de la mitad de la superficie agrícola de Guanajuato presenta algún grado de degradación química-biológica, ocasionadas por problemas de salinización y disminución de reservas orgánicas, principalmente. Esta problemática va acompañada por la compactación del suelo, ocasionada por el excesivo laboreo de la maquinaria agrícola, lo anterior implica necesariamente algún grado de degradación física (Báez-Pérez *et al.*, 2012).

#### **4.7. Sequía**

Una sequía se define como la disminución o la ausencia de precipitaciones pluviales respecto al índice anual y contrario a lo que se supone, es un evento normal y recurrente que se presenta de forma cíclica en todas las zonas climáticas del mundo, aunque con mayor intensidad y recurrencia en las zonas áridas y semiáridas (Esquivel, 2002). Una sequía puede durar en promedio de uno a tres años y termina cuando las lluvias regresan, se recupera el índice normal de precipitación y se restablece el funcionamiento de los cuerpos de agua.

La sequía se clasifica principalmente en tres tipos: meteorológica, agrícola e hidrológica. Estas distintas tipologías de sequía "identifican el principio, el final y el grado de severidad de la misma" (Contreras-Servin, 2005). Todos los tipos de sequía tienen origen en la misma causa: la falta de lluvias, por tanto, cuando "únicamente se toma en cuenta la lluvia" (Velasco-Velasco, 2006), estamos hablando de la sequía meteorológica, es a este tipo de sequía a la que se le atribuye el inicio del desequilibrio hidrológico, pues es cuando se percibe una interrupción en el temporal por una o más estaciones; este tipo de sequía es difícil de precisar, puesto que sus efectos o incidencia son diferentes dependiendo del lugar donde ocurra; por ejemplo, en Bali la sequía meteorológica se define como "el periodo con ausencia de lluvia en seis días", mientras que en España se considera como sequía meteorológica un periodo que puede alcanzar hasta dos años consecutivos sin precipitaciones (Marcos-Valiente, 2001).

La sequía agrícola, por su parte, se suscita después de una sequía meteorológica y ocurre "cuando no existe humedad suficiente en el terreno para el cultivo determinado en un momento particular de tiempo" (Esquivel, 2002). La productividad de la cebada se ha visto afectada por la sequía que ha sido un factor que limita directamente en su rendimiento, factor abiótico que ha sido significativo para los cultivos de mayor producción en todo el mundo, el cual afecta la seguridad mundial y la sostenibilidad de la producción agrícola (Saeidi *et al.*, 2013). El problema de la sequía, combinado con

factores físicos y ambientales desencadenan el estrés en las plantas y reducen el crecimiento, siendo el estrés hídrico por deficiencia de agua; que causa retraso, debilitamiento y/o falta de establecimiento de plántulas, por las mismas condiciones las plantas son vulnerables a las enfermedades epidémicas, ataque de plagas de plantas, cambios fisiológicos y bioquímicos (Abdoli *et al.*, 2012).

La sequía agrícola afecta principalmente a la agricultura, pues el terreno, por la falta de lluvias, las altas temperaturas y la evaporación, pierde su humedad normal, impidiendo con ello el desarrollo exitoso de cualquier plantío. La sequía agrícola se define como el "Período durante el cual sólo hay 19 mm de agua disponible en los primeros 20 cm de suelo" (Marcos-Valiente, 2001).

Por último, se menciona que hay una sequía hidrológica cuando por la falta de lluvias durante una o más estaciones el nivel de los ríos, lagos y demás embalses superficiales y subterráneos comienza a bajar paulatinamente, incluso hasta agotarse por completo (Meulenert, 2006).

Las presentes definiciones muestran los alcances y las manifestaciones de los principales tipos de sequía, que al ser contextualizados con otros datos y con otros problemas de nuestra realidad, nos permitirán entender por qué históricamente, cuando se presenta la sequía, se padecen graves afectaciones a las actividades humanas.

### **4.7.1. Estrés hídrico y respuestas de las plantas**

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua. El déficit hídrico no sólo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por altas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones,

capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980).

De acuerdo con los requerimientos de agua, las plantas pueden ser consideradas como hidrófitas si están adaptadas a vivir total o parcialmente sumergidas en el agua (en general no toleran potenciales hídricos más negativos de -5 a -10 bares); como mesófitas si están adaptadas a un aporte moderado de agua (en general no toleran potenciales hídricos más negativos de -20 bares) y como xerófitas si están adaptadas a ambientes áridos (en general no toleran potenciales hídricos más negativos de -40 bares) (Nilsen y Orcutt, 1996).

Las plantas a lo largo de su desarrollo experimentan algún grado de estrés por déficit hídrico. En los sistemas naturales, un déficit de agua puede ser el resultado de bajas precipitaciones, baja capacidad de retención de agua del suelo, excesiva salinidad, temperaturas extremas frías o calientes, baja presión de vapor atmosférica o una combinación de estos factores (Nilsen y Orcutt, 1996). Por otro lado, una tercera parte de la superficie del planeta se considera como árida o semiárida, mientras que la mayoría de la superficie restante está sujeta a períodos temporales de déficit hídrico. De esta manera, el agua constituye el principal factor limitante del crecimiento de las plantas en la tierra, actuando como una fuerza selectiva de primer grado para la evolución y distribución de las especies vegetales (Hanson y Hitz, 1982).

Las plantas han respondido al estrés hídrico desarrollando evolutivamente adaptaciones tanto a nivel morfológico, anatómico y/o celular, que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). Las plantas que son capaces de adquirir más agua o que hacen un uso más eficiente de ésta podrán tener resistencia al estrés por sequía. De esta manera, algunas plantas poseen adaptaciones tales como el desarrollo del metabolismo C4 y del metabolismo ácido de las crasuláceas o CAM, que les permiten explotar ambientes más áridos. Así, en las

plantas C4 hay una separación física entre el proceso de asimilación de CO<sub>2</sub>, que se produce en células del mesófilo y la reducción de éste a carbohidratos que tiene lugar en otro tipo celular especializado (parenquima perivascular) donde se acumula el CO<sub>2</sub>. En este metabolismo se genera una mayor concentración de CO<sub>2</sub> en las células especializadas que puede estar en equilibrio con la atmósfera externa. Esta elevada concentración de CO<sub>2</sub> en el sitio de carboxilación de la ribulosa bifosfato resulta en una supresión de la oxigenación (fotorrespiración).

Las plantas también poseen mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta a estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento. Uno de principal importancia es la limitación específica de la expansión foliar. Aunque el área foliar es importante, pues de ella depende la fotosíntesis, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. Otro proceso que se modifica es el crecimiento radical. La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Potters *et al.*, 2007).

Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas, ya que estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2006). El proceso de cierre de las estomas, cuando el mesófilo comienza a sufrir deshidratación, está regulado por el ácido abscísico (ABA) (Leung y Giraudat, 1998). El contenido de ABA en la hoja se incrementa debido a la descompartimentalización y redistribución desde los cloroplastos de las células del mesófilo y a la síntesis y transporte desde las raíces, siendo liberado al apoplasto para llegar a las células guarda a través de la corriente de transpiración (Zhang y Outlaw, 2001). Esta fitohormona produce una pérdida de iones K<sup>+</sup> (calculada en 4-8 veces de

disminución, desde 400-800 mM hasta 100 mM) y de aniones  $\text{Cl}^-$  o malato<sup>2-</sup> en las células guarda, que provoca una salida de agua del citoplasma, dando lugar al cierre de la estoma.

A nivel celular, otra respuesta de resistencia es el ajuste osmótico, que consiste en una disminución del potencial hídrico en los tejidos vegetales, lo cual tiene como consecuencia la entrada de agua y, por tanto, no se presenta una disminución en el turgor o en la productividad fotosintética. El ajuste osmótico se da en las plantas a través de la biosíntesis de osmolitos orgánicos de bajo peso molecular y por la acumulación de iones, fundamentalmente  $\text{K}^+$  (Cushman, 2001). En general, las enzimas son sensibles a las altas concentraciones de iones, como el  $\text{Na}^+$ . La acumulación de iones durante el ajuste osmótico ocurre principalmente en la vacuola, mientras que en el citoplasma se acumulan solutos que no afectan negativamente la funcionalidad de macromoléculas celulares (Buchanan *et al.*, 2000). Estos solutos son moléculas orgánicas de bajo peso molecular (osmolitos) como polioles (azúcares), metilaminas, aminoácidos libres y derivados de aminoácidos.

Diferentes tipos de organismos como plantas, bacterias, hongos y animales presentan osmolitos compatibles que se caracterizan por no alterar la estructura y función de las macromoléculas, cuando se acumulan en altas concentraciones. Se propone que estos osmolitos compatibles no interaccionan con sustratos y cofactores enzimáticos, ni afectan negativamente las interacciones entre las macromoléculas y el solvente (Yancey *et al.*, 1982). La acumulación de osmolitos compatibles también tiene como consecuencia la osmoprotección, que está dada por la capacidad estabilizadora de algunos de estos solutos sobre macromoléculas como las proteínas y los sistemas de membrana celulares. La sobre-expresión de este tipo de compuestos ha sido usada para proteger a las plantas de los efectos causados por el estrés osmótico, obteniéndose resultados positivos en varias especies (Abebe *et al.*, 2003; Ashraf y Foolad, 2007).



La respuesta de las plantas a diferentes tipos de estrés generalmente incluye la alteración en la expresión de proteínas. Estos cambios generalmente están relacionados con el aumento o la disminución de la expresión de genes específicos, y dependen de la naturaleza, duración y severidad del estrés. Entre las más importantes por su efecto protector potencial están las proteínas LEA (Late Embriogénesis Abundant Proteins), las involucradas en las vías de síntesis de los osmolitos y las que funcionan como antioxidantes (Bartles y Kotchoni, 2003).

Un grupo grande de genes que se inducen por estrés osmótico corresponde a los genes que codifican para las proteínas LEA (Dure *et al.*, 1989). La expresión de estos genes en condiciones de estrés ha sido asociada a la protección de la integridad celular y al mantenimiento del homeostasis iónica. Las LEA son varias familias de proteínas que se acumulan en altos niveles durante la etapa madura de la embriogénesis, justo antes del inicio de la desecación de la semilla. Algunas de ellas también se acumulan en tejidos vegetativos en respuesta al estrés osmótico generado por diversos agentes ambientales (deshidratación, salinidad, frío y congelamiento) (Baker *et al.*, 1988).

Durante el desarrollo embrionario, y en la gran mayoría de los casos indicados para diferentes tipos de estrés medioambiental, la inducción de la expresión de los genes LEA está mediada por el ABA. Esta fitohormona es capaz de inducir precozmente la expresión de dichos genes en embriones inmaduros o en tejidos vegetativos no estresados cuando se aplica exógenamente (Dure III, 1993). Las proteínas LEA son proteínas altamente hidrofílicas, ricas en glicina y en aminoácidos cargados que se caracterizan por no tener una estructura globular, y ser, por tanto, resistentes a la coagulación por efecto de las altas temperaturas (Dure III, 1993).

Los osmolitos son compuestos que representan una función importante en el ajuste osmótico, y protegen a las células de las especies reactivas de oxígeno (Pinhero *et al.*,

2001). En muchas plantas durante condiciones de estrés hay una sobre-expresión de las enzimas clave en la biosíntesis de osmolitos como la prolina y otros aminoácidos, las poliaminas y los compuestos cuaternarios de amonio como la glicina betaina, la sacarosa, los polioles, los azúcares alcoholes y otros oligosacáridos (Tamura *et al.*, 2003). La acumulación de prolina, además de inducir ajuste osmótico, protege las membranas y las proteínas de la deshidratación, y actúa como desintoxicador de radicales libres. Otros osmolitos como la glicina betaina solo ocurren en algunas plantas superiores, y su síntesis puede ser inducida tanto por estrés hídrico como por estrés salino, por sobre-expresión de las enzimas colina mono-oxigenasa (CMO) y betaina aldehído deshidrogenasa (Nakamura *et al.*, 2001). La glicina betaina ha mostrado proteger enzimas y membranas, así como estabilizar complejos proteína-pigmento del PSII en condiciones de estrés (Papageorgiou y Morata, 1995).

#### **4.7.2. Estrés hídrico y micorrización**

Una planta sometida a estrés hídrico reduce su crecimiento (Augé, 2001). Una estrategia para resistir tales condiciones de estrés puede ser la asociación con un determinado HMA, ya que la interacción permite a la planta aclimatarse y continuar con la asimilación de nutrientes en las etapas sucesivas del desarrollo (Bhoopander y Mukerji, 2004).

La mitigación del efecto negativo del estrés hídrico por la micorrización es resultado de modificaciones de los balances hídrico (transpiración y uso eficiente del agua) y nutricional específico para P, N y K (Ruiz-Lozano, 2003). Algunos estudios ecofisiológicos demuestran que la simbiosis altera la tasa de movimiento del agua dentro, a través y hacia afuera de la planta, con efectos en la hidratación del tejido y en la fisiología general (Augé, 2001).

Los suelos colonizados por HMA contienen más agregados estables al agua que los suelos carentes de HMA. El desarrollo de micelio extrarradical permite a las raíces tener un mayor acceso al agua del suelo y aumentar así su hidratación, lo que mejora el metabolismo vegetal aun en condiciones de estrés ambiental (Augé *et al.*, 2003; Augé, 2004).

Las diferencias en la efectividad de la micorrización para estimular la asimilación de agua por la planta dependen de la especie de HMA asociadas, y parecen estar relacionadas con la cantidad de micelio producido por cada hongo y la frecuencia con la que la raíz es colonizada por estructuras fúngicas vivas y activas (Augé, 2004).

La habilidad de sobrevivir en suelos secos está ligada a la posibilidad de sobrevivir a mayor deshidratación. A medida que el suelo se seca y su potencial hídrico decrece, las plantas también deben disminuir su potencial hídrico para mantener un gradiente favorable en el flujo de agua hacia la raíz (Augé *et al.*, 2003).

En varios estudios se ha descrito cómo la micorrización mejora el estado hídrico de diversas especies vegetales cuando se presenta un déficit de agua, al incrementar la asimilación relativa del agua, las tasas de transpiración y de intercambio de CO<sub>2</sub> y la eficiencia en el uso de agua, porque propician el ajuste osmótico celular (Ruiz-Lozano, 2003). La tolerancia a la salinidad por parte de las plantas micorrizadas se debe principalmente a que los HMA mejoran el estado nutricional del hospedero y facilitan la asimilación de P, la cual se dificulta en suelos salinos. El incremento en la concentración de N en condiciones de salinidad también puede mejorar el metabolismo de la planta, al favorecer la síntesis de proteínas (Harris-Valle *et al.*, 2009)

### V. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 5.1. Sitio experimental

El experimento se estableció en condiciones de invernadero en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ubicado en el km 6.5 de la carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Guanajuato, México (20° 35'22.7" N, 100°49'28.9" msmm).

Las características climáticas de la región de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1988) es BS1hW(e), es decir, semicálido, con una precipitación anual de 400 a 700 mm; las mayores precipitaciones pluviales ocurren de junio a septiembre y las más bajas de diciembre a abril. El régimen térmico anual es de 18 a 20 °C.

#### 5.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental bifactorial 4x4, con un arreglo completamente al azar con cuatro repeticiones, los factores fueron: (A) fertilización-inoculación [ i) 100% fertilizado sin micorriza (Testigo), ii) 50% fertilizado sin micorriza, iii) inoculación con micorriza INIFAP fertilizado al 50% y iv) inoculación con micorriza Cepa D1 fertilizado al 50%]; el Factor (B) fue la aplicación de diferentes riegos (4, 3, 2 y 1); cada unidad experimental consistió en una microparcela de 1x1 m, con cuatro surcos, cada una de estas unidades se encontraba en condiciones aisladas con plástico calibre 12. La parcela útil estuvo constituida por los dos surcos centrales de cada una de las unidades experimentales. El manejo agronómico del cultivo se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones del INIFAP.

#### 5.3. Variedad de cebada

La variedad de cebada evaluada fue Esperanza, tiene un hábito de crecimiento de invierno. La floración ocurre entre los 69 y 77 días, dependiendo de las condiciones ambientales y fechas de siembra. La madurez ocurre entre los 118 a 134 días, por lo que es considerada como una variedad de ciclo intermedio (Ramírez-Pérez, *et al.*, 1997).

La planta es semienana, con una altura promedio de 80 cm. Cuando se le cultiva bajo condiciones de riego, en suelos planos y e textura pesada, desarrolla en 5 a 10 tallos por planta, la raíz es fibrosa con abundantes vellosidades que se desarrollan de 0 a 20 cm de profundidad, las hojas son de color verde oscuro, la hoja bandera mide de 1.2 y 1.6 cm de ancho, los tallos son huecos, erectos, fuertes, cortos y consistentes, con 5 entrenudos, los nudos en la etapa vegetativa son de color verde claro y en la madurez de color crema (Ramírez-Pérez, *et al.*, 1997).

### **5.4. Dosis y fuente de fertilización**

La dosis de fertilización (100%) fue de 180-60-00 (N-P-K); como fuente de fósforo se utilizó súper fosfato triple granulada en una sola aplicación a la siembra y sulfato de amonio como fuente de N, aplicándolo en dos etapas, 50% a la siembra y el resto a los 40 días después de la siembra (dds).

### **5.5. Manejo agronómico**

El manejo agronómico se llevó a cabo siguiendo la guía de recomendaciones del INIFAP para su producción en El Bajío. La densidad de siembra fue de 120 kg ha<sup>-1</sup>. La siembra se realizó a mano cuidando que no existiera contaminación cruzada entre tratamientos, una vez colocada la semilla se cubrió con una capa de sustrato de aproximadamente 2 cm.

Para los riegos previamente se realizó un ensayo con el sustrato, el cual fue suelo vertisol pelico, se calculó su capacidad de campo, de la cantidad de agua con el volumen de tierra se procedió a realizar los cálculos pertinentes para la cantidad de agua que se aplicaría a cada unidad experimental (UE), el cual resulto ser de 194 litros de agua para cada UE, se realizaron cuatro riegos a los 0, 45, 70 y 90 días después de la siembra (dds).

### **5.6. Cálculo de nivel de humedad en sustrato para la aplicación de riegos**

Se establecieron macetas sembradas con cebada, se regaron hasta que la planta tuviera un desarrollo pre-amacollamiento, suspendiendo los riegos de una en una y se verificó la humedad con el equipo TDR. El TDR registro un valor de humedad tolerable por la planta de 28 a 32 % de humedad del sustrato antes de llegar al punto de marchitez permanente, por lo que a las UE se les midio el % de °H, evitando que llegara a 28 a 32%, para aplicar los riegos siguientes

### **5.7. Instalación del experimento**

#### **5.7.1. Preparación del sustrato**

Se colectó suelo vertisol pélico, para su esterilización previamente se realizó una cama individual con las siguientes medidas: 25 m de largo con 1.50 m de ancho y 0.30 m en altura, se cubrió un plástico para evitar el contacto directo con el suelo y se procedió al llenado del sustrato, una vez llenado su interior se colocaron cinco latas de bromuro de metilo se perforaron y la cama se cubrió con el resto del plástico por cinco días, posteriormente se dejó airear por cinco días más para eliminar los residuos de bromuro.

#### **5.7.2. Preparación de las unidades experimentales**

Se construyeron cuatro camas con tablas cubiertas en su interior con plástico cuyas dimensiones fueron de 8 m de largo por 1 m de ancho y 0.30 m de alto, cada cama se dividió en ocho unidades experimentales (UE), teniendo un total de 16. Estas camas tienen la ventaja de llevar el cultivo hasta rendimiento sin limitaciones en su desarrollo.

### **5.8. Desinfestación de la semilla**

La semilla se colocó en una solución de cloro al 25% por 40 s, luego se enjuagó con agua destilada por 40 s, posteriormente con alcohol etílico al 75% por 40 s y finalmente con agua destilada por 40 s, la semilla desinfestada se colocó sobre gasas limpias para secarlas a temperatura ambiente en un lugar aislado libre de contaminación.

### **5.9. Selección de los biofertilizantes**

Se realizó una selección de las colectas más destacadas de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) que han mostrado alta efectividad biológica en experimentos realizados con anterioridad, estos son: Micorriza Cepa D1 y el producto comercial Micorriza INIFAP®.

### **5.10. Inoculación de semilla**

Una vez desinfestada la semilla, la inoculación se realizó conforme las indicaciones del INIFAP, esto es, se preparó el adherente (carboximetilcelulosa) en agua caliente. La semilla se humedeció con el adherente y posteriormente se le adicionó el inoculante, se secó y almacenó a la sombra hasta la siembra.

### **5.11 Tratamientos y distribución**

Los 16 tratamientos evaluados se describen en la Cuadro 4.1. El factor (A) consistió en fertilización-inoculación: i) Testigo fertilizado al 100% (180-60-00) de N-P-K, sin

## MATERIALES Y MÉTODOS

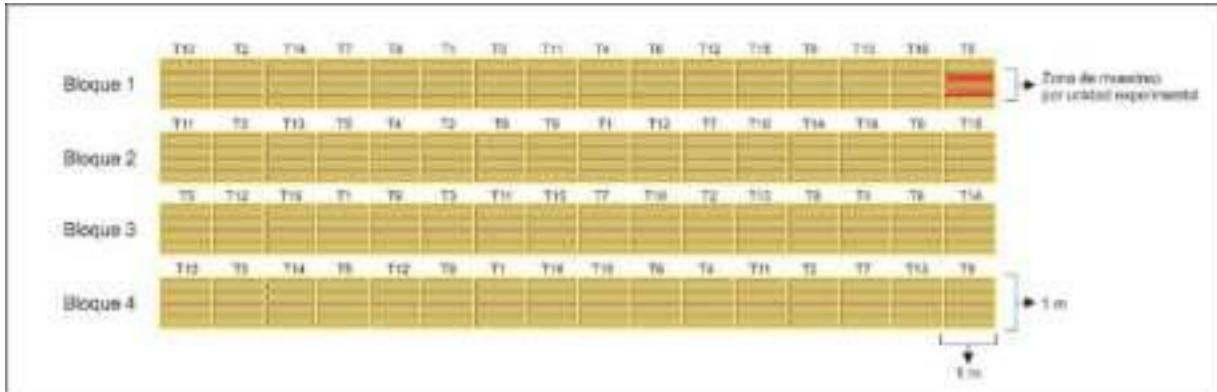
micorriza, ii) Testigo fertilizado al 50% sin micorriza, iii) Fertilizado al 50% e inoculado con Micorriza INIFAP; y iv) fertilizado al 50% e inoculado con Micorriza Cepa D1. El factor (B) consistió en cuatro tipos de riegos: i) un riego 0 dds (siembra), ii) dos riegos 45 dds (siembra y espigamiento), iii) tres riegos 70 dds (siembra, espigamiento y formación de semilla); y iv) cuatro riegos 90 dds (siembra, espigamiento, formación de semilla y madurez fisiológica).

**Cuadro 5.1.** Descripción de tratamientos

No. Tratamientos	Factor (A) Fertilización (%)	Factor (B) Riegos aplicados
1	100	1
2	100	2
3	100	3
4	100	4
5	50	1
6	50	2
7	50	3
8	50	4
9	50 + INIFAP	1
10	50 + INIFAP	2
11	50 + INIFAP	3
12	50 + INIFAP	4
13	50 + Cepa D1	1
14	50 + Cepa D1	2
15	50 + Cepa D1	3
16	50 + Cepa D1	4

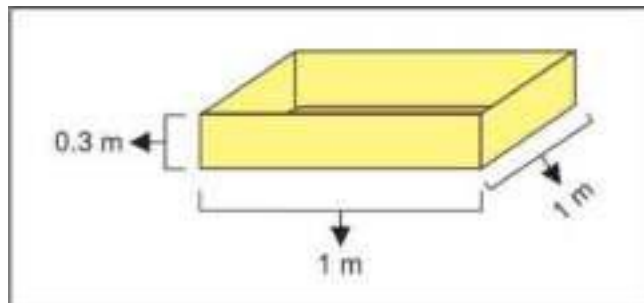
La distribución y las dimensiones del experimento se describen en la Figura 4.1. Son 16 tratamientos con cuatro repeticiones resultando un total de 64 UE, en cada UE la cosecha fue de los dos surcos intermedios para su respectiva evaluación en los componentes de rendimiento y obtención de semilla para determinar la calidad física y vigor.





**Figura 5.1.** Distribución de las unidades experimentales.

La UE de cada tratamiento fue de 1 m de ancho por 1 metro de largo con 0.30 m de alto, como se observa en la Figura 4.2. Se sembraron cuatro surcos separados 0.25 m.



**Figura 5.2.** Dimensión de cada Unidad experimental.

### 5.12. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SAS 9 (SAS INSTITUTE 9, 2009); los datos del experimento fueron sometidos a un análisis de varianza individual (ANOVA); el modelo estadístico (Cuadros 4.2 y 4.3) del diseño experimental fue factorial 4x4. Cuando la prueba de F resultó significativa se realizó la comparación de medias mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (DSH) con  $\alpha \leq 0.05$ .

**5.13. Desglose del modelo estadístico**

**Cuadro 5.2.** Fuentes de variación y grados de libertad de la evaluación de la inoculación con hongos micorrízicos en la producción de semilla de cebada sometida a distinto número de riegos. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fuente de variación	Grados de libertad
Factor A	a-1= 3
Factor B	b-1= 3
Interacción AB	(a-1) (b-1)=9
Error	ab(n-1)=48
Total	abn-1= 63

**Cuadro 5.3.** Fuentes de variación y grados de libertad de la evaluación de contenido de PSRG\* en suelo de la inoculación con hongos micorrízicos en la producción de semilla de cebada sometida a distinto número de riegos. INIFAP-Bajío, 2017.

Fuente de variación	Grados de libertad
Factor A	a-1= 3
Factor B	b-1= 3
Factor C	c-1=2
Interacción AB	(a-1) (b-1)=9
Interacción AC	(a-1) (c-1)=6
Interacción BC	(b-1)(c-1)=6
Interacción ABC	(a-1)(b-1)(c-1)=18
Error	abc(n-1)=96
Total	abcn-1= 143

PSRG\*: Proteína del suelo relacionado a glomalina.

**5.14. Ecuación de Tukey**

$$\omega = q_{\alpha}(k, v) \sqrt{\frac{CM_E}{n_g}}$$

Donde:

k = número de los tratamientos o niveles (k, v).

v = grados de libertad asociados al CM<sub>E</sub>, con v= N-k.

$n_g$  = número de observaciones en cada uno de los  $k$  niveles (lo que implica un diseño balanceado).

$\alpha$  = nivel de significancia.

$q_\alpha(k, v)$  = valor de Tablas de Tukey (rangos estandarizados de Tukey).

### 5.15. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau_i \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto de tratamiento (Fertilización)

$\beta_j$  = Efecto de bloque (Riego)

$\tau_i \beta_j$  = Efecto de interacción de tratamiento con bloque (fertilización con riego)

$\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental

### 5.16. Variables fisiológicas

#### 5.16.1. Índice de clorofila

La medición de la clorofila se realizó con el equipo SPAD modelo minolta 502, la medición se hizo en la hoja bandera por las mañanas de 8-9 am, en cuatro estadios fenológicos del cultivo: amacollamiento, espigamiento, formación de semilla y madurez de semilla.

#### 5.16.2 Longitud de la parte aérea

La altura se midió en cuatro estadios fenológicos: amacollamiento, espigamiento, formación de semilla y madurez de semilla.

Cuando el cultivo alcanzó su madurez fisiológica (más del 80% en tallo, pedicelo e inflorescencia de la planta estuvieron secos y la semilla presentó entre un 12-14% de humedad), se procedió a realizar la cosecha.

### **5.17. Variables de componentes de rendimiento**

#### **5.17.1. Peso seco de biomasa (PSB)**

Las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a 70°C durante 48 h hasta alcanzar un peso constante, posteriormente se pesaron en una balanza digital, seguido de la interpolación del área de muestreo a una ha.

#### **5.17.2. Peso seco de la semilla**

La semilla se trillo manualmente, se limpió con una zaranda de 1-6 mm x 9.5 mm, se retiraron todos los componentes físicos distintos a la semilla y se procedió a pesar cada unidad experimental con su respectiva repetición en una balanza digital, seguido de la interpolación del área de muestreo a una ha.

#### **5.17.3. Índice de cosecha (IC)**

Se calculó determinando el porcentaje del peso seco de la semilla con relación al peso seco total de la parte aérea.

#### **5.17.4. Número de espigas m<sup>-2</sup>**

Se cosecharon los dos surcos intermedios de cada unidad experimental, las plantas se colocaron en una bolsa de plástico, se llevaron al laboratorio en el que se contabilizaron todas las espigas.

#### **5.17.5. Número de semillas m<sup>-2</sup>**

Se contabilizaron 100 semillas y se registró su peso en cuatro ocasiones, posteriormente se pesó en una balanza analítica toda la semilla cosechada de cada UE y se realizaron los cálculos correspondientes.

### 5.18. Calidad física

#### 5.18.1. Germinación estándar (GE)

Se realizó la prueba de germinación estándar "entre papel" (ISTA, 2005). Se colocaron 100 semillas desinfectadas con CAPTAN al 2% (10 columnas y 10 hileras) en un papel germinativo previamente humedecido con agua destilada sobre una superficie plana, posteriormente se cubrió con otro papel germinativo humedecido y se enrollaron en forma de "taco", se introdujeron en una cámara germinadora a 21°C, el conteo de las semillas germinadas se realizó al cuarto y al séptimo día.

#### 5.18.2. Peso de mil semillas (PMS)

Se calculó a partir del peso de 400 semillas de cada repetición obtenido en una balanza analítica.

#### 5.18.3 Peso hectolítrico (PHL)

Se realizó conforme a lo descrito en la Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003, consistió en pesar las semillas que se necesitaron para llenar un volumen de 25 mL de una probeta, posteriormente el peso se llevó a los 1000 mL.

### 5.19. Calidad fisiológica

#### 5.19.1. Vigor inicial de plántula

Se realizó en cama de arena, se utilizaron 50 semillas por tratamiento y se cuantificó: velocidad de emergencia (VE) (Maguire, 1962); los conteos de emergencia se hicieron a los 4, 5, 6, 7 dds; los valores obtenidos fueron usados para estimar el porcentaje de emergencia (%E), índice de emergencia (IE) y el índice de la tasa de emergencia (ITE), tal y como lo describe Faroke y Ayoola (1980), Farorede y Ojo (1981) y Cervantes *et al.* (2006).

### **5.19.2. Peso seco de la parte área (PSPA) y longitud de plántula (LP)**

Se realizó a los 15 dds en una muestra de 10 plantas con competencia completa por unidad experimental. Con las variables PSPA y LP se calculó el índice de vigor I y II (IV-I y IV-II, respectivamente) como lo describió Kharb et al. (1994), los cuales se obtienen al multiplicar el porcentaje de emergencia con la longitud de plántula y el peso seco de plántula, respectivamente (Cervantes *et al.*, 2006).

### **5.19.3. Índice de velocidad de emergencia (IVE)**

Se llevaron a cabo conteos diarios del número de plántulas emergidas, considerando como primer día aquél en que se observó la primera plántula emergida; el final del conteo fue a siete días después del establecimiento del experimento. El IVE se calculó de acuerdo a la propuesta de Maguire (1962).

### **5.19.4. Porcentaje de emergencia (%E)**

Se calculó dividiendo el número total de plántulas germinadas entre el número total de semillas.

### **5.19.5. Índice de emergencia (IE)**

Se realizaron conteos diarios del número de semillas germinadas, considerando semillas con la radícula brotada. El cálculo del IVG se hizo de acuerdo a la propuesta de Maguire (1962).

### **5.19.6. Longitud de la parte aérea (LPAE)**

Al 40% de las plántulas tomadas al azar de cada repetición, se les midió la longitud de la parte aérea en cm, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la última hoja.

### **5.19.7. Peso fresco de plántula (PFP)**

Se utilizaron las mismas plantas que se emplearon para medir la longitud de plántula, el PFP se determinó en una báscula de precisión en g.

### **5.19.8. Peso seco de plántula (PSP)**

Se utilizaron las mismas plantas que se emplearon para medir PFP, se colocaron en una estufa a 80 °C durante 72 h; después se determinó en una báscula de precisión el peso seco en g.

### **5.20. Proteína del suelo relacionada a glomalina (PSRG)**

#### **5.20.1. PSRG fácilmente extraíble (PSRG<sub>FE</sub>)**

La determinación de PSRG<sub>FE</sub> se basó en el método descrito por Wright y Upadhyaya (1996) tomó una muestra compuesta de 1.5 kg de suelo a las profundidades de 0-5, 5-10 y 10-15 cm, las muestras se secaron en un horno de convención para llevarlas a una humedad constante, se homogeneizaron con un mortero y posteriormente se tamizaron. Se depositó 1.0 g en un tubo de centrifuga con 8 mL de citrato de sodio a 20 mM (pH 7.0) y se realizó una extracción en autoclave a 121°C durante 30 min, la recolección del sobrenadante se realizó mediante centrifugación a 4000 rpm durante 30 min. La concentración de proteína en el sobrenadante se realizó por el método de BCA G-F, se expresó como g mL<sup>-1</sup>.

#### **5.20.2. PSRG total (PSRG<sub>T</sub>)**

Se tomó una muestra compuesta de 1.5 kg de suelo a las profundidades de 0-5, 5-10 y 10-15 cm, las muestras se secaron en un horno de convención para llevarlas a una humedad constante, se homogeneizaron con un mortero y posteriormente se tamizaron. Se depositó 1.0 g en un tubo de centrifuga con 8 mL de citrato de sodio a 50 mM (pH 8.0) y se realizó una extracción en autoclave a 121°C durante 60 min, en esta etapa de extracción y recolección del sobrenadante se realizaron 13 ciclos hasta que la solución de suspensión del suelo se convirtió en color amarillento, la recolección del sobrenadante se realizó mediante centrifugación a 4000 rpm durante 30 min; después se llevó a un volumen conocido con citrato de sodio. La concentración de proteína en el sobrenadante total extraído se realizó mediante la determinación de

proteína por el método de BCA G-T y se expresó como  $\text{g mL}^{-1}$  (Wright y Upadhyaya 1996).

### **5.20.3. PSRG difícilmente extraíble (GRSP<sub>DE</sub>)**

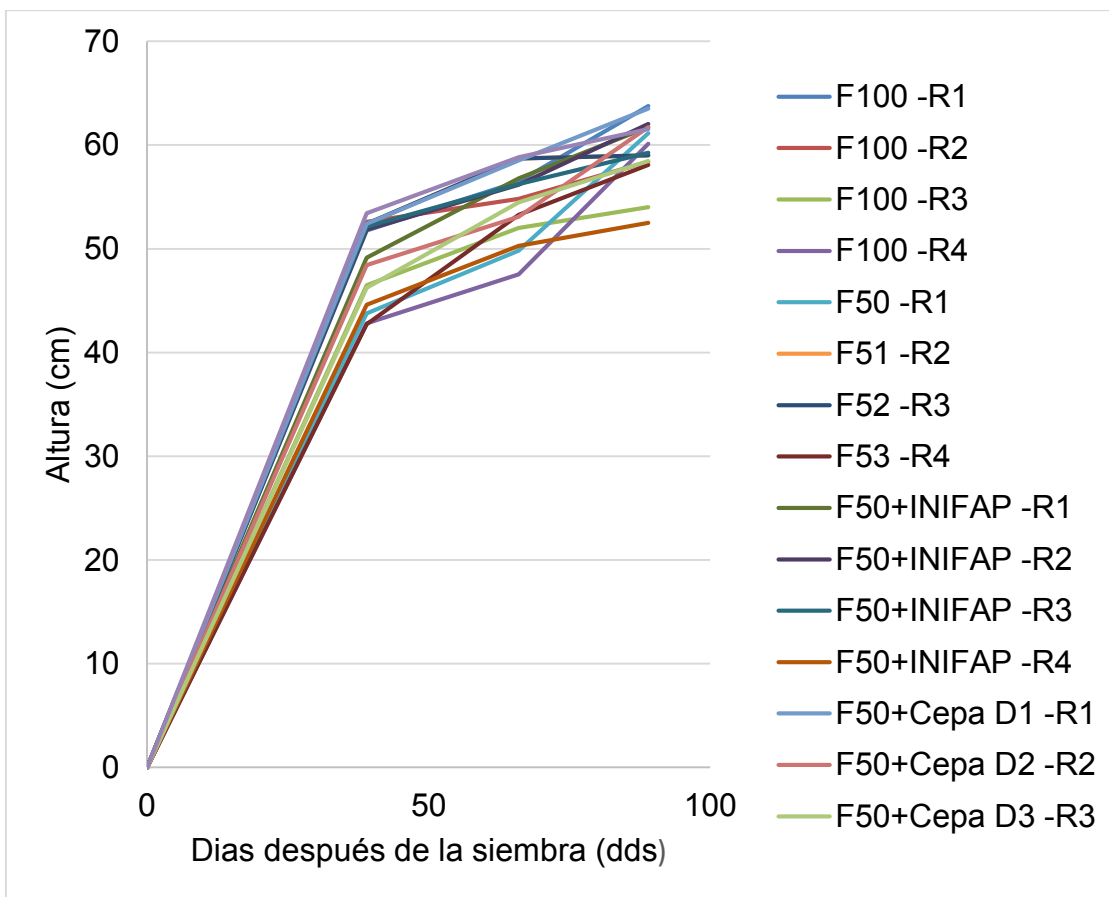
Se calculó como la diferencia entre las cantidades de (PSRG-T) - (PSRG-FE) como lo menciona Wu *et al.*, (2014).



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ALTURA, CLOROFILA Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN CEBADA MALTERA MICORRIZADA SOMETIDA A DIFERENTE NÚMERO DE RIEGOS

La altura de los tratamientos en tres estadios fenológicos se presenta en la figura 6.1. En formación de semilla (89 dds) el cultivo alcanzó la altura máxima. El testigo 100% fertilizado mostró el mismo comportamiento que el tratamiento inoculado con la micorriza INIFAP en los tres estadios fenológicos; la Cepa D1 mostró el mismo comportamiento de altura en amacollamiento y en formación de semilla; los tratamientos inoculados con micorriza INIFAP y la Cepa D1 mostraron mayor altura que el testigo 50% fertilizado.



**Figura 6.1.** Altura en los estadios fenológicos de amacollamiento, espigamiento y formación de semilla en el cultivo de cebada Esperanza. INIFAP-CEBAJ,2017.

En el Cuadro 6.1 Se reporta el análisis de varianza de altura, clorofila y componentes de rendimiento; en la fuente de variación del parametro fertilización las variables AFS, PP y NES no presentaron diferencias estadísticas significativas; las variables CFS y PST no mostraron diferencias estadísticas significativas y las variables PSE, IC, NS y PMS presentaron diferencias estadísticas altamente significativas. Con respecto a la fuente de variación del parametro riegos aplicados, las variables CFS y PSP no presentan diferencias estadísticas significativas; sin embargo, las variables PST y NS presentaron diferencias estadísticas significativas; en las variables AFS, PSE, IC, NES y PMS las diferencias estadísticas son altamente significativas; en la interacción de ambas fuentes, F\*Ra, las variables AFS, CFS, PSP las diferencias estadísticas fueron significativas y en PSE, PST, IC, NES, NS y PMS fueron altamente significativas.

En el Cuadro 6.2 se presentan los resultados del efecto de la fertilización en la variable CFS y PST, el testigo 100% fertilizado mostró el mismo comportamiento estadístico con la inoculación de INIFAP y la Cepa D1; en las variables PS y NS el testigo 100% fertilizado fue superior; sin embargo, el testigo 50% fertilizado mostró el mismo comportamiento que los tratamientos con la inoculación de INIFAP y Cepa D1; con respecto a la variables IC y PMS, el testigo 100% fertilizado fue superior y el testigo 50% fertilizado mostró el mismo comportamiento con el tratamiento inoculado con INIFAP y sólo la Cepa D1 mostró el menor efecto.

**Cuadro 6.1.** Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de las variables evaluadas en el cultivo de cebada micorrizada sometida a diferentes números de riego, evaluadas en invernadero. INIFAP-CEBAJ. 2017.

Fuente de variación	g.l.	AFS (cm)	CFS (U. SPAD)	Peso seco (kg ha <sup>-1</sup> )			IC	NES	NS	PMS (g)
				PS	PSP	PST				
<b>Fertilización (F)</b>	3	23.75 ns	14.50 *	1637743.72 **	433733.53 ns	2290229.57 *	0.0134 **	5324.44 ns	5056953.20 **	46.60 **
<b>Riegos aplicado (Ra)</b>	3	196.39 **	4.41 ns	1762315.70 **	500107.46 ns	2689334.44 *	0.0162 **	134009.20 **	3873099.28 *	373.76 **
<b>F* Ra</b>	9	87.87 *	9.46 *	1328231.57**	1223403.71 *	4389878.91 **	0.0062 **	32952.60 **	7515200.49 **	133.71**
<b>Error</b>	48	22.38	5.13	72130.02	355621.38	516391.49	0.00059	2433.06	587440.8	1.97
<b>C.V.</b>		8.19	4.04	11.76	9.74	8.54	9.07	9.73	11.6	4.05

\*, \*\* = significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; g.l.= grados de libertad; C.V.= Coeficiente de variación; F=Fertilización; R=Riegos; AFS= Altura en formación de semilla; CFS=Clorofila en formación de semilla; PS=Peso de semilla; PP=Peso de paja; PST= Peso seco total; IC=Índice de cosecha; NES= Número de espigas m<sup>-2</sup>; NS=Número de semillas m<sup>-2</sup>; PMS=Peso de mil semillas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

**Cuadro 6.2.** Comparación de medias (Tukey) en Altura, Clorofila y componentes de rendimiento en el factor fertilización. INIFAP-CEBAJ. 2017.

Fertilización	AFS (cm)	CFS (U. SPAD)	Peso seco (kg ha <sup>-1</sup> )			IC	NES	NS	PMS (g)
			PS	PP	PST				
<b>F50%</b>	56.35	54.85 b*	2137.67 b	5923.6	8061.2 b	0.26 b	530.44	6383.0 b	34.17 b
<b>F100%</b>	58.88	57.16 a	2748.09 a	6196.6	8944.7 a	0.30 a	486.78	7442.1 a	36.78 a
<b>INIFAP</b>	58.63	56.25 ab	2220.22 b	6196.6	8284.8 ab	0.26 b	500.78	6314.9 b	34.81 b
<b>Cepa D1</b>	57.07	55.85 ab	2026.67 b	6303.9	8330.6 ab	0.23 c	508.33	6267.4 b	32.66 c
<b>DSH</b>	4.45	2.13	252.71	561.12	676.16	0.02	46.41	721.18	1.32

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH=Diferencia significativa honesta; AFS= Altura en formación de semilla; CFS=Clorofila en formación de semilla; PS= Peso de semilla; PP=Peso de paja; PST= Peso seco total; IC=Índice de cosecha; NES= Número de espigas m<sup>-2</sup>; NS=Número de semillas m<sup>-2</sup>; PMS=Peso de mil semillas.

En el Cuadro 6.3 se presentan los resultados del número de riegos. El efecto en la variable AFS con la aplicación de un riego es el que presentó mayor significancia, la aplicación de dos, tres y cuatro riegos tienen la misma significancia menor en comparación al primer riego; en la variable PS se obtuvo un mayor peso con la aplicación de cuatro riegos y el menor fue con uno; para PST la aplicación de dos y cuatro riegos mostraron el mismo efecto; se registró un mayor IC con la aplicación de tres y cuatro riegos teniendo el mismo comportamiento en la variable NES, en NS se mostró el mismo efecto con la aplicación de uno y cuatro riegos; sin embargo, el PMS con la aplicación de un riego mostró un efecto menor estadísticamente en comparación de dos, tres y cuatro riegos.

**Cuadro 6.3.** Comparación de medias (Tukey) en altura, Clorofila y componentes de rendimiento en el factor riegos aplicados. INIFAP-CEBAJ. 2017.

Riegos aplicados	AFS (cm)	CFS (U. Spad)	Peso seco (kg ha <sup>-1</sup> )			IC	NES	NS	PMS (g)
			PS	PP	PST				
<b>Riego 1</b>	62.53 a	55.85	1847.56 c	6152.4	8000.00 b	0.223 c	403.22 c	6632.8 ab	27.41 b
<b>Riego 2</b>	57.81 b	56.51	2321.22 b	6192.8	8514.0 ab	0.271 b	455.89 b	6160.9 b	37.77 a
<b>Riego 3</b>	54.33 b	55.40	2308.42 b	5868.2	8176.7 b	0.277 ab	585.44 a	6334.1 b	36.48 a
<b>Riego 4</b>	56.26 b	56.44	2655.45 a	6275.1	8930.6 a	0.299 a	581.78 a	7279.5 a	36.78 a

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

DSH	4.45	2.13	252.71	561.12	676.16	0.02	46.41	721.18	1.32
-----	------	------	--------	--------	--------	------	-------	--------	------

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH= Diferencia significativa honesta; AFS=Altura en formación de semilla; CFS=Clorofila en formación de semilla; PS=Peso de semilla; PP=Peso de paja; PST=Peso seco total; IC=Índice de cosecha; NES=Número de espigas  $m^{-2}$ ; NS=Número de semillas  $m^{-2}$ ; PMS=Peso de mil semillas.

Los cultivos agrícolas de importancia comercial, particularmente los cereales, requieren niveles óptimos de agua durante su desarrollo fenológico para evitar procesos de estrés (Lata y Prasad, 2011; Kumar y Verma, 2018). En la interacción fertilización con el número de riegos (Cuadro 6.4), se observó que en la variable AFS con uno y dos riegos, el testigo 100% fertilizado presenta el mismo comportamiento con los tratamientos que estuvieron inoculados con micorriza INIFAP y Cepa D1, esto se corrobora con lo que menciona Vinarl *et al.*, (2017); las micorrizas contribuyen a mantener el estado físico y fisiológico de las plantas en condiciones de estrés biótico y abiótico. La micorriza INIFAP y el testigo 50% fertilizado con tres riegos registra un mejor comportamiento con respecto al testigo 100% fertilizado. El cultivo de cebada es capaz de adaptarse a deficiencias hídricas acortando su ciclo de crecimiento, acelerando sus procesos bioquímicos, lo que permite un desarrollo más rápido; esto se refleja en el índice de clorofila (Monart *et al.*, 2004), en la variable CFS se vió el mismo comportamiento en la mayoría de los tratamientos; además, el cultivo presentó una alta resistencia a la deficiencia de agua, ya que después de 80 con respecto a los tratamientos que recibieron solo un riego, la hoja bandera aún presentaba niveles similares de clorofila con los tratamientos que habían recibido dos y tres riegos.

La cebada al tener adaptación a la restricción hídrica, provoca una disminución en su productividad (Sanchez-Díaz *et al.*, 2002), los tratamientos con micorriza aumentaron el PS cuando las plantas se encontraban en condiciones de déficit de agua, se ha observado que se debe al mayor suministro de nutrimentos bajo esas condiciones (Kumar y Verma, 2018). Se registró un comportamiento homogéneo en la variable PP con el testigo 100 fertilizado en conjunto con los dos tratamientos inoculados con Micorriza INIFAP y la Cepa D1, sólo el testigo 50% fertilizado con un riego presenta menor efecto. En la variable PST el testigo 100% fertilizado con la aplicación de uno,

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

tres y cuatro riegos, el testigo 50% fertilizado con tres y cuatro riegos, el tratamiento inoculado con la micorríza INIFAP con dos riegos y la Cepa D1 con dos y cuatro riegos muestran los mejores comportamientos en esta variable. Resultados similares son reportados cuando se han inoculado microorganismos; además de promover el crecimiento en plantas de trigo, mejoró el peso del grano y el peso seco total (Nia *et al.*, 2012).

Samarah *et al.* (2009), en un estudio sobre baja disponibilidad hídrica en el cultivo de cebada en condiciones de secano, encontraron que disminuyó el IC, lo mismo se observó en el presente experimento en la mayoría de los tratamientos, en la inoculación con la Cepa D1 y la aplicación de cuatro riegos se obtuvo el mayor IC. Algunos microorganismos utilizados como biofertilizantes tienen el potencial de tolerar baja disponibilidad hídrica y promover crecimiento y desarrollo de las plantas (Finkel *et al.*, 2017).

La cebada disminuye su productividad cuando se presentan deficiencias hídricas (Lopes-Castañeda, 2011); en este ensayo se encontró que en la variable NES, el testigo 100% fertilizado con tres riegos, el testigo 50% fertilizado con tres y cuatro riegos, la inoculación con micorríza INIFAP y la Cepa D1 con cuatro riegos, mostraron los mayores valores, en los diversos tratamientos, la productividad fue disminuyendo mientras se reducían los riegos.

López-Castañeda (2011), evaluó la misma variedad de cebada Esperanza, encontró que el número de granos producidos por m<sup>2</sup> en condiciones normales de riego fue menor que en condiciones de sequía o secano. En la variable NS, el testigo 100% fertilizado con uno y tres riegos como también la Cepa D1 con cuatro riegos muestran mayor significancia. Cossani *et al.* (2009), fundamentan que el periodo de llenado de grano en secano favorece el establecimiento de un mayor número de granos por m<sup>2</sup> que en riego, donde el cultivo atrasa su senescencia aprovechando recursos disponibles para el mejor desarrollo de sus granos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Otro tipo de estrategia, no considerada por muchos autores como de auténtica resistencia al déficit hídrico, es la elusiva o escape a la sequía, en esta las plantas completan su ciclo vital antes de la llegada del estrés hídrico y, por lo tanto, el periodo desfavorable lo pasan en forma de semilla (Valladares *et al.*, 2004).

**Cuadro 6.4.** Interacción del factor fertilización y riegos aplicados en altura, clorofila y componentes de rendimiento en el cultivo de cebada matera. INIFAP-CEBAJ. 2017.

Fertilización (%)	Riegos aplicados	AFS (cm)	CFS (U. Spad)	Peso seco (kg ha <sup>-1</sup> )			IC	NES	NS	PMS (g)
				PS	PP	PST				
100	1	63.75 a*	57.82 ab	3049.8 ab	6928.0 a	9977.8 a	0.307 ab	476.45 cdef	7668.7 abc	39.79 ab
100	2	57.65 abcde	56.24 ab	522.22 de	5633.8 ab	7722.7 cdef	0.270 bc	469.34cdef	6624.1 cde	31.54 fg
100	3	54.00 cdef	58.32 ab	3127.5 a	5706.3 ab	8833.8 abcde	0.352 a	592.45 abc	8526.8 ab	36.63 bcd
100	4	60.12 abc	56.25 ab	2726.2 abc	6518.2 ab	2311.1 abc	0.297 ab	408.89 def	6948.9 cde	39.17 abc
50	1	61.15 abc	54.69 ab	1547.1 efg	5386.2 b	6933.33 f	0.222 cd	390.67 ef	7247.8 bcd	21.48 h
50	2	49.85 ef	57.59 ab	1894.7 ef	5705.3 ab	7600.0 def	0.247 bcd	427.11 def	4842.6 fg	39.09 abc
50	3	56.32 abcde	52.65 b	2647.1 abc	6314.2 ab	8961.3 abcde	0.292 ab	709.78 a	7124.0 bcd	37.13 abcd
50	4	58.10 abcd	54.47 ab	2461.8 cd	6288.4 ab	8750.2 abcde	0.285 b	594.22 abc	6317.5 cdef	38.98 abc
50 +INIFAP	1	61.72 abc	55.44 ab	1688.0 efg	5945.3 ab	7533.3 ef	0.207 de	380.89 f	5575.2 ef	28.63 g
50 +INIFAP	2	62.02 abc	55.83 ab	2791.1 abc	6831.1 ab	9622.2 ab	0.292 ab	479.11 cdef	6911.4 cde	40.39 a
50 +INIFAP	3	59.27 abcd	55.10 ab	1980.9 def	5738.2 ab	7719.1 cdef	0.257 bcd	511.56 bcde	5781.1 def	34.17 def
50 +INIFAP	4	51.50 def	58.63 a	2520.9 bcd	5743.6 ab	8264.4 bcde	0.307 ab	631.56 ab	6991.8 bcde	36.07 cde
50 +Cepa D1	1	63.52 ab	55.45 ab	1205.3 g	6350.2 ab	7555.6 ef	0.157 e	364.89 f	6039.5 def	19.73 h
50 +Cepa D1	2	61.72 abc	56.41 ab	2510.2 bcd	6600.9 ab	9111.1 abcd	0.275 bc	448.00 def	6265.6 cdef	40.07 ab
50 +Cepa D1	3	47.72 f	55.53 ab	1478.2 fg	5714.2 ab	7192.4 f	0.207 de	528.00 bcd	3904.8 g	37.97 abcd
50 +Cepa D1	4	55.32 bcde	56.40 ab	2912.9 abc	6550.2 ab	9463.1 ab	0.307 ab	692.45 a	8859.7 a	32.89 ef
DSH		8.21	5.97	556.56	1398.7	1537.5	0.06	126.93	384.53	3.67

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH=Diferencia significativa honesta; AFS=Altura en formación de semilla; CFS=Clorofila en formación de semilla; PS=Peso de semilla; PP=Peso de paja; PST=Peso seco total; IC=Índice de cosecha; NES=Número de espigas m<sup>-2</sup>; NS=Número de semillas m<sup>-2</sup>; PMS=Peso de mil semilla.



### 6.1.1. Conclusión

La cebada mostró resistencia al estrés hídrico cuando se suministraron pocos riegos; sin embargo, redujo su rendimiento. En los tratamientos donde se les aplicó inoculante INIFAP o cepa D1 con una fertilización del 50%, se incrementó la productividad, conservando los efectos óptimos cuando se le aplicó dos, tres y cuatro riegos. La fertilización al 50% e inoculación con micorriza igualó en beneficios al 100% fertilizado sin micorrizas, el impacto es favorable ya que al reducir el 50% de fertilización se reducirían los gastos de producción y los efectos de contaminación ambiental ocasionada por las pérdidas de N y P.

## 6.2. CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLA EN CEBADA MALTERA MICORRIZADA SOMETIDA A DIFERENTE NÚMERO DE RIEGOS

### 6.2.1. Calidad física de tres parámetros en semilla

El análisis de varianza de la calidad física de tres parámetros en semilla se presenta en el Cuadro 6.5, la fuente de variación del parámetro fertilización muestra que la variable PHL presentó diferencia estadística significativa, esto indica que al menos un tratamiento respondió de manera diferente al tipo de fertilización utilizada; por otro lado, las variables PMS y GE mostraron diferencias estadísticas altamente significativas, todos los tratamientos fueron diferentes. Para la fuente de variación del parámetro riegos aplicados, las variables PMS, PHL y GE presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, lo que indica que los riegos influyeron en la calidad de la semilla. En la interacción de ambas fuentes F\*Ra, también se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas.

**Cuadro 6.5.** Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de las variables evaluadas en calidad física de tres parámetros en semilla de cebada micorrizada sometida a diferentes números de riego, evaluadas a nivel laboratorio. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fuente de variación	g.l.	Cuadrados medios		
		PMS (g)	PHL (kg hL <sup>-1</sup> )	GE (%)
<b>Fertilización (F)</b>	3	50.96 **	22.30*	415.41 **
<b>Riegos aplicados (Ra)</b>	3	379.86**	263.33**	1887.79 **
<b>F*Ra</b>	9	113.65**	76.99 **	333.06**
<b>Error</b>	48	2.87	4.19	33.55
<b>C.V.</b>		4.91	3.75	5.79

\*, \*\* = significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; g.l.=grados de libertad; C.V.= Coeficiente de variación; F=Fertilización; R=Riegos; PMS=Peso de mil semillas; PHL=Peso hectolítrico; GE=Germinación estándar.

En el Cuadro 6.6 se observa que en la variable PMS fue mejor en la fertilización 100%. Para la variable PHL, la fertilización 100%, micorriza INIFAP y la Cepa D1 fueron

estadísticamente similares superando al testigo 50% fertilizado. En la variable GE la fertilización 100% fue la mejor, micorriza INIFAP mostró el mismo comportamiento en la fertilización 50%; sin embargo, la Cepa D1 fue la que presentó menor porcentaje.

**Cuadro 6.6.** Comparación de medias (Tukey) de calidad física de tres parámetro en semilla de cebada maltera para el factor fertilización, INIFAP-CEBAJ 2017.

Fertilización	PMS (g)	PHL(kg/hL)	GE (%)
F50%	34.11 bc	53.35 b	86.00 ab
F100%	36.91 a	55.52 a	91.37 a
INIFAP	34.44 b	55.66 a	54.37 bc
Cepa D1	32.60 c	53.80 ab	79 c
DSH	1.59	1.92	5.45

\*\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH=Diferencia significativa honesta; PMS=Peso de mil semillas; PHL=Peso hectolítrico; GE=Germinación estándar.

En el Cuadro 6.7 se presentan los resultados del efecto del número de riegos. La aplicación de dos y cuatro riegos presentó la misma significancia para las variables PMS y PHL. En la variable GE cuando se aplicaron dos, tres y cuatro riegos no hubo diferencias; por el contrario, el tratamiento con un solo riego produjo mala calidad de la semilla conforme a las tres variables que se evaluaron.

**Cuadro 6.7.** Comparación de medias (Tukey) de calidad física de tres parámetros en semilla de cebada matera para el factor riegos aplicados. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Riegos aplicados	PMS (g)	PH (kg/hL)	GE (%)
Riego 1	27.28 c*	48.71 c	68.93 b
Riego 2	37.90 a	57.67 a	89.93 a
Riego 3	36.29 b	55.10 b	91.31 a
Riego 4	36.59 ab	56.84 ab	91.00 a
DSH	1.59	1.92	5.45

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH=Diferencia significativa honesta; PMS=Peso de mil semillas; PHL=Peso hectolítrico; GE=Germinación estándar.

En la interacción de los factores fertilización el números de riegos (Cuadro 6.8), se observo que la calidad de semilla se vió afectada con la aplicación de solo un riego. Pérez-Ruiz *et al.* (2010), realizaron la evaluación de 10 genotipos de cebada en el que se incluía la variedad Esperanza, para esta variedad el PMS registro un valor de 40.19 g, similar a lo obtenido en la presente investigación; los tratamientos que obtuvieron los mismos valores en PMS fueron Micorriza INIFAP y la Cepa D1 con la aplicación de dos riegos y el testigo fertilizado al 100% con 1, 3 y 4 riegos.

En la variable PHL (Cuadro 6.8), la Cepa D1 con dos riegos fue el tratamiento que mostró el mayor valor, algunos microorganismos pueden superar las duras condiciones en deficiencias hídricas de las planta (Finkel *et al.*, 2017). De acuerdo a la norma NMX-FF-043-SCFI-2003 las interacciones mencionadas alcanzan los estándares de calidad que igualan o superan los 56 kg hL<sup>-1</sup>.

En GE el testigo 50% y 100% fertilizado con cuatro riegos al igual que la micorriza INIFAP con dos riegos y la Cepa D1 con tres riegos fueron superiores, registrando una germinación arriba del 94%; sin embargo, los tratamientos testigo 50% fertilizado, micorriza INIFAP y Cepa D1 que tuvieron solo un riego, presentaron germinaciones por debajo de lo permitido de acuerdo al ISTA (2005) y la NMX-FF-043-SCFI-2003, que indica que debe ser arriba del 85%. La cebada cuando se encuentra en condiciones de estrés hídrico aumenta su actividad metabólica, lo cual hace que el cultivo sea más precoz en comparación a otros cereales (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2004) debido a esto puede ser que los tratamientos con solo dos riegos presentaron estrés y ocasionara que la planta se activara metabólicamente para acortar los días de formación y madurez de semilla, permitiendo obtener buena calidad; se observaron los beneficios directos en la combinación con la inoculación con la micorriza INIFAP y la Cepa D1, las micorrizas permiten que la planta se aclimate y siga con la asimilación de nutrimentos (Ruiz-Lozano *et al.*, 1995; Bhoopander y Mukerji, 2004).

**Cuadro 6.8.** Interacción del factor fertilización y riegos aplicados en la calidad física de tres parámetros en semilla de cebada matera. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fertilización (%)	Riegos	PMS (g)	PHL (kg hL <sup>-1</sup> )	GE (%)
100	1	39.79 a*	55.10 bc	90.75 ab
100	2	32.04 ef	53.53 c	91.25 ab
100	3	36.63 abcd	53.36 c	86.25 ab
100	4	39.17 ab	60.10 ab	97.00 a
50	1	21.48 g	42.77 d	69.50 cd
50	2	39.09 ab	57.63 abc	86.75 ab
50	3	36.88 abcd	55.46 bc	91.75 ab
50	4	38.98 ab	57.53 abc	96.00 a
50 +INIFAP	1	28.38 f	54.00 c	59.50 d
50 +INIFAP	2	40.39 a	58.50 abc	94.75 a
50 +INIFAP	3	33.67 cde	56.03 abc	91.00 ab
50 +INIFAP	4	35.32 bcd	54.13 c	92.25 ab
50 +Cepa D1	1	19.48 g	43.00 d	56.00 d
50 +Cepa D1	2	40.07 a	61.03 a	85.25 ab
50 +Cepa D1	3	37.97 abc	55.56 bc	96.25 a
50 +Cepa D1	4	32.89 de	55.63 bc	78.50 bc
<b>DSH</b>		<b>4.45</b>	<b>5.4</b>	<b>14.7</b>

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH= Diferencia significativa honesta; PMS=Peso de mil semillas; PHL=Peso hectolítrico; GE=Germinación estándar.

### 6.2.2. Calidad fisiológica de semilla

El análisis de varianza de la calidad fisiológica en semilla se presenta en el Cuadro 6.9. En la fuente de variación del parámetro fertilización sólo la variable %E presentó diferencia estadística significativa y las variables IVE, IE, V-I y LPA mostraron diferencias estadísticas altamente significativas; sin embargo, las variables ITE, V-II, PFPA y PSPA, no presentaron diferencias estadísticas. Para la fuente de variación del parámetro riegos aplicados, la variable ITE no presentaron diferencias significativas y las variables IVE, %E, IE, V-I, V-II, LPA, PFPA, PSP mostraron diferencias estadísticas altamente significativas, los tratamientos de riegos aplicados crearon un efecto diferente a la calidad fisiológica de la semilla. En la fuente de la interacción F\*Ra, sólo IE presentaron diferencia estadística significativa; sin embargo, las variables IVE, %E,

V-I, V-II, LPA, PFFA y PSPA, mostraron diferencias estadísticas altamente significativas, por lo que la interacción de ambos niveles creó efectos diferentes en cuanto a la calidad fisiológica de semilla.

En la fertilización (Cuadro 6.10), las variables IVE, IE y %E registraron la misma significancia estadística en el testigo 100% fertilizado y la micorriza INIFAP, en cambio el testigo 50% fertilizado presentaron el mismo comportamiento con la Cepa D1. En el caso de V-I, el testigo 100% fertilizado registraron la misma significancia con la micorriza INIFAP. En la variable LPA, los testigos 50%, 100% y micorriza INIFAP registraron la misma significancia estadística.

**Cuadro 6.9.** Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de las variables evaluadas en calidad fisiológica de semilla de cebada micorrizada sometida a diferentes números de riego, evaluadas a nivel laboratorio, INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fuente de Variación	g.l.	IVE	%E	IE	ITE	V-I	V-II	LPA	PFFPA	PSPA
<b>Fertilización (F)</b>	3	41.41**	58.89*	0.45**	0.000018ns	244825.64**	5.04 ns	21.75 **	0.14 ns	0.00019 ns
<b>Riegos aplicados (Ra)</b>	3	144.09**	280.72**	1.24**	0.000010ns	686979.14**	397.79 **	40.43 **	4.27 **	0.0354**
<b>F*Ra</b>	9	31.49**	91.25**	0.21*	0.000006ns	244067.01**	101.38**	15.61**	1.78**	0.0091 **
<b>Error</b>	48	3.58	11	0.05	0.000007	17171.03	1.79	1.68	0.12	0.0002
<b>C.V.</b>		6.17	3.51	5	5.68	7.71	6.58	7.26	10.82	6.72

\*, \*\* = significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; g.l.= grados de libertad; C.V.= Coeficiente de variación; F=Fertilización; R=Riegos; Índice de velocidad de emergencia=IVE; porcentaje de emergencia=%E; índice de emergencia=IE; índice de la tasa de emergencia=ITE; Vigor uno =V-I; Vigor dos=V-II; Longitud de la parte aérea=LPA; Peso fresco de la parte aérea=PFFPA; Peso seco de la parte aérea=PSPA.

**Cuadro 6.10.** Comparación de medias (Tukey) de calidad fisiológica de semilla de cebada maltera para el factor fertilización. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fertilización	IVE	%E	IE	ITE	V-I	V-II	LPA	PFPA	PSPA
<b>F50</b>	29.36 b	93.00 b	4.39 b	0.047	1651.69 bc	19.86	17.62 a	3.26	0.209
<b>F100</b>	32.69 a	97.18 a	4.71 a	0.048	1822.20 a	20.94	18.73 a	3.38	0.215
<b>INIFAP</b>	31.29 a	94.37 ab	4.63 a	0.049	1773.05 ab	19.83	18.79 a	3.34	0.209
<b>Cepa D1</b>	29.42 b	93.25 b	4.37 b	0.046	1547.33 c	20.64	16.31 b	3.16	0.216
<b>DSH</b>	1.78	3.12	0.21	0.0026	123.3	1.25	1.22	0.33	0.013

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). DSH= Diferencia significativa honesta; Índice de velocidad de emergencia =IVE; porcentaje de emergencia=%E; índice de emergencia=IE; índice de la tasa de emergencia=ITE; Vigor uno =V-I; Vigor dos=V-II; Longitud de la parte aérea=LPA, Peso fresco de la parte aérea=PFPA, Peso seco de la parte aérea=PSPA.

En el factor riegos aplicados (Cuadro 6.11) las variables VE, %E, IE, V-I y LPA con la aplicación de dos, tres y cuatro riegos mostraron el mismo efecto estadístico; para las variables V-II, PFPA y PSPA, la aplicación de tres y cuatro riegos fueron superiores estadísticamente; la falta de humedad al aplicar solo un riego ocasionó baja calidad fisiológica de la semilla.

**Cuadro 6.11.** Comparación de medias (Tukey) de calidad fisiológica de semilla de cebada matera en el factor riegos aplicados. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Riegos aplicados	IVE	%E	IE	ITE	V-I	V-II	LPA	PFPA	PSPA
<b>1 riego</b>	26.19 b*	88.18 b	4.12 b	0.046	1392.63 b	13.00 c	15.51 b	2.53 b	0.14 c
<b>2 riegos</b>	31.45 a	96.62 a	4.60 a	0.048	1768.86 a	21.31 b	18.49 a	3.41 b	0.22 b
<b>3 riegos</b>	32.21 a	96.62 a	4.67 a	0.048	1781.02 a	23.30 a	18.42 a	3.52 a	0.24 a
<b>4 riegos</b>	32.91 a	97.25 a	4.73 a	0.048	1851.76 a	23.66 a	19.02 a	3.68 a	0.24 a
<b>DSH</b>	1.78	3.12	0.21	0.0026	123.3	1.25	1.22	0.33	0.013

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes iguales (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). DSH=Diferencia significativa honesta; Índice de velocidad de emergencia=IVE; Porcentaje de emergencia=%E; índice de emergencia=IE; índice de la tasa de emergencia=ITE; Vigor uno =V-I; Vigor dos=V-II; Longitud de la parte aérea=LPA; Peso fresco de la parte aérea=PFPA; Peso seco de la parte aérea=PSPA.

La capacidad de las semillas para germinar y producir una planta normal, es el principal atributo para evaluar su calidad (Fernández-Sosa *et al.*, 2015). En la interacción de los dos factores (A) Fertilización-Inoculación y (B) números de riegos (Cuadro 6.12), la



variable IVE en el testigo 100% fertilizado con todos los tratamientos de riegos mostró la misma significancia estadística; la micorriza INIFAP y la Cepa D1 con dos, tres y cuatro riegos mostraron la misma significancia; el testigo 50% fertilizado obtuvo la misma significancia en tres y cuatro riegos; con solo un riego, el testigo 50% fertilizado, micorriza INIFAP y Cepa D1 mostraron una velocidad de emergencia baja, la semilla se ve afectada por las restricciones hídricas que son desfavorables para el cultivo (Villaseñor *et al.*, 2012).

En la variable %E, el testigo fertilizado 50% y Cepa D1 con un riego mostraron los valores más bajos; sin embargo, los demás tratamientos registraron un potencial alto en el %E, esto concuerda con lo reportado por Lopes *et al.* (2004), indican que la planta acelera su senescencia al tener un régimen de agua no óptimo suministrando los recursos energéticos al desarrollo de la semilla, en específico al desarrollo del embrión. Los HMA permiten a la planta adaptarse en condiciones hídricas restringentes y efectan de manera positiva la asimilación de nutrimentos en etapas sucesivas de desarrollo (Bhoopander y Mukerji, 2004), este efecto se manifestó con los tratamientos que tuvieron inoculación con INIFAP o Cepa D1. En la variable ITE la mayoría de los tratamientos muestran el mismos comportamientos estadístico, la alta velocidad de emergencia tienen una relación directa con un mayor vigor (Fernandez-Sosa *et al.*, 2015), la Cepa D1 con la aplicación de sólo un riego presenta el menor valor estadístico.

En cuanto al V-I en la semilla de acuerdo a la relación que se obtiene con %E y LPA, los mejores tratamientos fueron el testigo 100% fertilizado con uno y cuatro riegos, el testigo 50% fertilizado con dos, tres y cuatro riegos, la micorriza INFAP con dos, tres y cuatro riegos, Cepa D1 con dos y tres riegos; la aplicación de un riego afectó el V-I en semilla.

Con respecto a los resultados de V-II que se obtiene de la relación al %E y PSPA, los tratamientos con inoculación tuvieron los mismos comportamientos a los testigos fertilizados al 100 y 50%, el suministro de un riego afectó el V-II. Las cepas de micorrizas mostraron un efecto en el cultivo en la generación de semilla al poder conservar el V-I y V-II en aplicación de dos riegos; las micorrizas son microorganismos del suelo que establecen relaciones simbióticas e incrementan la asimilación de nutrimentos y la tolerancia a las deficiencias hídricas es una alternativa confiable en los sistemas de producción en seco (Harris-Valles *et al.*,2009).

**Cuadro 6.12.** Interacción del factor fertilización y riegos aplicados en la calidad fisiológica de semilla de cebada matera. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fertilización (%)	Riegos aplicados	IVE	%E	IE	ITE	V-I	V-II	LPA	PFPA	PSPA
100	1	33.15 ab*	98.75 a	4.70 ab	0.048 ab	1914.46 ab	22.26 ab	19.42 ab	3.79 a	0.22bcd
100	2	31.56 abc	94.75 a	4.67 ab	0.049 ab	1633.93 b	13.71 c	17.27 b	2.52 cde	0.145 e
100	3	31.36 abc	96.00 a	4.58 ab	0.047 ab	1699.31 b	25.50 a	17.68 ab	3.42 abc	0.266 a
100	4	34.70 a	99.25 a	4.88 a	0.049 ab	2041.11 a	22.31 ab	20.55 a	3.76 a	0.224 cd
50	1	23.05 d	82.75 b	3.89 cd	0.047 ab	1178.78 c	8.38 d	14.20 c	1.90 de	0.101 f
50	2	29.92 bc	94.00 a	4.45 ab	0.047 ab	1808.06 ab	24.45 a	19.25 ab	3.72 a	0.260 ab
50	3	31.98 abc	98.00 a	4.57 ab	0.046 ab	1777.87 ab	23.34 a	18.12 ab	3.41 abc	0.238 abcd
50	4	32.48 abc	97.25 a	4.66 ab	0.048 ab	1842.05 ab	23.26 ab	18.94 ab	4.02 a	0.239 abcd
50 +INIFAP	1	27.94 c	91.25 a	4.28 bc	0.047 ab	1593.25 b	13.12 c	17.48 b	2.75 bcd	0.144 e
50 +INIFAP	2	32.56 ab	96.75 a	4.71 ab	0.048 ab	1863.01 ab	22.67 ab	19.28 ab	3.65 ab	0.234 abcd
50 +INIFAP	3	32.49 abc	93.50 a	4.86 a	0.052 a	1774.13 ab	19.85 b	18.99 ab	3.48 ab	0.212 d
50 +INIFAP	4	32.17 abc	96.00 a	4.68 ab	0.048 ab	1861.84 ab	23.67 a	19.40 ab	3.49 ab	0.246 abcd
50 +Cepa D1	1	20.62 d	80.00 b	3.60 d	0.045 b	884.02 c	8.25 d	10.95 d	1.67e	0.103 e
50 +Cepa D1	2	31.76 abc	97.50 a	4.56 ab	0.046 ab	1770.45 ab	24.40 a	18.15 ab	3.75 a	0.250 abc
50 +Cepa D1	3	33.00 ab	99.00 a	4.66 ab	0.047 ab	1872.78 ab	24.51 a	18.92 ab	3.76 a	0.247 abcd
50 +Cepa D1	4	32.29 abc	96.50 a	4.68 ab	0.048 ab	1662.06 b	25.42 a	17.21 bc	3.46 ab	0.263 a
<b>DSH</b>		<b>4.6</b>	<b>8.35</b>	<b>0.54</b>	<b>0.0065</b>	<b>324.92</b>	<b>3.43</b>	<b>3.06</b>	<b>0.9</b>	<b>0.035</b>

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH=Diferencia significativa honesta; índice de velocidad de emergencia=VE; porcentaje de emergencia=%E; índice de emergencia=IE; índice de la tasa de emergencia=ITE; Vigor uno=V-I; Vigor dos=V-II; Longitud de la parte aérea=LPA; Peso fresco de la parte aérea=PFPA; Peso seco de la parte aérea=PSPA.

### 6.2.3. Conclusión

La calidad física de la semilla fue severamente afectada cuando a la planta se le aplicó sólo el riego a la siembra, la aplicación de dos riegos junto con la micorriza INIFAP y la Cepa D1 igualaron al testigo 100% fertilizado; y al 50% fertilizado con cuatro riegos; la inoculación permitió conservar las características de calidad física en el PMS, PHL y GE, que son factores muy importantes para el desarrollo futuro de una plántula normal en el campo y su comportamiento en el rendimiento.

El vigor en semilla tuvo correspondencia con respecto al Vigor I y II, la fertilización 100% fue similar que los tratamientos que estuvieron inoculados con Micorriza INIFAP y la Cepa D1 en dos, tres y cuatro riegos, superando en muchos casos al testigo 50% fertilizado; con sólo un riego, el vigor en la semilla disminuyó.

La calidad física y vigor de la semilla con la aplicación de dos, tres y cuatro riegos fertilizados al 100% conserva sus propiedades, al igual que cuando se suministró una fertilización del 50% con la inoculación de las cepas INIFAP y Cepa D1.

### 6.3. CUANTIFICACIÓN DE GLOMALINA EN SUELO EN CEBADA MALTERA MICORRIZADA SOMETIDA A DIFERENTE NÚMERO DE RIEGOS

En el análisis de varianza de la cuantificación de los diferentes tipos de PSRG (Cuadro 6.13), se observa que en la fuente de variación del parametro fertilización, riegos aplicados e interacciones F\*Ra, F\*P, Ra\*P y F\*Ra\*P, las variables PSRG<sub>FE</sub>, PSRG<sub>DE</sub>, PSRG<sub>T</sub> mostraron diferencias estadísticas altamente significativas. Para la fuente de variación del parametro profundidad, PSRG<sub>FE</sub> mostraron diferencias estadísticas altamente significativas, mientras que en las variables PSRG<sub>T</sub> y PSRG<sub>DE</sub> sólo se mostraron diferencias estadísticas significativas.

**Cuadro 6.13.** Cuadrados medios, grados de libertad y nivel de significancia de las variables evaluadas en cuantificación de PSRG en suelo cultivado con cebada micorrizada sometida a diferente número de riegos, INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fuente de variación	g.l.	Cuadrados Medios		
		PSRG <sub>FE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>DE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>T</sub> (mg g <sup>-1</sup> )
<b>Fertilización (F)</b>	3	13.59 **	93.06 **	166.08 **
<b>Riegos aplicados (Ra)</b>	3	1.59 **	5.93 **	3.39**
<b>Profundidad (P)</b>	2	0.27 **	0.99 *	1.86 *
<b>F*Ra</b>	9	1.37**	2.62 **	3.03**
<b>F*P</b>	6	0.13 **	3.52 **	3.14**
<b>Ra*P</b>	6	0.24**	2.32 **	1.68**
<b>F*Ra*P</b>	18	0.11**	5.07 **	4.40 **
<b>Error</b>	96	0.02	0.24	0.24
<b>C.V.</b>		6.86	9.58	6.69

\*, \*\* = significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; g.l.=grados de libertad; C.V.=Coeficiente de variación; PSRG<sub>FE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Fácilmente Extraíble; PSRG<sub>DE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Difícilmente Extraíble; PSRG<sub>T</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Total.

En el Cuadro 6.14 se presentan los resultados del efecto de la fertilización sobre la acumulación de PSRG. En la variable PSRG<sub>FE</sub> y PSRG<sub>T</sub>, la aplicación de la micorriza INIFAP y la Cepa D1 incrementaron la concentración en más del 30%, en comparación a los testigos, cuya concentración osciló en 19%. En la variable PSRG<sub>DE</sub> existió mayor

concentración de PSRG en los tratamientos que estuvieron inoculados con micorriza INIFAP y la Cepa D1, con una concentración del 30% en comparación con los testigos 50 y 100% fertilizado, donde la concentración fue de 18%.

**Cuadro 6.14.** Comparación de medias (Tukey) de la cuantificación de PSRG en el factor fertilización. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fertilización (%)	PSRG <sub>FE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>DE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>T</sub> (mg g <sup>-1</sup> )
<b>F50%</b>	1.96 b	3.45 c	5.42 b
<b>F100%</b>	1.39 c	4.19 b	5.58 b
<b>INIFAP</b>	2.64 a	6.60 a	9.24 a
<b>Cepa D1</b>	2.68 a	6.51 a	9.19 b
<b>DSH</b>	0.09	0.3	0.3

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05); DSH=Diferencia significativa honesta; PSRG<sub>FE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Fácilmente Extraíble; PSRG<sub>DE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Difícilmente Extraíble; PSRG<sub>T</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Total.

En la Cuadro 6.15 se observa que en PSRG<sub>FE</sub> con la aplicación de un riego existió mayor acumulación de PSRG; en PSRG<sub>T</sub> y PSRG<sub>DE</sub>, la acumulación se concentró en la aplicación de cuatro riegos.

**Cuadro 6.15.** Comparación de medias (Tukey) de la cuantificación de PSRG en el factor riegos aplicados. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Riegos aplicados	PSRG <sub>FE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>DE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>T</sub> (mg g <sup>-1</sup> )
<b>1 riego</b>	2.40 a	4.75 c	7.16 b
<b>2 riegos</b>	2.20 b	5.13 b	7.34 b
<b>3 riegos</b>	2.00 c	5.13 b	7.13 b
<b>4 riegos</b>	2.06 c	5.73 a	7.80 a
<b>DSH</b>	0.09	0.3	0.3

\*\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05); DSH= Diferencia significativa honesta; PSRG<sub>FE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Fácilmente Extraíble; PSRG<sub>DE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Difícilmente Extraíble; PSRG<sub>T</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Total.

En el Cuadro 6.16 se muestran el efecto de la profundidad del suelo sobre la acumulación de PSRG, existió mayor acumulación de PSRG<sub>FE</sub> en la profundidad de 5-10 cm, en PSRG<sub>T</sub> y PSRG<sub>DE</sub> existió mayor acumulación de 5-10 y 10-15 cm.

**Cuadro 6.16.** Comparación de medias (Tukey) de la cuantificación de PSRG en el factor profundidad. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Profundidad	PSRG <sub>FE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>DE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>T</sub> (mg g <sup>-1</sup> )
0-5 cm	2.14 b	5.03 b	7.17 b
5-10 cm	2.25 a	5.30 a	7.56 a
10-15 cm	2.11 b	5.23 ab	7.34 a
DSH	0.07	0.24	0.23

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05). DSH= Diferencia significativa honesta; PSRG<sub>FE</sub>= Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Fácilmente Extraíble; PSRG<sub>DE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Difícilmente Extraíble; PSRG<sub>T</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Total.

En la interacción de los factores fertilización con riegos aplicados (Cuadro 6.17), se observa que en la variable PSRG<sub>FE</sub> se cuantificó mayor acumulación en los tratamientos inoculados con la micorriza INIFAP y la Cepa D1, en combinación con los riegos aplicados, sólo el testigo 50% fertilizado con un riego tuvo el mismo comportamiento. En la variable PSRG<sub>T</sub>, todos los tratamientos inoculados con micorriza INIFAP y Cepa D1 fueron superiores significativamente a los testigos 50 y 100% fertilizados. En la variable PSRG<sub>DE</sub> existió mayor acumulación de PSRG en los tratamientos inoculados con micorriza INIFAP y Cepa D1, así como con el testigo 100% fertilizado con cuatro riegos, los cuales muestran mayor acumulación de PSRG que no pudo extraerse, inocular con micorriza promovió la acumulación de PSRG en el suelo.

**Cuadro 6.17.** Interacción del factor fertilización y riegos aplicados en la cuantificación de PSRG. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fertilización (%)	Riegos	PSRG <sub>FE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>DE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>T</sub> (mg g <sup>-1</sup> )
100	1	1.35 cd	3.55 cde	4.90 bc
100	2	1.23 cd	4.06 cde	5.29 bc
100	3	1.60 c	3.97 cde	5.58 bc
100	4	1.37 cd	5.16 abc	6.54 b
50	1	2.79 a	2.51 e	5.31 bc
50	2	2.34 b	3.49 cde	5.84 bc
50	3	1.18 d	2.99 de	4.18 c
50	4	1.53 cd	4.80 bcd	6.34 b

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>50 +INIFAP</b>	1	2.81 a	6.36 ab	9.18 a
<b>50 +INIFAP</b>	2	2.55 ab	6.63 a	9.19 a
<b>50 +INIFAP</b>	3	2.52 ab	6.96 a	9.49 a
<b>50 +INIFAP</b>	4	2.65 ab	6.42 ab	9.08 a
<b>50 +Cepa D1</b>	1	2.66 ab	6.58 ab	9.24 a
<b>50 +Cepa D1</b>	2	2.68 ab	6.33 ab	9.02 a
<b>50 +Cepa D1</b>	3	2.70 ab	6.59 ab	9.29 a
<b>50 +Cepa D1</b>	4	2.68 ab	6.54 ab	9.23 a
<b>DSH</b>		0.38	1.82	1.7

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH=Diferencia significativa honesta; PSRG<sub>FE</sub>= Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Fácilmente Extraíble; PSRG<sub>DE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Difícilmente Extraíble; PSRG<sub>T</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Total.

La interacción de los factores fertilización con profundidad se presenta en el Cuadro 6.18, en PSRG<sub>FE</sub> y PSRG<sub>T</sub> se observa que los tratamientos INIFAP y Cepa D1 en las tres profundidades de suelo registran concentraciones dobles de PSRG; para PSRG<sub>DE</sub>, los tratamientos inoculados mostraron mayor concentración de PSRG en las tres profundidades de suelo en comparación a los testigos 50 y 100% fertilizados.

**Cuadro 6.18.** Interacción del factor fertilización y profundidad en la cuantificación de PSRG. INIFAP-CEBAJ, 2017.

<b>Fertilización (%)</b>	<b>Profundidad (cm)</b>	<b>PSRG<sub>FE</sub> (mg g<sup>-1</sup>)</b>	<b>PSRG<sub>DE</sub> (mg g<sup>-1</sup>)</b>	<b>PSRG<sub>T</sub> (mg g<sup>-1</sup>)</b>
<b>100</b>	0-5	1.43 d	3.47 cd	4.91 b
<b>100</b>	5-10	1.42 d	4.64 b	6.07 b
<b>100</b>	10-15	1.30 d	4.44 bcd	5.75 b
<b>50</b>	0-5	1.76 cd	3.39 cd	5.15 b
<b>50</b>	5-10	2.17 bc	2.92 d	5.09 b
<b>50</b>	10-15	1.96 c	4.04 cd	6.02 b
<b>50 +INIFAP</b>	0-5	2.65 ab	6.65 a	9.31 a
<b>50 +INIFAP</b>	5-10	2.72 a	6.60 a	9.42 a
<b>50 +INIFAP</b>	10-15	2.54 ab	6.44 a	8.99 a
<b>50 +Cepa D1</b>	0-5	2.71 a	6.59 a	9.30 a
<b>50 +Cepa D1</b>	5-10	2.69 ab	6.95 a	9.65 a
<b>50 +Cepa D1</b>	10-15	2.64 ab	5.99 ab	8.63 a
<b>DSH</b>		0.52	1.57	1.42

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH= Diferencia significativa honesta; PSRG<sub>FE</sub>= Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Fácilmente



Extraíble; PSRG<sub>DE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina- Difícilmente Extraíble; PSRG<sub>T</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Total.

En la interacción factores riegos aplicados con profundidad (Cuadro 6.19), PSRG<sub>FE</sub> muestra con tres riegos y una profundidad de 0-5 cm y cuatro riegos a una profundidad de 10-15 cm valores menores en PSRG. En la variable PSRG<sub>T</sub>, todos los tratamientos mostraron la misma significancia en acumulación de PSRG; PSRG<sub>DE</sub>, sólo el tratamiento con un riego a una profundidad de 0-5 cm muestra menor PSRG, en comparación a los demás tratamientos que registran la misma significancia estadística en mayor concentración, la PSRG<sub>DE</sub> que no pudo ser extraído del total acumulado a este tipo de glomalina esta mas relacionado a su estructura del suelo a que sea mas recalcitrante, podría ser más estable, contribuyendo así más para estabilizar agregados (Daynes *et al.*, 2013).

**Cuadro 6.19.** Interacción del factor riegos aplicados y profundidad en la cuantificación de PSRG. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Riegos	Profundidad (cm)	PSRG <sub>FE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>DE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>T</sub> (mg g <sup>-1</sup> )
1	0-5	2.49 a	4.56 b	7.05
1	5-10	2.48 a	4.88 ab	7.37
1	10-15	2.23 ab	4.82 ab	7.06
2	0-5	2.00 ab	4.98 ab	6.98
2	5-10	2.40 ab	5.33 ab	7.73
2	10-15	2.21 ab	5.08 ab	7.29
3	0-5	1.90 b	5.55 ab	7.46
3	5-10	2.03 ab	5.08 ab	7.12
3	10-15	2.07 ab	4.75 ab	6.83
4	0-5	2.15 ab	5.01 ab	7.17
4	5-10	2.09 ab	5.92 ab	8.02
4	10-15	1.93 b	6.26 a	8.20
<b>DSH</b>		<b>0.51</b>	<b>1.55</b>	<b>1.49</b>

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey, p≤0.05); DSH=Diferencia significativa honesta; PSRG<sub>FE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Fácilmente Extraíble; PSRG<sub>DE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Difícilmente Extraíble; PSRG<sub>T</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Total.

A medida que interviene la acción antrópica a través de la agricultura, las concentraciones de PSRG suelen disminuir y debido al empobrecimiento de las poblaciones de micorriza

en los suelos, mezclando además la aplicación de paquetes tecnológicos con altos insumos y el empleo irracional de maquinaria (Morell *et al.*,2004; Hernandez y Morell 2005), esto concuerda con los resultados obtenidos en la interacción de los tres factores de fertilización, riegos aplicados y profundidad (Cuadro 6.20), se observa que en PSRG<sub>FE</sub> el testigo 100% fertilizado presenta la menor significancia en la cuantificación de PSRG; sin embargo, en el testigo 50% fertilizado con un riego en las tres profundidades, como también con dos riegos en solo 5-10 y 10-15 cm registran la misma significancia estadística con los tratamientos que estuvieron inoculados con la micorriza INIFAP y Cepa D1 con todos los riegos aplicados, los cuales tienen las mayores concentraciones de PSRG<sub>FE</sub>.

Want *et al.* (2017), al evaluar diferentes perfiles de suelo hasta en 1 m de profundidad, obtuvo que la concentración de PSRG<sub>FE</sub> disminuyen a medida que se profundiza en el suelo, de 0-20 cm es de 0.74 mg g<sup>-1</sup> y de 80-100 cm 0.29 mg g<sup>-1</sup>; en el experimento el perfil más profundo fue de 10-15 cm y ahí la concentración de PSRG<sub>FE</sub> fue la mínima, con valores de 1.02 mg g<sup>-1</sup> con la fertilización 100% y cuatro riegos; la máxima concentración fue de 2.83 mg g<sup>-1</sup> de PSRG<sub>FE</sub> cuando el experimento se inoculó con micorriza INIFAP y la profundidad fue de 5-10 cm, mostrando que dicha cepa puede ser muy eficiente en la producción de PSRG<sub>FE</sub>. Con respecto a PSRG<sub>T</sub> sucedió lo mismo, a medida que el suelo se muestrea a mayor profundo disminuye la concentración, la cual llegó a ser de 5.80 mg g<sup>-1</sup> y fue la misma en los tratamientos cuando se fertilizó al 50 y 100%; sin embargo, con la inoculación de micorriza INIFAP y Cepa D1 se produjo más PSRG, llegando a concentraciones de 8.25 mg g<sup>-1</sup> hasta 10.27 mg g<sup>-1</sup>.

Para PSRG<sub>T</sub>, sólo el testigo 50% fertilizado con cuatro riegos en la profundidad de 10-15 cm es el que llega a tener valores similares con los tratamientos que estuvieron inoculados con micorriza INIFAP y Cepa D1; sin embargo, la micorriza INIFAP sólo presenta valores mayores cuando se aplicó uno y dos riegos a las profundidades de 5-10 y 5-10 cm,

Morales *et al.* (2005), en la cuantificación de  $PSRG_{FE}$ -  $PSRG_T$  en suelos con dos tipos de labranza, rotación de cultivos y dos perfiles, encontraron que la concentración de PSRG de 0-10 cm predominó en los perfiles de 0-10 y de 10-20 cm, la mayor concentración de  $PSRG_T$  fue de  $10 \text{ mg g}^{-1}$  a  $8.74 \text{ mg g}^{-1}$  en el perfil de 0-10 cm. Comparando con el Cuadro 6.22 del presente experimento, en los perfiles de 0-5, 5-10, y 10-15 cm la concentración de  $PSRG_T$  tuvieron las mismas concentraciones con las dos cepas utilizadas, teniendo un efecto muy importante para los suelos; en este caso, en la cuantificación de  $PSRG_{FE}$  la concentración mas alta en el estudio reportado fue de  $3.96 \text{ mg g}^{-1}$ ; sin embargo, en este experimento la concentración más alta oscilo  $2.93\text{-}2.28 \text{ mg g}^{-1}$ , la menor concentración se puede deber a que en este caso sólo fue cultivada la cebada en un ciclo.

Rilling y Steinberg (2002), con el objetivo de determinar en qué medida son capaces los hongos micorrízicos en la producción de PSRG, y de modificar el medio en que se desarrollan, obtuvieron que en suelos poco estructurados, es decir, con estructura desfavorable, se producía una reducción en cuanto a la longitud de la hifa en un 80% respecto al de estructura favorable, pero contrario a esto las producciones de PSRG fueron siete veces superiores en el suelo con mala estructura respecto al bien estructurado, esto es muy importante ya que los suelos cuando presentan deficiencias hídricas existen estructuras desfavorables que permite que exista más evaporación, por lo que la utilización de las micorrizas evitan ese comportamiento en los suelos, la estabilización es el resultado de una mayor concentración de la PSRG.

**Cuadro 6.20.** Interacción del factor fertilización, riegos aplicados y profundidad en la cuantificación de PSRG. INIFAP-CEBAJ, 2017.

Fertilización (%)	Riego	Profundidad (cm)	PSRG <sub>FE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>DE</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	PSRG <sub>T</sub> (mg g <sup>-1</sup> )
100	1	0-5	1.34 cdef	3.72 ijk	5.06 ijklm
100	1	5-10	1.32 cdef	3.73 ij	5.05 ijklm
100	1	10-15	1.38 cdef	3.21 jklm	4.59 jklmn
100	2	0-5	1.20 cdef	1.94 mn	3.15 n
100	2	5-10	1.47 cdef	4.39 ghij	5.86 ghijk
100	2	10-15	1.02 f	5.85 cdefgh	6.88 efgh
100	3	0-5	1.59 cd	4.60 fghij	6.20 ghi
100	3	5-10	1.57 cde	3.68 ijkl	5.25 ijkl
100	3	10-15	1.63 cd	3.65 ijkl	5.29 hijkl
100	4	0-5	1.59 cd	3.64 ijkl	5.23 ijkl
100	4	5-10	1.34 cdef	6.78 abcd	8.13 def
100	4	10-15	1.18 def	5.07 efghi	6.25 ghi
50	1	0-5	2.90 a	1.18 n	4.09 lnm
50	1	5-10	2.93 a	2.06 lmn	5.00 ijklm
50	1	10-15	2.55 ab	4.30 hij	6.85 fgh
50	2	0-5	1.56 cde	5.37 defgh	6.93 efg
50	2	5-10	2.83 a	3.16 jklm	5.99 ghi
50	2	10-15	2.65 ab	1.95 mn	4.60 jklm
50	3	0-5	1.08 ef	3.47 ijklm	4.56 jklmn
50	3	5-10	1.23 cdef	3.13 jklm	4.36 klmn
50	3	10-15	1.23 cdef	2.38 klmn	3.62 mn
50	4	0-5	1.49 cdef	3.53 ijklm	5.02 ijklm
50	4	5-10	1.68 c	3.34 jklm	5.02 ijklm
50	4	10-15	1.42 cdef	7.54 ab	8.96 abcd
50+ INIFAP	1	0-5	2.98 a	6.07 abcdef	9.05 abcd
50+ INIFAP	1	5-10	2.93 a	7.03 abc	9.96 ab
50+ INIFAP	1	10-15	2.53 ab	6.00 abcdefg	8.53bcd
50+ INIFAP	2	0-5	2.50 ab	6.68 abcde	9.18 abcd
50+ INIFAP	2	5-10	2.65 ab	7.07 abc	9.73 abc
50+ INIFAP	2	10-15	2.51 ab	6.16 abcdef	8.67 bcd
50+ INIFAP	3	0-5	2.28 b	6.91 abcd	9.19 abcd
50+ INIFAP	3	5-10	2.64 ab	6.68 abcde	9.33 abcd
50+ INIFAP	3	10-15	2.65 ab	7.30 abc	9.95 ab
50+ INIFAP	4	0-5	2.83 a	6.97 abcd	9.80 abc
50+ INIFAP	4	5-10	2.65 ab	6.00 abcdefg	8.66 bcd
50+ INIFAP	4	10-15	2.48 ab	6.30 abcde	8.78 abcd
50+ Cepa D1	1	0-5	2.74 ab	7.26 abc	10.00 ab

<b>50+ Cepa D1</b>	1	5-10	2.76 ab	6.70 abcd	9.47 abcd
<b>50+ Cepa D1</b>	1	10-15	2.48 ab	5.77 cdefgh	8.25 cdef
<b>50+ Cepa D1</b>	2	0-5	2.74 ab	5.94 bcdefg	8.68 abcd
<b>50+ Cepa D1</b>	2	5-10	2.65 ab	6.69 abcd	9.35 abcd
<b>50+ Cepa D1</b>	2	10-15	2.65 ab	6.36 abcde	9.01 abcd
<b>50+ Cepa D1</b>	3	0-5	2.66 ab	7.23 abc	9.89 ab
<b>50+ Cepa D1</b>	3	5-10	2.66 ab	6.85 abcd	9.52abcd
<b>50+ Cepa D1</b>	3	10-15	2.77 ab	5.69 cdefgh	8.46 bcde
<b>50+ Cepa D1</b>	4	0-5	2.71 ab	5.91 cdefgh	8.62 bcd
<b>50+ Cepa D1</b>	4	5-10	2.70 ab	7.57 a	10.27 a
<b>50+ Cepa D1</b>	4	0-15	2.65 ab	6.14 abcdef	8.80 abcd
<b>DSH</b>			<i>0.5</i>	<i>1.61</i>	<i>1.59</i>

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH=Diferencia significativa honesta; PSRG<sub>FE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Fácilmente Extraíble; PSRG<sub>DE</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Difícilmente Extraíble; PSRG<sub>T</sub>=Proteína del Suelo Relacionado a Glomalina-Total.

### 6.3.1 Conclusión

La producción de PSRG, PSRG<sub>FE</sub>, PSRG<sub>DE</sub> y PSRG<sub>T</sub> se incrementó en los tratamientos que fueron inoculados con la micorriza INIFAP y la Cepa D1, la micorriza INIFAP produjo más PSRG<sub>FE</sub> y PSRG<sub>DE</sub> cuando se aplicó solo un riego; sin embargo, en la PSRG<sub>T</sub> los tratamientos con micorriza INIFAP y Cepa D1 la producción de PSRG fue similar. En la profundidad 5-10 cm es donde se almacenó más PSRG<sub>FE</sub>, PSRG<sub>DE</sub> y PSRG<sub>T</sub>. La producción de PSRG fue mayor cuando al cultivo se aplicaron uno o dos riegos. Ambas cepas produjeron cantidades similares de PSRG, micorriza (INIFAP y Cepa D1).

## VII. CONCLUSIONES GENERALES

La disminución de la fertilización sintética del 50% en el cultivo de cebada afectó negativamente el rendimiento, la calidad física y vigor de la semilla; sin embargo, al reducir la fertilización sintética al 50% e inocular con micorrizas, se obtuvieron resultados similares que cuando se aplicó el 100% de fertilización en los parámetros antes mencionados.

La reducción de riegos disminuyó el rendimiento, la calidad física y vigor de la semilla; sin embargo, al inocular micorrizas el cultivo mostró menores daños y se puede disminuir hasta un riego sin afectar las cualidades de la semilla.

La inoculación incrementó significativamente la producción de  $PSRG_{FE}$  -  $PSRG_{DE}$  -  $PSRG_T$  y esta varió dependiendo de la fertilización, profundidad y riegos suministrados.

**VIII. LITERATURA CITADA**

Abbate, P.E., Andrade, F. y Culot, J.P. (1994). Determinación del rendimiento en trigo. INTA EEA. Balcarce. Boletín Técnico No.133.

Abbate, P.E., Lázaro, L. y De Pablo, M.C. (2001). Peso hectolítrico y limitación por fuente en los cultivos de trigo de alto potencial de rendimiento. V congreso de trigo. III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otro Invernal. Cordoba.

Abdoli, M., and Saeidi, M. (2012). Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post anthesis water deficit in the west of Iran. *Annals of Biological Research* 3: 1322-1333. ISSN 0976-1233

Abebe, T., Guenzi, A.C., Martín. and Cushman, J.C. (2003). Tolerance of mannitol-accumulating transgenic wheat to water stress and salinity. *Plant Physiol.* 131: 1748-1755. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.102.003616>

Acevedo-Torres, B. (2004). Evolución del abatimiento en el nivel estático de los acuíferos de Guanajuato. *Aqua Forum* 37: 3-7.

Aguirre-Medida, J.F., Irizar-Garza, M.B., Duran-Prado,A., Grageda-Cabrera,O.A.,Peña-del Rio,M.A.,Loredo-Ostil,C. y Gutiérrez-Baeza, A. (2009). Los biofertilizantes microbianos: Alternativa para la agricultura en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa, Tutla, Chico, Chiapas, Mexico. 80 p.

Ahemad, M., and Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King Saud University-Science* 26: 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>.

Ahmadi, A., and Baker, D.A. (2001). The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Plant Growth Regulation* 35 (1): 81–91.

Akhilesh, K., and Jay, P.V. (2017). Does plant—Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review?. *Microbiological Research* 207: 41-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.11.004>.

Andrade, B. H. J. (1992). Mejoramiento del vigor en semillas de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con emergencia y rendimiento. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 98 p.

Anon. (1976). International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 4: 3-177.

Arreola-Tostado, J.M., Hernández-Martínez, M., García-Silva, R., Pons-Hernández, J.L. y Fregoso-Tirado, L.E. (2006). Labranza de conservación: alternativa tecnológica para darle sostenibilidad al sistema de producción de granos de Guanajuato. [Ide@sCONCYTEG15.http://octi.guanajuato.gob.mx/octigto/index.php?option=com\\_wrapper&Itemid=3](http://octi.guanajuato.gob.mx/octigto/index.php?option=com_wrapper&Itemid=3). Gto., Gto.

Ashton, P., and Neal, M. (2003). “An Overview of Key Strategic Issues in the Okavango Basin” en A. R. Turton, P. Ashton y T. E. Cloete (eds.), *Transboundary Rivers, Sovereignty and Development: Hydropolitical Drivers in the Okavango River Basin*, Green Cross International, Ginebra, pp. 31-63.

Augé, R. M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.

Augé, R. M., Moore, J.L., Cho, K., Sylvia, D.M., Al-Agely, A.K. and Saxton, A.M. (2003) Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hyphae. *J. Plant Physiol.* 160: 1147-1156.



Augé, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can. J. Soil Sci.* 84: 373-381.

Ashraf, M., and Foolad. M.R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Expe.Bot.* 59: 206-216.

Badr, A., Müller, k., Schäfer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgen, S., Ibrahim, HH., Pozzi, C., Rohde, W. and Salamini, F. (2000). On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Mol.Biol.Evol.* 17 (4): 499-510. DOI:10.1093/oxfordjournals-.molbev.a026330.

Báez-Pérez, A., Arreola-Tostado, J. M., Triomphe, B., Bautista Cruz, A. y Licea-Morales, P. de J. (2012). Implementación de la siembra directa para producción de cebada maltera en el estado de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (8): 1509-1519.

Baker, J., Steele, C. and Dure, III L. (1988). Sequence and characterization of 6 Lea proteins and their genes from cotton. *Plant Mol. Biol.* 11: 277-291.

Balla, K., Rakszegi, M., Li, Z., Békés, F., Bencze, S. and Veisz, O. (2011). Quality of Winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czech Journal of Food Science*, 29 (2): 117-128.

Bartles, D. and Kotchoni. S.O. (2003). Water stress induces the up-regulation of a specific set of genes in plants: aldehyde dehydrogenases as an example. *Bulg. J. Plant Physiol*, Special Issue, 37-51.

Berbee, M.L., and Taylor, J.W. (2007). Rhynia Chert: a window into a lost world of complex plant-fungus interactions. *New Phytologist* 174: 475-479.

Bewley, J.D., and Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*, Second edition Springer, Boston, MA, USA, 1994.

Bewley, D.J. (2001). Seed germination and reserve mobilization, *Encyclopedia of Life Sciences*, Vol. 1, Wiley, Chichester, UK.

Bhardwaj, D., Ansari, M.W., Sahoo, R.K. and Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microb Cell Factories* 13 (1): 1.

Bhoopander, G., and Mukerji, K.G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza* 14: 307-312

Bidinger, F.R., Mahalakshmi, V. and Rao, G.D.P. (1978). Assessment of drought resistance in millet Factors effecting yields under stress. *Australian Journal of Agriculture Researc.* 38: 37-48.

Blanco, H., and La, L. (2008). *Principles of soil conservation and management*, Springer Science and Business Media. p. 611.

Bridger, G.M., Chungu, C. and Mather, D.E. (1996). Image analysis for assessing effects of seeding rate and disease control on oat grain quality, V IOC and VII IBGS Poster No.18:54 55. Canadá.

Burke, J. I., Browne, R.A. and White, M.E. (2001). Factors affecting yield and quality of oats Crops Research Center Oak Park, Carlow Queen's University, Department of Applied Plant Testing Station, Crossnacreevy, Belfast. 8 p.

Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L. (2000). *Biochemistry and molecular biology of plants*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD.

Castañeda-Saucedo, M.A., López-Castañeda, C., Molina-Moreno, J., Colinas-León, T.B. and Livera-Hernández, A. (2004). Growth and development of barley and wheat. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (2): 167-175.

Castañeda-Saucedo, M.C., López-Castañeda, C., Colinas-De León, M.T B., Molina-Moreno, J.C. and Hernández-Livera, A. (2009). Yield and seed quality of barley and wheat in glasshouse and field conditions. *Interciencia* 34 (4): 286-292.

Cervantes, O.F., García, S.D., Carballo-Carballo, A., Bergvinson, D.A., Crossa, J.L., Medoza-Elos, M. y Moreno-Martínez, E. (2006). Análisis dialélico para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agric. Téc. Méx.* 32 (1): 77-87.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2001). Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2025. Gerencia Regional de las Cuencas Centrales.

CONAGUA-SMN (Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional). (2007). Temperatura media anual por estado. <http://www.cna.gob.mx>.

Contreras-Servín, C. (2005). "Las sequías en México durante el siglo XIX", *Investigaciones Geográficas*, 56: 118-133.

Cossani, CM., Slafer, G.A. and Savin, R. (2009). Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crops Research*. 112: 205-213.

Crimmins, S.M., Dobrowski, S.Z., Greenberg, J.A., Abatzoglou, J.T., Mynsberge A.R. (2011). Change in climatic water balance drive downhill shifts in plant species optimum elevations. *Science* 331: 324-327. DOI: 10.1126/science.1199040

Cushman, J.C. (2001). Osmoregulation in plants: implications for agriculture. *Amer. Zool.* 41: 758-769.

Davison, J., Moora, M., Öpik, M., Adholeya, A., Ainsaar, L., Bâ, A., Burla, S., Diedhiou, A.G., Hiiesalu, I., Jairus, T., Johnson, N.C., Kane, A., Koorem, K., Kochar, M., Ndiaye, C., Pärtel, M., Reier, Ü., Saks, Ü., Singh, R., Vasar, M. and Zobel, M. (2015). Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. *Science* 349 (6251) :970-973. DOI: 10.1126/science.aab1161.

Daynes, C. N., Field, D. J., Saleeba, J. A., Cole, M. A. y McGee, P. A. (2013). Development and stabilisation of soil structure via interactions between organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots. *Soil Biol. Biochem.* 57: 683-694.

Delouche, J.C., and W.P.Caldwell. (1960). Seed vigor and vigor tests. *Proc. Assoc. off. Seed Anal.* 50: 124-129.

Delouche, J. C. (1974). Maintaining soybean seed quality. *Proc. TVA Symp. On Soybean Prod., Marketing and Use.* TVA Bull. Y 69, Muscle Shoals, Ala. 40- 63. U.S.A.

Delouche, J. C. 1979. Preparación de programas de semillas. In: mejoramiento de la producción de semillas; manual de formulación, ejecución y evaluación de programas y proyectos de semillas. Feistritz, W. P y Nelly, A. F. (Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italy. 47-99 p.

Dey, R., Pal, KK, and Tilak, KV .(2012). Influence of soil and plant types on diversity of rhizobacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 82 (3): 341-352.

Dure, L., Crouch, M., Harada, J., Ho, T.H.D., Mundy, J., Quatrano, R., Thomas, T. and Sung, Z.R. (1989). Common amino acid sequence domains among the Lea proteins of higher plants. *Plant. Mol. Biol.* 12: 475-486.

Dure, III, L. (1993). Structural motifs in Lea proteins. pp. 91-103. En: Close, T.J. and E. Bray (eds.). Plant responses to cellular dehydration during environmental stress. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD.

Esquivel, E. (2002). "Lluvia y sequía en el norte de México. Un análisis de la precipitación histórica en Chihuahua", Gaceta Ecológica, núm. 65, pp. 24-42.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).(2006). World Agriculture: Towards 2030/ 2050- Interim Report. Rome: Food and Agriculture Organization of ONU.

Fakorede,M.A.B. and Ayoola,A.O. (1980). Relationship between seedling vigor and selection for yield improvement in maize.Maydica. 25:135-147.

Farorede,M.A.B., and Ojo, D.k. (1981).Variability for seedling vigor in maize. Exptal.Agric. 17: 195-201

Fernández-Sosa, R., Carballo-Carballo, A., Villaseñor-Mir, H.E. and Hernandez-Livera, A. (2015). Quality of rainfed wheat seed depending on the production environment. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6 (6): 1239-1251.

Finkel, O.M., Castrillo,G., Paredes, S.H., González,I.S. and Dangl, J.L. (2017). Understanding and exploiting plant beneficial microbes. Curr.Opin. Plant Biol. 38:155-163. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.04.018>.

Fokom, R., Adamou,S., Teugwa,M.C., Begoude,B.A.D., Nana,W.L., Ngonkeu,M.E.L., Tchameni,N.S., Nwaga,D., Ndzomo,G.T. and Zollo, P.H.A. (2012). Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon Soil Till. Res. 120: 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.004>.

Font, Q.P. (1997). Diccionario de Botánica. 6ª. Reimpresión. Editorial Labor, S.A. Barcelona, España, 1244 p.

Fornes J. M., Hera de la A, and Llamas, M.R. (2005). The silent revolution in groundwater intensive use and its influence in Spain. *Water Police* 5(4): 1-16.

Franca, N. J. B., Krzyzanowski, F.C., Henning, A.A., West, S.H. and Miranda, L. C. (1993). Soybean seed quality as affected by shriveling due to heat and drought stresses during filling. *Seed Sci. Technol.* 21: 107-116.

Franck, W.J. (1950). Address to the Association of official Seed Analysts. *Proc. Assoc.off.Seed. Anal.* 40: 36-39.

Gadkar, V., and Rillig, M.C. (2006). The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin is a putative homolog of heat shock protein 60. *FEMS Microbiol. Lett.* 263: 93-101.

Gales, K. (1983). Yield variation of wheat and barley in Britain in relation to crop growth and soil conditions - A review. *Journal of Science, Food and Agriculture.* 34: 1085-1104.

García, E. (1988). Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana) 4ª edición. Larios S.A, México. 2017 p.

García-Rodríguez, J.J., Gámez-Vázquez, F.P., Zamora-Díaz., Solano-Hernández,S., y Gámez-Vázquez A.J. (2008). Guía para producir semilla de cebada maltera en surcos en El Bajío. Campo Experimental Bajío-INIFAP. Impulsora Agrícola S.A. Fundación Guanajuato Produce A.C. noviembre 2008. (Desplegable para Productores Núm.8).

Gargas, A., De Priest, P.T., Grube, M. and Theler, A. (1995). Multiple origins of lichen symbioses in fungi suggested by SSU rDNA phylogeny. *Science* 268: 1492-1495.

Gaur, V. (2010). Biofertilizer—necessity for sustainability. *J Adv Dev* 1:7–8

Germ, H. (1949). Die feststellung der physiologisch bedingten triebkraft von samen. *Proc.Int.Seed Test.Assoc.* 15:1-23.

González-González, M., Zamora-Díaz, M. y Solano-Hernández, S. (2016). Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7 (1): 159-171. Recuperado en 21 de junio de 2018,

Gonzalez, H. (2008). Efecto de la forma y el tamaño del grano de trigo sobre el peso hectolítrico. Tesis para obtener al grado de Master en Ciencias Agrarias Unidad Integrada Balcarce.

Gubler, F., Kalla, R., Roberts, J.K. and Jacobsen, J.V. (1995). Gibberellin regulated expression of a myb gene in barley aleurone cells: evidence for Myb transactivation of a high-pI  $\alpha$ -amylase gene promoter, *Plant Cell*. 7: 1879-1891.

Grageda-Cabrera, O. A., Esparza-García, F., Zapata, F. and Peña-Cabriales, J. J. (2000). Influence of sorghum crop residue management on the recovery of <sup>15</sup>N labelled fertilizer by wheat in Mexico. *Journal of Sustainable Agricultural* 16: 75-91.

Grageda-Cabrera, O.A., González-Figueroa, S.S., Solís-Moya, E., Lozano-Contreras, M.G. and Díaz-Franco, A. (2014). Radical colonization by the mycorrhizal inifapMR in barley treated with fungicide. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17: 71-76.

Grass, L., and Burris, J.S. (1995). Effect of heat during seed development and maturation on wheat (*Triticum durum*) seed quality. I. Seed germination and seedling vigor. *Can. J. Plant Sci.* 75: 821-829.

Gregorich, E., Greer, K., Anderson, D., and Liang, B. (1998). Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research* 47: 291-302.

Guzmán-Soria, E., Hernández-Martínez, J., García-Salazar, J.A., Rebollar-Rebollar, S., de la Garza-Carranza, M.T. y Hernández-Soto, D. (2009). Consumo de agua subterránea en guanajuato, México. *Agrociencia* 43 (7): 749-761.

Hanson, A.D., y W.D. Hitz. (1982). Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33:163-203.

Harley, J.L., and Smith, S.E. (1983). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London. p.483.

Harner, M.J., Ramsey, P.W. and Rillig, M.C. (2004). Protein accumulation and distribution in floodplain soils and river foam. *Ecology Letters* 7: 829-836.

Harris-Valle, C., Esqueda, M., Valenzuela-Soto, E.M. y Castellanos, A.E. (2009). Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Rev. Fitotec. Mex.* 32 (4): 265-271.

Heatherly, L. G. 1993. Drought stress and irrigation effects on germination of harvested soybean seed. *Crop Sci.* 33: 777-781.

Heidari, M., and Golpayegani, A. (2012). Effects of water stress and inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on antioxidant status and photosynthetic pigments in basil (*Ocimum basilicum* L.). *J Saudi Soc Agric Sci* 11 (1): 57-61.

Helm, C.V., and De Francisco, A. (2004). Chemical characterization of Brazilian hullless barley varieties, flour fractionation, and protein concentration, *Sci. Agric.* 61: 593-597.

Hernández, A., y Morell, F. (2005). Función ecológica de los suelos y su transformación de los ecosistemas a agrosistemas: Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. En: Taller



Nacional Producción de papa en los Trópicos (VI: 2005, jun.: La Habana) Programa y Resúmenes. La Habana. INCA.

Hibbing, ME., Fuqua, C., Parsek, MR. and Peterson, SB. (2010) Bacterial competition: surviving and thriving in the microbial jungle. *Nat Rev Microbiol* 8 (1): 15-25.

Higgins, C.F., and Payne, J.W. (1981). The peptide pools of germinating barley grains: relation to hydrolysis and transport of storage proteins, *Plant Physiol.* 67: 785-792.

Hoeksema, J.D., Chaudhary, V.B., Gehring, C.A., Johnson, N.C., Karst, J., Koide, R.T., Pringle, A., Zabinski, C., Bever, J.D., Moore, J.C., Wilson, G.W.T., Klironomos, J.N. and Umbanhowar, J. (2010). A meta-analysis of context-dependency in plant response to inoculation with mycorrhizal fungi. *Ecol. Lett.* 13 (3): 394-407. DOI:10.1111/j.14610248.2009.01430.x.

Honrubia, M. (2009). Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. *Anales del Jardín Botánico de Madrid.* 66S1: 133-144.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2003). Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el marco de desarrollo sustentable. México, D. F. 30 p.

Isely, D. (1954) The cold test for corn. *Proc. Int. Seed Test. Assoc.* 16: 299-311.

Isely, D. (1957). Vigor tests. Vigor test. *Proc. Assoc. off. Seed Anal.* 47: 176-182.

ISTA (International Seed Testing Association). (2005). *International Rules for Seed Testing. Rules.* ISTA Editions. Zurich, Switzerland. 243 p.

IPCC. (2007) Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. *Cambio Climático 2007: Informe de síntesis.* Ginebra:

Johnson, D., Leake, J.R., Ostle, N., Ineson, P. and Read, D.J. (2002). In situ (CO<sub>2</sub>)-C-13 pulselabelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist* 153 (2): 327-334.

Kalbitz, K., and Kaiser, K. (2008). Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171: 52-60

Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. Pages 452–442 in A. Klute, ed. *Methods of soil analysis (Part I)*. ASA, Madison, WI.

Krings, M., Taylor, T.N., Hass, H., Kerp., H., Dotzler, N. and Hermsen, E.J. (2007). Fungal endophytes in a 400-million-year-old land plants: infection pathways, spatial distribution, and host responses. *New Phytologist* 174: 648-657.

Kumar, A., and Verma, J.P. (2018). Does plant-Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review? *Microbiol. Res.* 207: 41-52. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.11.004>.

Lal, R. (1998). Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality *Crit. Rev. Plant Sci.* 17:319-464.

Lal, R., Kimble, J., Follet, R., and Cole, C. (1998). *The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. Chelsea: Ann Arbor Press.

Langridge, P., and Barr, A. R. (2003). Preface to better barley faster: the role of marker assisted selection. *Australian Journal of Agricultural Research*. 54: 1-4.

Lata, C., and Prasad, M. (2011). The role of DREBs in the regulation of abiotic stress responses in plants. *J. Exp. Bot.* 62: 4731-4748.

Ledesma-Ramírez, L., Solís-Moya, E., Suaste-Franco, M.P. and Rodríguez -García, M.F. (2010). Relationship of tillage and planting methods, irrigation, and nitrogen rate with wheat yield. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1 (1): 55-63. Recuperado en 21 de junio de 2018.

Lehmann, A., and Rillig, M.C. (2015). Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops -A meta-analysis. *Soil Biol Biochem.* 81:147-158. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.013>.

Lesk, C., Rowhani, P. and Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* 529: 84-87.

Leung, J., and J. Giraudat. (1998). Abscisic acid signal transduction. *Ann. Rev. plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49: 199-222.

Leyval, C.; Turnau, K. and Haselwandter, K. (1997). Effect of heavy metal pollution on mycorrhizal colonization and function: physiological, ecological, and applied aspects. *Mycorrhiza* 7: 139-153.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses: Water, Radiation Salt and other Stresses. Academic Press, New York, NY, 365.

Linderman, R.G. and Davis, E.A. (2004). Evaluation of commercial inorganic and organic fertilizer effects on arbuscular mycorrhizae formed by *Glomus intraradices*. *HortTechnology* 14: 196-202.

Lin, J. L.; Kiladis, G. N.; Mapes, B. E.; Weickmann, K. M.; Sperber, K. R. and Lin, W. (2006). Tropical intraseasonal variability in 14 IPCC AR4 Climate Models. Part I: Convective signals. *Journal of Climate* 19: 2665-2690.

Long, SP., Zhu, XG., Naidu, SL. and Ort, DR. (2006). Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, Cell and Environment* 29 (3): 315-330.

Lopes, MS.; Nogués, S. and Araus, JL. (2004). Nitrogen source and water regime effects on barley photosynthesis and isotope signature. *Functional and Plant Biology* 31: 995-1003.

López-Castañeda, C. (2011). Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14 (3): 907-918. Recuperado en 12 de junio de 2018.

Maguire, J.D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Sci.* 2: 176-177.

Malusa, E., and Vassilev, N. (2014). A contribution to set a legal framework for biofertilisers. *Appl Microbiol Biotechnol* 98 (15): 6599–6607.

Marcos-Valiente, Ó. (2001). “Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación”, *Investigaciones Geográficas*, núm. 26, pp. 59-80. DOI: 10.14198/INGEO2001.26.06.

Maronek, M.D., Hendrix, W.J. and Kiereman, J. (1981). Mycorrhizal fungi and their importance in Horticultural Crop Production. In: *Hortic.Rev.*3: 172-213.

Martínez-Viveros, O., Jorquera, MA., Crowley, DE., Gajardo, G. and Mora, ML. (2010). Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. *J Soil Sci Plant Nutr* 10 (3): 293–319.

Mazid, M., and Khan, TA. (2015). Future of bio-fertilizers in Indian agriculture: an overview. *International Journal of Agricultural and Food Research* 3 (3): 10-23.

Ma, Z.G., Marsolais, F., Bykova, N.V. and Igamberdiev, A.U. (2016). Nitric oxide and reactive oxygen species mediate metabolic changes in barley seed embryo during germination, *Front. Plant Sci.* 7:138.

Meulenert, Á. (2006). "Condiciones de sequía y precipitaciones en América del Sur durante el periodo 2004-2006", Instituto de Astronomía y Meteorología-Universidad de Guadalajara, México, pp. 1-18.

Mia, MB., and Shamsuddin, ZH. (2010). Nitrogen fixation and transportation by rhizobacteria: a scenario of rice and banana. *Int J Bot* 6: 235-242.

Möckel F.E., Cantamutto, M.A., Gaido ,E. y Gullace,G.(1984). Efecto de las lluvias en el momento de la cosecha (lavado) sobre características físicas, químicas y reológicas del grano de trigo. *Rev. Fac. Agron. UBA.* 5, 1-6.

Mohan, J.E., Cowden, C.C., Baas, P., Dawadi, A., Frankson, P.T., Helmick, K., Hughes, E., Khan, S., Lang, A., Machmuller, M., Taylor, M. and Witt, C.A. (2014). Mycorrhizal fungi mediation of terrestrial ecosystem responses to global change: mini-review. *Fungal Ecology* 10: 3-19. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.funeco.2014.01.005>.

Molnár, I., Gáspár, L., Sárvári, E., Dulai, S., Hoffmann, B., Molnár-Láng, M., and Galiba, G. (2004). Physiological and morphological responses to water stress in *Aegilops biuncialis* and *Triticum aestivum* genotypes with differing tolerance to drought. *Functional Plant Biology* 31: 1149-1159.

Morales, L.A., Castillo, R.C., Rubio, H.R., Godoy, B.R., Rouanet M.J.L. and Borie, B.F. (2005). Glomalin levels in soils from two ecosystems of Southern Chile. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 5 (1): 37-45.

Morell, F., Borges, Y. y Hernández, A. (2004). Influencia del cambio de uso de la tierra en algunas propiedades físicas del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.[CD-Rom] En: Congreso Científico del INCA (XIV: 2004 nov. 9-12: La Habana).Memorias. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.

Morgan, J. A. W., Bending, G.D. and White,P.J. (2005) Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 56: 1729-1739.

Munns, R., and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance *Annu. Rev. Plant Biol.*59: 651-681.

Nakamura, T., Nomura, M., Mori, H., Jagendorf, A.T., Ueda, A. and Takabe, T. (2001). An isozyme of betaine aldehyde dehydrogenase in barley. *Plant Cell Physiol.* 42 (10) 1088-1092.

Nesbitt, M. and Samuel, D. (1996). From staple crop to extinction? The archaeology and history of the hulled wheats. Pp. 41–100 in S. Padulosi, K. Hammer, and J. Heller, eds. *Hulled wheats (Proceedings of the First International Workshop on Hulled Wheats)*. International Plant Genetics Resources Institute, Rome, Italy.

Nevo, E. (1992). Origin, evolution, population genetics and resources for breeding of wild barley, *Hordeum spontaneum*, in the Fertile Crescent. Pp. 19–43 in P. R. Shewry, ed. *Barley: genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology*. C.A.B. International, The Alden Press, Oxford.

Newman, E.I. and Reddell, P. (1987). The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants. *New Phytologist* 106 (4): 745-751.

Newton, A.C., Flavell, A.J., George, T.S., Leat, P., Mullholland, B., Ramsay, L., Revoredo Giha, C., Russell, J., Steffenson, B.J., Swanston, J. S., Thomas, W.T.B., Waugh, R. and White P.J. and Bingham, I.J. (2011). Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Security.* 3 (2): 141-178.

Nia, S.H., Zarea, M.J., Rejali, F. and Varma, A. (2012). Yield and yield components of wheat as affected by salinity and inoculation with *Azospirillum* strains from saline or non-saline soil. *J.Saud.Soc.Agric.Sci.*11: 113-121. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.02.001>.

Nilsen, E.T. and Orcutt, D.M. (1996). *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*. John Wiley and Sons, New York, NY.

Norberg, R., Fonseca, D.A.R., Silverira, G.Da., Luche, H.S., Bisognin, M., Bertan, I., Maia, L.C., Carvalho, F.I.F. y Oliveira, A.C. (2007). Efeito ambiente no estudo da

correlacao entre caracteres de impostancia agronomica da aveia branca. En: 27 Reuniao da Comissao Brasileira de Pesquisa de Aveia. UPF, Passo Fundo, Brasil. p.238-240.

OECD. The economics of climate change Mitigation: Policies and Options for Global Action Beyond 2012. Paris: Organisation for Economic Co- operation and Development, 2009.

Ortega, G.D. and Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequias en México. Aqua- LAC. 5: 78-90.

Pandey, J., and Singh, A. (2012). Opportunities and constraints in organic farming: an Indian perspective. J Sci Res 56: 47-72.

Papageorgiou, G.C., and Morata.N. (1995). The usually strong stabilizing effects of glycine betaine on the structure and function in the oxygen evolving photosystem-II complex. Photosynth. Res. 44: 243-252.

Peng, S., Biswas, J.C., Ladha, J.K., Gyaneshwar, P. and Chen, Y. (2002). Influence of rhizobial inoculation on photosynthesis and grain yield of rice. Agron J. 94 (4): 925-929.

Pereg, L., and McMillan, M. (2015). Scoping the potential uses of beneficial microorganisms for increasing productivity in cotton cropping systems. Soil Biol Biochem 80: 349-358.

Pérez-Ruiz, J.A.M., Zamora-Díaz, J.A., Mejía-Contreras, A., Hernández-Livera, S. and Solano-Hernández. (2016). Assessment of ten barley genotypes (*Hordeum vulgare L.*) Sown on five planting dates in two agricultural cycles. Agrociencia 50 (2): 201-213.

Peterson, R.L., Massicotte, H.B. and Melville, L.H. (2004). Mycorrhizas: anatomy and cell biology. National Research Council Research Press, Ottawa.

Pinhero, R.G., Rao, M.V., Palyath, G., Murr, D.P. and Fletcher, R.A. (2001). Changes in the activities of antioxidant enzymes and their relationship to genetic and paclobutrazol-induced chilling tolerance of maize seedlings. Plant Physiol. 114: 695-704.

Pirozynski, K.A., and Malloch, D.W. (1975). The origin of land plants: a matter of mycotrophism. *Biosystems* 6: 153-164.

Plenchette, C.H. (1982). Les Endomicorrhiziens a vesicules et arbuscule (va): Un potentiel a exploiter en agriculture. *Phytoprotection* 63: 86-108.

Poehlman, J. M. (1985). Adaptation and distribution. In: Rasmusson, Donald C. (ed). *Barley*. Agronomy 26. American Society of Agronomy Inc. 1-18 pp.

Polidoro, O., García, R., Annone, J.G. y Calzolari, A. (2004). Efecto de factores ambientales y sanitarias que afectan el peso hectolítrico del grano de trigo (*Triticum aestivum* L.). En: VI Congreso Nacional de Trigo y VI Simposio Nac. De Cereales de Siembra Otoño Invernal. p. 306-307.

Pomeranz Y., Davis.G.D., Stoops, J.L. and Lai, F.S. (1997). Test Weight and Groat to Hull Ratio in Oats. *Cereal Foods Word*.Vol.24; N°12:600-602.

Potters, G., Pasternak, T.P., Guisez,Y., PalmeK.J. and Jansen.M.A.K. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci.* 12 (3): 99-105.

Puttock, A., Macleod, C.J.A., Bol,R., Sessford,P., Dungait,J. and Brazier R.E. (2013). Changes in ecosystem structure, function and hydrological connectivity control water, soil and carbon losses in semi-arid grass to woody vegetation transitions *EarthSurf. Process. Landforms* 38: 1602-1611.

Ramírez-Novoa,U., Rodríguez-Guillén,A., Morán-Vázquez,N., Cervantes-Ortiz,F., Mendoza-Elos, M. y Rangel-Lucio,J.A. (2014). Manejo agronómico de cebada maltera. rendimiento de semilla y componentes. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México.* 2 (1): 24-29.

Ramírez-Pérez, F., Zamora, D.M., Marquez-Cedillo, L.A., y Ibañez-Carranza, A.M. (1997). Esperanza: Variedad de Cebada Maltera para "El Bajío". Folleto Tecnico Número 1. Campo Experimental "El Bajío". INIFAP. Celaya, Guanajuato.



Redecker, D., Kodner, R. and Graham, L.E. (2000). Glomean Fungi from the Ordovician. *Science* 289 (5486): 1920-1921.

Remy, W., Taylor, T.N., Hass, H. and Kerp, H. (1994). Four hundred million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)* 91: 11841-11843.

Rillig, M.C., and Steinberg, P.D. (2002). Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification?. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1371–1374.

Rillig, M.C. (2004a). Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *Ecol. Lett.* 7 (8): 740-754.

Rosenzweig, C., Strzepek, K., Major, D., Iglesias, A., Yates, D., McCluskey, A., Hiller, D. (2004). Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies. *Global Environmental Change*, 14 (4): 345-360.

Ruiz-Lozano, J.M., Azcón, R. and Gomez, M. (1995). Effects of arbuscular mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: Physiological and nutritional plant responses. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 456-460.

Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* 13: 309-317.

SAGARPA, 2017. Comunicado de prensa. La Paz, Baja California Sur, 14 de mayo de 2017. [www.gob.mx/sagarpa](http://www.gob.mx/sagarpa).

Saeidi, M., Abdoli, M., Azhand, M. and Khas-Amiri, M. (2013). Evaluation of drought resistance of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars using agronomic characteristics and drought tolerance indices. *Albanian Journal Of Agricultural Sciences* 12 (4): 545-554.

Samarah, N.H., Alqudah, A.M., Amayreh, J.A. and McAndrews, G.M. 2009. The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 195: 427-441.

Sánchez-Díaz, M., García, J.L., Antolín, M.C. and Araus, J.L. (2002). Effects of soil drought and atmospheric humidity on yield, gas exchange, and stable carbon isotope composition of barley. *Photosynthetica*, 40: 415-421.

SAS. (2009). Statistical Analysis System release 9 for windows. Cary, North Carolina, United States. SAS institute, Inc.

SEMARNAT-CONAGUA (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional del Agua). 2006. Estadísticas del agua en México. México D. F. 198 p.

SEMARNAT. (2002). Memoria nacional de evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana escala 1:250 000. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 26-34 pp.

Secretaría de Economía. (2003). Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereal-cebada maltera (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.). Especificaciones y métodos de prueba. 31 p.

Sherf, A.F. (1953) Correlation of germination data of corn and soybean seed lots under laboratory, greenhouse and field conditions. *Proc. Assoc. Off. Seed Anal.* 43: 127-130.

Shutov, A.D., and Vaintraub, I.A. (1987). Degradation of storage proteins in germinating seeds, *Phytochemistry* 26: 1557-1566.

SIAP. SAGARPA. 2014. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx>, consultado el 14 de febrero de 2018.

SIAP. SAGARPA. 2017. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx>, consultado el 28 de marzo de 2018.

Simon, L., Bousquet, J., Levesque, R.C. and Lalonde, M. (1993). Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* 363: 67-69.

Singh, J.S., Pandey, V.C. and Singh, D.P. (2011). Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agric Ecosyst. Environ.* 140 (3): 339-353.

Singh, D.P., Singh, H.B. and Prebha, R. (2012). Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity. *Functional Applications*, Springer, India. Vol. 2.

Singh, A.K., Rai, A. and Singh, N. (2016). Effect of long term land use systems on fractions of glomalin and soil organic carbon in the Indo-Gangetic plain *Geoderma*, 277: 41-50. DOI:10.1016/j.geoderma.2016.05.004.

SIWI (Stockholm International Water Intitute), IWMI (International Water Management Institute). *Water-more nutrition per drop. Towars sustainable food production and consumption petterns in a rapidly changing wold.* Suecia: Stockholm International Water Institute, 2004.

Smith, S.E. and Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd ed. Academic Press, San Diego.

Spohn, M., and Giani, L. (2011). Impacts of land use change on soil aggregation and aggregate stabilizing compounds as dependent on time. *Soil Biol. Biochem.* 43: 101-1088.

Steffen, C. y Echénoy, F. (2005). La sustitución del trigo por cebada en tierras ejidales de riego de Guanajuato, México: una alternativa efímera. *Cuadernos Geográficos* 37: 135-151.

Steinberg, P.D., and Rillig, M.C. (2003). Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. *Soil Biol. Biochem.* 35 (1): 191-194.

Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change*. Londres: Cambridge University Press.

Soudzilovskaia, N.A., Douma, J.C., Akhmetzhanova, A.A., Van Bodegom, P.M., Cornwell, W.K., Moens, E.J., Treseder, K.K., Tibbett, M., Wang, Y.P. and Cornelissen, J.H.C.

(2015a). Global patterns of plant root colonization intensity by mycorrhizal fungi explained by climate and soil chemistry. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 24 (3): 371-382. DOI: 10.1111/geb.12272.

Soudzilovskaia, N.A., Van der Heijden, M.G.A., Cornelissen, J.H.C., Makarov, M.I., Onipchenko, V.G., Maslov, M.N., Akhmetzhanova, A.A. and van Bodegom, P.M. (2015b). Quantitative assessment of the differential impacts of arbuscular and ectomycorrhiza on soil carbon cycling. *New Phytologist* 208(1): 280-293. DOI: 10.1111/nph.13447.

Sullivan, P., Arendt, E. and Gallagher, E. (2013). The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. *Trends Food Sci Technol.* 29: 124-34.

Swanson, A.F., and Hunter, R. (1936). Effect of germination and seed size on sorghum stands. *J. Am. Soc. Agron.* 28: 997-1004.

Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Tamura, T., Hara, K., Yamaguchi, Y., Koizumi, N. and Sano, H. (2003). Osmotic stress tolerance of transgenic tobacco expressing a gene encoding a membrane-located receptor-like protein from tobacco plants. *Plant Physiol.* 131: 454-462.

Taylor, T.N., Remy, W., Hass, H. and Kerp, H. (1995). Fossil arbuscular mycorrhizae from the Early Devonian. *Mycologia* 87: 560-573.

Taylor, T.N.; Klavins, S.D.; Krings, M.; Taylor, E.I.; Kerp, H. and Hass, H. (2004). Fungi from the Rhynia chert: a view from the dark side. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh-Earth Sciences* 94: 457-473.

Treseder, K.K., Tuner, K.M., and Mack, M.C. (2007). Mycorrhizal responses to nitrogen fertilization in boreal ecosystems: potential consequences for soil carbon storage. *Glob. Chang. Biol.* 13: 78-88. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01279.x.

Treseder, K.K. (2016). Model behavior of arbuscular mycorrhizal fungi: Predicting soil carbon dynamics under climate change. *Botany* 94 (6): 417-423. Doi: <https://doi.org/10.1139/cjb-2015-0245>.

Valladares, F.; Vilagrosa, A.; Peñuelas, J.; Ogaya, R.; Camarero, J.J.; Corcuera, L.; Sisó, S. y Gil-Pelegrín, E. (2004). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerios del medio ambiente, EGRAF. Madrid. p.163-190.

Velasco-Velasco, I. (2006). "Importancia del fenómeno de la sequía" en Ángel Bravo, Homero Salinas y Agustín Rumayor (comps.), *Sequía: vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el Norte Centro de México*, Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México, pp. 5-34.

Verbruggen, E., Veresoglou, S.D., Anderson, I.C., Caruso, T., Hammer, E.C., Kohler, J. and Rillig, M.C. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi - short-term liability but long-term benefits for soil carbon storage? *New Phytologist* 197 (2): 366-368. DOI: 10.1111/nph.12079.

Verbruggen, E., Jansa, J., Hammer, E.C. and Rillig, M.C. (2016). Do arbuscular mycorrhizal fungi stabilize litter-derived carbon in soil? *J. Ecol.* 104 (1): 261-269. DOI: 10.1111/1365-2745.12496.

Verhulst, N., François, I. y Govaerts, B. (2015). *Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor*. Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo, (CIMMYT) México.

Villaseñor, M.H.E., Hortelano, S.R., Rodríguez, G.M.F., Martínez, C.E. y Fernández, S.R. (2012). *Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en el estado de Tlaxcala*. INIFAP, CIRCE. Sitio Experimental Tlaxcala. Folleto técnico Núm. 50.

Vimal, S.R., Singh, J.S., Arora, N.K. and Singh, S. (2017). Soil-plant-microbe interactions in stressed agriculture management: a review. *Pedosphere* 27 (2): 177-192.

Wang, W., Zhong Z., Wang, Q., Wang, H., Fu, Y. and He, X. (2017). Glomalin contributed more to carbon, nutrients in deeper soils, and differently associated with climates and soil properties in vertical profiles. *Sci Rep.* 7: 13003. DOI:10.1038/s41598-017-12731-7.

Waterworth, W.M., Ashley, M.K., West, C.E., Sunderland, P.A. and Bray, C.M. (2005). A role for phosphorylation in the regulation of the barley scutellar peptide transporter HvPTR1 by amino acids, *J. Exp. Bot.* 56: 1545-1552.

Weitbrecht, K., Muller, K. and Leubner-Metzger, G. (2011). First off the mark: early seed germination, *J. Exp. Bot.* 62: 3289-3309.

Wilson, G.W.T., Rice, C.W., Rillig, M.C., Springer, A. and Hartnett, D.C. (2009). Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi: results from long-term field experiments. *Ecol. Lett.* 12 (5): 452-461. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01303.x.

Wright, S.F., Franke-Snyder, M., Morton, J.B and Upadhyaya, A. (1996). Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant Soil* 11: 193-203.

Wright, S. F., and Upadhyaya, A. (1996). Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Sci.* 161: 575-586.

Wright, S. F., and Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 198: 97-107.

Wu, X.J, Chen, X., Zeng, F.R. and Zhang, G.P. (2015). The genotypic difference in the effect of water stress after anthesis on the malt quality parameters in barley. *Journal of Cereal Science.* 65: 209-214.

Wu,Q.S.; Cao, M.Q.; Zou,Y.N.and X.H. He,X.H. (2014). Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliolate orange. *Sci. Rep.* 4: 5823.

Xie, H.; Li, J., Zhang,B., Wang, L., Wang, J., He,H. and Zang Xudong. (2015). Long-term manure amendments reduced soil aggregate stability via redistribution of the glomalin-related soil protein in macroaggregates. *Sci Rep.*5: 14687. DOI: 10.1038/srep14687.

Yang, L., and Wen,B. (2017). Seed quality. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences* 3 (2): 1285-1291.Doi:/10.1016/B978-0-12-394807-6.00205-7.

Yancey, P.H., M.E. Clark, S.C. Hand, P.D. Bowlus y G.N. Somero. 1982. Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science* 217: 1214-1217.

Yuan, X., Xiao, S., and Taylor, T.N. 2005. Lichen-like symbiosis 600 Million year ago. *Science* 308: 1017-1020.

Zhao, M., and Running, S.W. (2010). Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science* 329:940-943.

Zohary, D., and Hopf. M. (1993). *Domestication of Plants in the Old World: The origin and Spread of Cultivated Plants in West Asia, Europe and the Nile Valley*. 2<sup>nd</sup> edition, Clarendon Press, Oxford, UK.

Zhu, Y.G., and Miller, R.M. (2003). Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil–plant systems. *Trends Plant Sci.* 8:407-409.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**VARIACIÓN EN LA SUSCEPTIBILIDAD A INSECTICIDAS DEL GUSANO  
COGOLLERO (*Spodoptera frugiperda*) Y SU CORRELACIÓN CON ENZIMAS  
DETOXIFICATIVAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ DE LA REGIÓN LAJA-BAJÍO,  
GUANAJUATO**

**QUEPRESENTA**

**JULIO CESAR LEÓN VARGAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**

**CO-DIRECTOR: M.C. LUIS PATRICIO GUEVARA ACEVEDO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO, 2018**



La tesis "Variación en la susceptibilidad a insecticidas del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y su correlación con enzimas detoxificativas en el cultivo de maíz de la región Laja-Bajío Gto", fue realizada por el alumno **JULIO CESAR LEÓN VARGAS**, bajo la dirección del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y Co-dirección del M.C. Luis Patricio Guevara Acevedo y asesoría del Dr. Ernesto Cerna Chávez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**H. COMITÉ TUTORIAL**

Director:



Dr. Francisco Cervantes Ortiz

Cédula: 6758831

Co-Director:



M.C. Luis Patricio Guevara Acevedo

Cédula: 08766006

Asesor:



Dr. Ernesto Cerna Chávez

Cédula: 3149173

Asesor:



Dr. Mariano Mendoza Elos

Cédula: 3998828

## **DEDICATORIA**

**El esfuerzo que existe detrás de un trabajo como el que se tiene que pasar para lograr una meta más en la vida, la ofrezco y dedico con cariño y gratitud**

### ***A DIOS:***

A ese personaje tan importante al cual le debo mi ser, gracias por permitirme haber terminado mis estudios profesionales. Gracias por haberme ayudado a superar todos los obstáculos que se presentaron a lo largo de mi formación y así poder ser una persona de bien y poder ayudar a los demás.

### **AL CONACYT e INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE:**

Por el apoyo brindado para la realización de la Maestría en el Instituto Tecnológico de Roque que me abrió las puertas para superarme más en el ámbito personal y profesional

### **A MIS PADRES:**

***Socorro Vargas García y Fermín León Peña***

A mis padres, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

**A MI ABUELA:**

***Francisca Peña Gasca***

Gracias por estar a mi lado. Gracias por hacerme sentir todo este cariño que me expresas, por ser el refugio que a veces necesito. Le agradezco a Dios por darme la oportunidad de verte y poder tenerte en mis brazos.

**A MI TIO:**

***Marcelino León Peña***

Por todo su apoyo que me brinda, por sus consejos en la práctica del campo

**A MI SOBRINO:**

***Josué Omar León***

Que es parte importante en mi vida y que con su sonrisa, alegría y sus abrazos me hace sentir de lo mejor.

**A MIS HERMANOS:**

***Benjamín, Omar y Oscar***

Que son parte de mi familia y parte de mis logros

**Ya que ellos son por quienes  
uno se motiva a emprender tareas,  
y que algún día y en algún lugar  
podamos compartir las  
satisfacciones logradas  
Como en este día.....**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **AL CONACYT:**

Por apoyarme en la realización de la Maestría

### **AL INSTITUTO TECNOLOGICO DE ROQUE:**

Por abrirme nuevamente las puertas para superarme más en el ámbito personal y profesional

### **A MI DIRECTOR Y ASESORES:**

Gracias a mi director de tesis el Dr. Francisco Cervantes Ortiz por guiarme en la realización de esta investigación, a mi co-director: Luis Patricio Guevara Acevedo por permitirme realizar mi proyecto de tesis, bajo sus asesorías, enseñanzas, su apoyo y sus consejos tanto en lo académico, como en lo personal. Al Dr. Ernesto Cerna Chávez por el apoyo incondicional para la realización de esta investigación y al Dr. Mariano Mendoza Elos por el apoyo.

### **A MIS AMIGOS:**

Gracias a mis amigos, a todos aquellos que me ayudaron y me apoyaron a lo largo de mi proyecto de investigación, ya que fueron parte importante para poderlo realizar. José Ángel Robles Cervantes, Marisol Hernández Ortiz, Ma. Isabel Martínez Rodríguez, Gerardo Martínez Mendoza, Missael Pérez Galicia, Cristian Emmanuel Venegas Meza, Eduardo Mendoza, Guadalupe López Valenzuela, Miguel Noriega Carmona.

## ÍNDICE

Contenido	
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	1
SUMMARY .....	4
CAPITULO I .....	7
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	7
1.1. Objetivos.....	10
1.1.1 Objetivo general .....	10
1.1.2 Objetivos específicos .....	10
1.2 Hipótesis.....	11
CAPITULO II.....	12
RESISTENCIA A INSECTICIDAS DE <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EN EL ESTADO DE GUANAJUATO .....	12
2.1 RESUMEN .....	12
2.2 ABSTRACT.....	14
2.3 INTRODUCCIÓN.....	15
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	20
2.6 CONCLUSIONES .....	30
2.7 LITERATURA CITADA .....	31
CAPITULO III .....	37
CUANTIFICACIÓN DE ENZIMAS ASOCIADAS A LA RESISTENCIA DE INSECTICIDAS EN POBLACIONES DE <i>Spodoptera frugiperda</i> (SMITH) (LEPIDÓPTERA: NOCTUIDAE) DE MAÍZ DE LA REGIÓN LAJA-BAJÍO GUANAJUATO.....	37
3.1 RESUMEN .....	37
3.2 ABSTRACT.....	38
3.3 INTRODUCCIÓN.....	39

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
3.6 CONCLUSIONES .....	49
3.7 LITERATURA CITADA .....	50
CAPITULO IV .....	57
CONCLUSIONES GENERALES.....	57
CAPITULO V .....	58
LITERATURA CITADA GENERAL .....	58

**ÍNDICE DE TABLAS**

Cuadro 1. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de insecticida aplicados a línea susceptible (LS) de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> y su proporción de resistencia contra la línea susceptible .....	21
Cuadro 2. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida cipermetrina aplicados a poblaciones de campo de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> y su proporción de resistencia contra la línea susceptible .....	23
Cuadro 3. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida clorpirifos etil aplicados a poblaciones de campo de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> y su proporción de resistencia contra la línea susceptible .....	24
Cuadro 4. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida chlorantraniliprole aplicados a poblaciones de campo de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> y su proporción de resistencia contra la línea susceptible ....	26
Cuadro 5. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida lambdacialotrina aplicados a poblaciones de campo de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> y su proporción de resistencia contra la línea susceptible ....	28
Cuadro 6. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida metomil aplicados a poblaciones de campo de larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> y su proporción de resistencia contra la línea susceptible .....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Absorbancia promedio de las enzimas Oxidasas, Acetil Colinesterasas, $\beta$ -Esterasas, glutatión S-Transferasas y $\alpha$ Esterasas en 9 localidades de la región Laja-Bajío, Guanajuato y la línea susceptible (LS).....	44
--	----



## RESUMEN

Se determinó la variación en la susceptibilidad de cinco insecticidas de gusano cogollero y el rol de las enzimas detoxificativas que confieren resistencia en nueve poblaciones de maíz en la región Laja-Bajío, Guanajuato, Mex. En esta región el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidóptera: Noctuidae) es una larva que causa daño al alimentarse del follaje, que depende de la densidad de la plaga pueden reducir el rendimiento hasta en un 100%. El control químico es el principal método de combate de este insecto plaga, con sus respectivos efectos sobre el ambiente y la salud. El uso irracional y elevado número de aplicaciones genera la selección de múltiples mecanismos de resistencia, para cumplir con los objetivos planteados, se realizaron colectas en nueve municipios de la región Laja-Bajío Gto. (Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortázar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Tarimoro y Villagrán), se colectó larvas del tercer estadio y se colocó en vasos de plástico de tamaño cero y hojas de maíz, se etiquetó, se transportaron al Laboratorio de Fitosanidad del Instituto Tecnológico de Roque, las larvas colectadas se trasladaron a plantas de maíz de la variedad Roque sembradas en vasos de plástico de 1 L y colocadas en jaulas de 1.0 x 0.8 x 0.6 m y cubiertas con tela organza y colocadas en una cámara bioclimática con condiciones de  $25 \pm 2$  °C, 55-65% HR y fotoperiodo 14:10 horas luz oscuridad. La línea susceptible (LS) fue proporcionada por el INIFAP con 20 años sin aplicación de insecticidas. Cuando se obtuvo la generación F2 de las poblaciones en estudio y de la línea susceptible INIFAP 1997, se realizó un bioensayo por inmersión mediante un diseño experimental completamente al azar con cinco ingredientes activos, clorpirifos etil, clorantropiliprol, lambda-cialotrina, cipermetrina y metomil, 40 repeticiones y un testigo absoluto, para ello se preparan diferentes concentraciones de insecticidas a un intervalo de 0.1 a 1400 ppm y un testigo sin tratar, con adherente (Basagro®) como dispersante a una concentración del 1%, al testigo solamente se le aplicó el adherente, se tomaron dos rectángulos de hoja de maíz variedad Roque de 2 cm<sup>2</sup>

libre de plagas e insecticidas y se sumergieron por cinco segundos de cada una de las concentraciones de i.a. en estudio, posterior a la inmersión las hojas se colocaron en papel absorbente por espacio de 30 min para permitir el secado a temperatura ambiente. Pasado ese lapso de tiempo se llevaron a vasos del cero en donde se colocó una larva de tercer estadio en forma individual debido al canibalismo que presenta esta especie, se utilizaron 40 larvas por concentración. La evaluación de mortalidad se realizó a los 24 h de exposición a los i.a. evaluados. El máximo nivel de mortalidad aceptable para el testigo absoluto fue 10% y se corrigió mediante la fórmula de Abbott (1925) cuando el testigo presentaba mortalidad y se determinó sus niveles de  $CL_{50}$  para las líneas de cada población y la línea susceptible, conocido estos valores se determinó la proporción de resistencia dividiendo los valores de  $CL_{50}$  de las líneas de cada población contra la  $CL_{50}$  de la línea susceptible INIFAP 1997 (Georghiou, 1962). Por último, a los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis Probit, se empleó el método de máxima verosimilitud (Finney, 1971), utilizando el programa SAS System para Windows ver 9.0 (SAS, 2002).

Para determinar la actividad enzimática de resistencia de *Spodoptera frugiperda* en 9 poblaciones en la zona Laja-Bajío en el estado de Guanajuato. Se realizaron pruebas bioquímicas de  $\alpha$  y  $\beta$  esterasas, Glutación-S-Transferasas, Acetilcolinesterasa y Oxidasas para determinar y cuantificar niveles enzimáticos de resistencia en las poblaciones en estudio de gusano cogollero del estado de Guanajuato y una línea susceptible proporcionada por el INIFAP campus Bajío. Los resultados muestran que la población de Cortazar resultó ser resistente a los insecticidas cipermetrina, clorpirifos etil, chlorantraniliprole, lambdacialotrina y metomil. Mientras que la población de Apaseo El Alto presentó tolerancia a todos los insecticidas evaluados. Los resultados de la determinación de las enzimas de resistencia mostraron presencia de todas las enzimas, las  $\beta$  esterasas y Glutación-S-transferasas fueron las que reportaron mayor presencia, por su parte Acetilcolinesterasas presentó el mejor contenido para las poblaciones en estudio. Estos resultados sugieren que las  $\beta$ -

esterasas y Glutación-S-transferasas son el principal mecanismo de resistencia para *Spodoptera frugiperda* en el estado de Guanajuato.

**Palabras clave.** Resistencia, gusano cogollero, clorantraniliprol, piretroides, clorpirifos etil, metomil.

## SUMMARY

We determined the variation in the susceptibility of five insecticides of armyworm and the role of the detoxifying enzymes that confer resistance in nine maize populations in the Laja-Bajío region, Guanajuato, Mex. In this region, the armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) is a larva that causes damage when feeding on the foliage, which depends on the density of the pest can reduce yield up to 100%. Chemical control is the main method of combat of this insect pest, with its respective effects on the environment and health. The irrational use and high number of applications generates the selection of multiple resistance mechanisms, in order to comply with the proposed objectives, collections were made in nine municipalities of the Laja-Bajío Gto region (Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortazar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Tarimoro and Villagrán), larvae of the third nymphal stage were collected and placed in zero-size plastic cups and corn husks, label, were transported to the Phytosanitary Laboratory of the Technological Institute of Roque, the larvae collected were transferred to corn plants of the Roque variety planted in 1 L plastic cups and placed in cages of 1.0 x 0.8 x 0.6 m and covered with organza cloth. and placed in a bioclimatic chamber with conditions of  $25 \pm 2$  ° C, 55-65% RH and photoperiod 14:10 dark light hours. The susceptible line (LS) was provided by the INIFAP with 20 years without application of insecticides. When the generation F2 of the populations under study and of the susceptible line INIFAP 1997 was obtained, a bioassay was carried out by immersion by means of a completely randomized experimental design with five active ingredients, chlorpyrifos ethyl, chlorantraniliprole, lambda-cyhalothrin, cypermethrin and methomil, 40 repetitions and an absolute control, for this, different concentrations of insecticides are prepared at a range of 0.1 to 1400 ppm and an untreated control, with adherent (Basagro®) as a dispersant at a concentration of 1%, only the adherent was applied to the control , two rectangles of corn leaf Roque variety of 2 cm<sup>2</sup> free of pests and insecticides were taken and submerged for five seconds of each of the concentrations of ia under

study, after immersion the leaves were placed on absorbent paper for 30 min to allow drying at room temperature. After that lapse of time they were taken to zero vessels where a third stage larva was placed individually due to the cannibalism that this species presents, 40 larvae were used per concentration. The evaluation of mortality was carried out at 24 h of exposure to i.a. evaluated. The maximum acceptable mortality level for the absolute control was 10% and was corrected by the Abbott formula (1925) when the control had mortality and its  $LC_{50}$  levels were determined for the lines of each population and the susceptible line, known these values the proportion of resistance was determined by dividing the  $LC_{50}$  values of the lines of each population against the  $LC_{50}$  of the susceptible line INIFAP 1997 (Georghiou, 1962). Finally, the data obtained were analyzed by Probit analysis, the maximum likelihood method was used (Finney, 1971), using the SAS system for Windows ver 9.0 (SAS, 2002).

To determine the resistance enzymatic activity of *Spodoptera frugiperda* in 9 populations in the Laja-Bajío zone in the state of Guanajuato. Biochemical tests of  $\alpha$  and  $\beta$  esterases, Glutathione-S-transferases, Acetylcholinesterase and Oxidases were carried out to determine and quantify enzymatic levels of resistance in the study populations of the armyworm of the state of Guanajuato and a susceptible line provided by the INIFAP Bajío campus. The results show that the population of Cortazar turned out to be resistant to the insecticides cypermethrin, chlorpyrifos ethyl, chlorantraniliprole, lambdacialotrina and methomil. While the population of Apaseo El Alto showed tolerance to all the insecticides evaluated. The results of the determination of the resistance enzymes showed presence of all the enzymes, the  $\beta$  esterases and Glutathione-S-transferases were the ones that reported the highest presence, meanwhile Acetylcholinesterases presented the best content for the populations under study. These results suggest that  $\beta$ -esterases and Glutathione-S-transferases are the main resistance mechanism for *Spodoptera frugiperda* in the state of Guanajuato

**Keywords:** Resistance, armyworm, chlorantraniliprol, pyrethroids, chlorpyrifos ethyl, methomil.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más ampliamente producido en el mundo (USDA-FAS, 2013), ocupa el segundo lugar después del trigo y del arroz, con una producción de 991.92 millones de toneladas métricas (USDA, 2015). México, es el cuarto productor en relación a el área sembrada de maíz como centro de origen y domesticación de este cultivo (Matsuoka *et al.*, 2002; SAGARPA, 2011). Para el año 2017 la producción estimada es de 23.3 millones de toneladas de este grano, lo que representará un aumento estimado de 4.7 por ciento (SAGARPA, 2017). Sin embargo, el rendimiento promedio del país es de 3.17 toneladas por hectárea; aunque está 38% por debajo del promedio mundial (USDA-FAS, 2013).

Muchos factores limitan el rendimiento y la productividad del maíz en todo el mundo. Los insectos fitófagos contribuyen con el 10% de la reducción (Oerke, 2006), entre ellos destaca el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) (Lepidóptera: Noctuidae), que es considerada una de las plagas más importantes del maíz, es endémico del hemisferio occidental (Rojas *et al.*, 2004; Polanczyk *et al.* 2004; Murúa *et al.*, 2006; Farias *et al.*, 2008; Casmuz, 2010). En diversas entidades de México se han registrado pérdidas causadas por este insecto que van de 13 hasta 100 %. (Huerta-Valdovinos *et al.*, 2016), ataca a la planta en todas las etapas de desarrollo (crecimiento, floración y fructificación), las larvas de este insecto son activas de noche y de día, atacan a la planta de maíz actuando como cortadoras, defoliadoras y cogolleras según el momento de su desarrollo, y producen daños directos cuando se alimentan de los granos de la espiga (Willink *et al.*, 1993), causan daños al alimentarse del follaje, que dependiendo de su densidad puede reducir el rendimiento del cultivo hasta el 100% (Vilarinho *et al.* 2006; Capinera, 2014) ya que reduce el área fotosintética (Jaramillo *et al.*, 1989; De Almeida *et al.*, 2002; Kumar, 2002; Murúa *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2010; Dal Pogetto *et al.*, 2012).

Debido a su importancia en este cultivo, una de las estrategias en el control de este insecto, es el uso de insecticidas en donde los grupos químicos frecuentemente utilizados son organofosforados y piretroides (León-García *et al.*, 2012). Aproximadamente se utilizan 3,000 ton de ingrediente activo (i.a.) para combatir a este insecto (Blanco *et al.*, 2010), las que pueden ser perjudiciales tanto para los aplicadores como para el medio ambiente, al permanecer en el suelo y en las plantas, causando desequilibrio biológico y determinando la selección de poblaciones resistentes (Whalon *et al.*, 2008), por las características de la plaga a su resistencia innata a los pesticidas y la disposición en la planta, el control con productos químicos se dificulta (Ávila *et al.*, 1997), se han reportado desde una hasta seis aplicaciones para su control (Bahena-Juárez *et al.*, 2010), estas aplicaciones aumentan el costo, generalmente, la primera reacción del agricultor cuando un insecticida pierde su efectividad es incrementar la dosis y frecuencia de aplicación, lo que trae como resultado el aumento del costo directo en el control de plagas y por ende la resistencia a los plaguicidas (McPheron, 1995).

Estudios de casos de resistencia en esta especie, se ha demostrado en diferentes grupos de insecticidas a carbaryl (Young y MacMillan, 1979), DDT, ciclodienos, organofosforados, carbamatos y piretroides (Georghiou y Mellon 1983; Yu, 1992; Pacheco-Covarrubias, 1993) y a lambda cihalotrin y methomil (Morillo y Notz, 2001). Los investigadores demostraron que el mecanismo de resistencia de las poblaciones de *S. frugiperda* era principalmente de tipo fisiológico (Martinelli *et al.*, 2006). La resistencia de tipo fisiológico es la más importante por los sistemas enzimáticos reportados. En los insectos son provocados por la actividad de esterasas detoxificativas, que hidrolizan enlaces ésteres de un amplio rango de insecticidas, comprendidas en familias proteicas pertenecientes a las  $\alpha$  y  $\beta$  hidrolasas (Cygler *et al.*, 1993). Por otro lado, en insectos resistentes se muestra una sobreexpresión de los niveles de oxidasa (Carino *et al.*, 1994), que les permite la detoxificación de xenobióticos mediante citocromo P-450 dependiente de las monooxigenasas y GST (Yang *et al.*, 2001); estos últimos presentes en la mayoría de los organismos (Hayes



y Pulford, 1995). Al respecto, (Martinelli *et al.*, 2006) reportaron resistencia de poblaciones *S. frugiperda* a carbaryl por medio de oxidasas microsomaes las mismas que actúan hidrolizando las moléculas de carbaryl. En los últimos 30 años, el uso intensivo de insecticidas de amplio espectro contra este insecto ha ocasionado el desarrollo de resistencia a la mayoría de los compuestos convencionales registrados para su control, así como contaminación del ambiente (Hruska y Gould, 1997; Morillo y Notz, 2003).

En México se realizó un monitoreo sistémico de resistencia en el gusano cogollero del maíz durante el periodo 1987-1990, estudio que señaló alta resistencia a insecticidas organofosforados (Pacheco-Covarrubias, 1993). En 1991 aumentaron los casos documentados de resistencia en poblaciones de *S. frugiperda* provenientes de Gainesville, Florida (USA), poblaciones que mostraron niveles de resistencia moderados a insecticidas pertenecientes a los principales grupos químicos (organofosforados, carbamatos y piretroides), como producto de la enorme presión de selección a la que fue sometido el insecto en esa zona productora de maíz (Yu, 1991; Morillo y Notz, 2001). En este mismo contexto, Young y McMillian (1979) citan a *Spodoptera frugiperda* como resistente a Carbaryl, también fue reportada la resistencia de gusano cogollero a varias clases de grupos diferentes de insecticidas (Wood *et al.*, 1981). Por otro lado, Yu (1991), comparando líneas susceptibles con otras de campo encontró una razón de resistencia que llega a 216.1 veces en Fluvalinate (Piretroides), a 270.6 veces con Metil Parathion (Fosforado) y más de 192 veces con Carbaryl (Carbámicos)

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

Determinar la variación en la susceptibilidad de insecticidas de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) de maíz y el rol de las enzimas detoxificativas que confieren resistencia a insecticidas en la región Laja-Bajío, Guanajuato.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la susceptibilidad de nueve poblaciones de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) del cultivo de maíz de la Región Laja-Bajío Gto., a cinco insecticidas de diferente grupo toxicológico (clorpirifos etil, clorantraniliprol, lambdacialotrina, cipermetrina y metomil).
- Cuantificación y correlación de enzimas detoxificativas en la resistencia a insecticidas a cinco insecticidas provenientes de nueve poblaciones de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) en el cultivo de maíz de la Región Laja-Bajío, Gto.

## **1.2 Hipótesis**

- 1.2.1** Las poblaciones de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) de los municipios de Cortazar, Celaya y Villagrán, Guanajuato presentarán resistencia a tres de los cinco insecticidas evaluados en hojas de maíz.
- 1.2.2** La distribución del contenido de enzimas detoxificantes  $\beta$ -Esterasas, Oxidasas, Glutación-S-Transferasas y acetilcolinesterasas será diferente entre las poblaciones de insectos estudiadas

**CAPITULO II****RESISTENCIA A INSECTICIDAS DE *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)  
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EN EL ESTADO DE GUANAJUATO****2.1 RESUMEN**

Se determinó la variación en la susceptibilidad de cinco insecticidas de diferente grupo toxicológico de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) y en nueve poblaciones de maíz en la región Laja-Bajío, Guanajuato, Mex. En esta región el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) es una larva que causa daño al alimentarse del follaje, que depende de la densidad de la plaga pueden reducir el rendimiento hasta en un 100%. El control químico es el principal método de combate de este insecto plaga, con sus respectivos efectos sobre el ambiente y la salud. El uso irracional y elevado número de aplicaciones genera la selección de múltiples mecanismos de resistencia, para determinar la resistencia de la se realizaron colectas en nueve municipios de la región Laja-Bajío Gto. (Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortázar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Tarimoro y Villagrán), se colectaron larvas del tercer estadio y se colocaron en vasos de plástico de tamaño cero con hojas de maíz, se etiquetaron, se transportaron al Laboratorio de Fitosanidad del Instituto Tecnológico de Roque. Las larvas colectadas se trasladaron a plantas de maíz de la variedad Roque sembradas en vasos de plástico de 1 L y colocadas en jaulas de 1.0 x 0.8 x 0.6 m y cubiertas con tela organza y colocadas en una cámara bioclimática con condiciones de  $25 \pm 2$  °C, 55-65% HR y fotoperiodo 14:10 horas luz oscuridad. La línea susceptible (LS) fue proporcionada por el INIFAP con 20 años sin aplicación de insecticidas. Cuando se obtuvo la generación F2 de las poblaciones en estudio y de la línea susceptible INIFAP 1997, se realizó un bioensayo por inmersión mediante un diseño experimental completamente al azar con cinco ingredientes activos (clorpirifos

etil, clorantraniliprol, lambdacialotrina, cipermetrina y metomil), 40 repeticiones y un testigo absoluto, para ello se prepararon diferentes concentraciones de insecticidas a un intervalo de 0.1 a 1400 ppm y un testigo sin tratar, un adherente (Basagro<sup>®</sup>) como dispersante a una concentración del 1%, al testigo solamente se le aplicó el adherente, se tomaron dos rectángulos de hoja de maíz variedad Roque de 2 cm<sup>2</sup> libre de plagas e insecticidas y se sumergieron por cinco segundos de cada una de las concentraciones de i.a. en estudio, posterior a la inmersión las hojas se colocaron en papel absorbente por espacio de 30 min para permitir el secado a temperatura ambiente. Pasado ese lapso de tiempo se llevaron a vasos del cero en donde se colocó una larva de tercer estadio en forma individual debido al canibalismo que presenta esta especie, se utilizaron 40 larvas por concentración. La evaluación de mortalidad se realizó a los 24h de exposición a los i.a. evaluados. El máximo nivel de mortalidad aceptable para el testigo absoluto fue 10% y se corrigió mediante la fórmula de Abbott (1925) cuando el testigo presentaba mortalidad y se determinó sus niveles de CL<sub>50</sub> para las líneas de cada población y la línea susceptible, conocido estos valores se determinó la proporción de resistencia dividiendo los valores de CL<sub>50</sub> de las líneas de cada población contra la CL<sub>50</sub> de la línea susceptible INIFAP 1997 (Georghiou, 1962). Por último, a los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis Probit, se empleó el método de máxima verosimilitud (Finney, 1971), utilizando el programa SAS System para Windows ver 9.0 (SAS, 2002). Los resultados muestran que la población de Cortazar resultó ser resistente a los insecticidas cipermetrina, clorpirifos etil, chlorantraniliprole, lambdacialotrina y metomil. Mientras que la población de Apaseo El Alto presentó tolerancia a todos los insecticidas evaluados.

**Palabras clave.** Resistencia, gusano cogollero, clorpirifos etil, clorantraniliprol, piretroides, metomil

## 2.2 ABSTRACT

The variation in the susceptibility of five insecticides of different toxicological group of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) armyworm and in nine maize populations in the Laja-Bajío region, Guanajuato, Mex. In this region, the armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) is a larva that causes damage when feeding on the foliage, which depends on the density of the pest can reduce yield up to 100%. Chemical control is the main method of combat of this insect pest, with its respective effects on the environment and health. The irrational use and high number of applications generates the selection of multiple resistance mechanisms, to determine the resistance of the collections were made in nine municipalities of the Laja-Bajío Gto region. (Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortázar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Tarimoro and Villagrán), larvae from the third stage were collected and placed in zero-size plastic cups with corn husks. They were labeled, transported to the Phytosanitary Laboratory of the Technological Institute of Roque. The larvae collected were transferred to maize plants of the Roque variety planted in 1 L plastic cups and placed in cages of 1.0 x 0.8 x 0.6 m and covered with organza fabric and placed in a bioclimatic chamber with conditions of  $25 \pm 2$  ° C , 55-65% RH and photoperiod 14:10 dark light hours. The susceptible line (LS) was provided by the INIFAP with 20 years without application of insecticides. When the F2 generation of the populations under study and of the susceptible line INIFAP 1997 was obtained, an immersion bioassay was carried out by means of a completely randomized experimental design with five active ingredients (chlorpyrifos ethyl, chlorantraniliprole, lambdacialothrin, cypermethrin and methomyl), 40 repetitions and an absolute control, for this, different concentrations of insecticides were prepared at a range of 0.1 to 1400 ppm and an untreated control, an adherent (Basagro®) as a dispersant at a concentration of 1%, only the control was applied to the control. adherent, two rectangles of corn leaf Roque variety of 2 cm<sup>2</sup> free of pests and insecticides were taken and submerged for five seconds of each of the concentrations of ia under study, after immersion the leaves were placed on

absorbent paper for 30 min to allow drying at room temperature. After that lapse of time they were taken to zero vessels where a third stage larva was placed individually due to the cannibalism that this species presents, 40 larvae were used per concentration. The mortality evaluation was carried out 24 h after exposure to the i.a. evaluated. The maximum acceptable mortality level for the absolute control was 10% and was corrected by the Abbott formula (1925) when the control had mortality and its LC<sub>50</sub> levels were determined for the lines of each population and the susceptible line, known these values the proportion of resistance was determined by dividing the LC<sub>50</sub> values of the lines of each population against the LC<sub>50</sub> of the susceptible line INIFAP 1997 (Georghiou, 1962). Finally, the data obtained were analyzed by Probit analysis, the maximum likelihood method was used (Finney, 1971), using the SAS system for Windows ver 9.0 (SAS, 2002). The results show that the population of Cortazar turned out to be resistant to the insecticides cypermethrin, chlorpyrifos ethyl, chlorantraniliprole, lambdacialotrina and methomil. While the population of Apaseo El Alto showed tolerance to all the insecticides evaluated.

**Keywords:** *Resistance, armyworm, chlorantraniliprol, pyrethroids, chlorpyrifos ethyl, methomil.*

### 2.3 INTRODUCCIÓN

Una de las plagas insectiles de mayor importancia económica en el maíz es el gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Rojas *et al.*, 2004; Murúa *et al.*, 2006; Zenner *et al.*, 2007; Farias *et al.*, 2008; Casmuz *et al.*, 2010; Souza *et al.*, 2013; Capinera, 2014), debido a que durante la etapa larval, provocan daños en el follaje, en las brácteas y en el grano en desarrollo, que posteriormente repercuten sobre el rendimiento de grano y forraje (Granados,

2001). En diversas entidades de México se han registrado pérdidas causadas por este insecto que van de 13 hasta 60 % (Del Rincón, 2006; Valdez-Torres *et al.*, 2012), en infestaciones severas puede ocasionar la pérdida completa del cultivo (Williams y Buckley, 1992), la incidencia tiene mayor repercusión económica cuando el daño a la planta ocurre entre los 40 y 60 cm de altura y una edad menor a los 29 días (Banda *et al.*, 1981).

El ciclo de vida lo completa en aproximadamente 30 días. El daño es provocado cuando las larvas de los dos primeros instares, se alimentan de las hojas causando raspaduras aisladas sin romper el parénquima, lo cual le da la apariencia de zonas blanquecinas a manera de “ventanas”. Después las larvas se trasladan al cogollo, alimentándose de éste, causando unos agujeros de tipo irregular que retrasa el desarrollo de las plantas (Bautista, 2006).

El control principal de esta plaga se lleva a cabo mediante insecticidas químicos (Cao *et al.*, 2011; Vázquez-Ramírez *et al.*, 2015). Estas aplicaciones de insecticidas convencionales para el control de esta plaga han resultado en el desarrollo de poblaciones altamente resistentes a dichos químicos en varias partes del mundo (Yu *et al.* 2003, Ahmad y Arif 2010); además de presentar efectos colaterales como impactos negativos sobre organismos de control biológico endémicos (Romeis *et al.*, 2006). Por ejemplo, para el control con insecticidas del gusano cogollero en México se llegan a utilizar hasta 2,600 toneladas de ingrediente activo (Blanco *et al.*, 2010) en cada una de las 2-3 aplicaciones que se hacen contra esta plaga en cada ciclo de cultivo (Blanco *et al.*, 2014), como Lorsban® (clorpirifós etil), un organofosforado, que actúa por contacto, ingestión e inhalación.

El clorpirifósetil aunque moderadamente tóxico tiene efectos neurológicos, trastornos del desarrollo y autoinmunes en exposiciones crónicas (Cao *et al.*, 2011). En el estado de Guanajuato en el 2015 se sembraron 356,833.88 ha de maíz (SIAP, 2015),



pero desde el 2013 se han presentado una alta incidencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) lo que provoco un uso indiscriminado de plaguicidas para su control (CESAVEG, 2015), los plaguicidas autorizados para el control de esta plaga en el estado de Guanajuato son Carbamatos (Metomil), Diamida antranilicas (Clorantraniliprole), Organofosforados (Clorpirifos etil) y Piretroides (Lambdacialotrina Cipermetrina) entre otros (CESAVEG, 2015).

En la literatura revisada no se encontraron estudios sobre el estado actual de la resistencia a insecticidas de poblaciones de *S. frugiperda* provenientes poblaciones del estado de Guanajuato, pero esta especie tiene un historial importante de casos de resistencia. Por ejemplo, hubo casos de resistencia a compuestos organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides por al menos dos décadas en EE.UU. (Wood *et al.*, 1981; Georghiou y Mellon, 1983; Yu, 1992). Esta situación se repitió con poblaciones recolectadas en maíz en México con los mismos grupos toxicológicos (Pacheco-Covarrubias, 1993; Lagunes-Tejeda *et al.*, 2009) y con piretroides en Brasil (Diez-Rodríguez y Omoto, 2001).

Por otro lado, Da Silva Ribeiro (2014) observo bajos niveles de susceptibilidad entre poblaciones oriundas de diversas regiones brasileñas a clorantraniliprole. A pesar de las propuestas de manejo integrado de plagas, de la rotación de grupos toxicológicos por regiones, del conocimiento de la actividad de las esterases asociadas con resistencia a insecticidas organofosforados, piretroides y carbamatos en especies de *Heliothis* y *Spodoptera* (Farnsworth *et al.*, 2010), y de la comprensión de la heredabilidad de la resistencia en poblaciones de *S. frugiperda* (Ríos-Díez y Saldamando-Benumea 2011), los insecticidas organofosforados, carbamatos y piretroides tienen una función importante en el mercado de los plaguicidas.

El uso desmedido de insecticidas carbamatosy organofosforados contra *S. frugiperda* en las regiones productoras de maíz en el estado de Guanajuato, además

de investigar el comportamiento del gusano cogollero a los compuestos químicos relativamente nuevos en el mercado como clorantraniliprole recomendados en el manejo del control de esta plaga, lo que permite proponer la hipótesis de que dicha población plaga ha desarrollado resistencia a los insecticidas usados para su control. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la resistencia de gusano cogollero de nueve poblaciones a tres insecticidas de diferente grupo toxicológico en hojas de maíz.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Fitosanidad del Instituto Tecnológico de Roque (ITR).

Para el establecimiento del pie de cría de *S. frugiperda*, se realizó una colecta de larvas en la región Laja-Bajío, Gto., que comprende los Municipios de Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortázar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Tarimoro y Villagrán, los muestreos se realizaron en 10 lotes comerciales de maíz de cada Municipio, se recolectaron al menos 200 larvas, en 10 puntos al azar, las larvas se colocaron en vasos de plástico de tamaño cero con hojas de maíz.

Fueron llevados al laboratorio de Fitosanidad del ITR en hieleras, posteriormente las larvas colectadas se transfirieron a plantas de maíz de la variedad Roque sembradas en vasos de plástico de 1 L y colocadas en jaulas de 1.0 x 0.8 x 0.6 m y cubiertas con tela organza y colocadas en una cámara bioclimática con condiciones de  $25 \pm 2$  °C, 55-65% HR y fotoperiodo 16:8 horas luz oscuridad. La línea susceptible (LS) fue proporcionada por el INIFAP con 20 años sin aplicación de insecticidas.

Cuando se obtuvo la generación F2 de las poblaciones en estudio y de la línea susceptible INIFAP 1997, se realizó un bioensayo utilizando el método No. 7 por IRAC (Anónimo, 1990), mediante un diseño experimental completamente al azar con cinco ingredientes activos (i.a.) clorpirifos etil (Organofosforado) (Lorban 480 EM Dow Agro<sup>®</sup>, 44.5% i.a.), clorantraniliprol (Diamidas antranílicas) (Coragen 20 SC Dupont<sup>®</sup>, 18.4% i.a.), lambdacialotrina (Piretroide)(Karate Zenon Syngenta<sup>®</sup>, 5.15% i.a.), Cipermetrina (Arrivo Plus 200 CE FMC<sup>®</sup>, 0.4% i.a.) y Metomil (Lannate Dupont<sup>®</sup>, 90% i.a.) con 40 repeticiones y un testigo absoluto, para ello se prepararan diferentes concentraciones de insecticidas a un intervalo de clorpirifos etil (80.0-1,350.0 ppm), chlorantraniliprole (1.0-900.0 ppm), lambdacialotrina (0.1-65.0 ppm), cipermetrina (50.0-1,400.0 ppm), metomilo (20.0-900.0 ppm) y un testigo sin tratar con un adherente (Basagro<sup>®</sup>) como dispersante a una concentración del 1%, al testigo solamente se le aplicó el adherente, se tomó un rectángulo de la cuarta hoja de plantas de maíz variedad Roque de dos cm<sup>2</sup> libre de plagas e insecticidas y se sumergió por cinco segundos en cada una de las concentraciones de i.a. en estudio, posterior a la inmersión las hojas se colocaron en papel absorbente por espacio de 30 min para permitir el secado a temperatura ambiente. Pasado ese lapso de tiempo se llevaron a vasos de plástico tamaño cero donde se colocaron larvas de tercer estadio en forma individual debido al canibalismo que presenta esta especie, se utilizaron 40 larvas por concentración. La evaluación de mortalidad se realizó a las 24 h de exposición a los i.a. evaluadas. Se consideró larva muerta, aquella que estaba deshidratada o no reaccionaba al estímulo del pincel. Se efectuaron siete concentraciones de cada plaguicida para cada población. El máximo nivel de mortalidad aceptable para el testigo fue del 10%; la mortalidad ocasionada por los diferentes insecticidas fue corregida por aquella en el testigo mediante la fórmula de Abbott (1925).

Se estimaron los valores de Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>) de cada insecticida para las líneas de campo y la línea susceptible. Luego se calculó la Proporción de Resistencia (PR) para cada insecticida como el cociente entre la CL<sub>50</sub> de cada una de

las líneas de campo y la  $CL_{50}$  de la línea susceptible. Se consideró que, si el resultado fue mayor a 10X, existieron problemas de resistencia (Georghiou, 1962; Cerna *et al.*, 2009).

Los datos obtenidos se analizaron por un análisis Probit, mediante el método de máxima verosimilitud (Finney, 1971), utilizando el programa SAS para Windows (2002).

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se muestran los resultados de la respuesta de la línea de laboratorio (LS) *Spodoptera frugiperda* en relación a cinco insecticidas de diferentes grupos toxicológicos. Como se puede observar la  $CL_{50}$  fue de 32.456, 31.575, 6.015, 1.401 y 46.707 ppm para los insecticidas cipermetrina, clorpirifos etil, chlorantraniliprole, lambdacialotrina y metomil respectivamente. La  $CL_{50}$  para la cipermetrina (32.456 ppm) en esta investigación es superior a las reportada por Al-Sarar *et al.* (2006) quienes observaron un valor de 0.0055 ppm para una línea susceptible de *Spodoptera frugiperda* y a Pietrantonio *et al.* (2007) y Jan *et al.* (2015) con 0.33 y 0.13 ppm para líneas susceptibles de *Earios vittela* (Fabricius) (Lepidoptera:Noctuide) y *Helicoverpa zea* (Lepidoptera:Noctuide) respectivamente.

Su y Sun (2014) reportaron un valor de  $CL_{50}$  de 5.0 ppm para clorpirifos etil para una línea susceptible de *Spodoptera exigua*, valor inferior al observado en esta investigación (31.57 ppm) y al reportado por Yu (1991) con  $1.45 \mu\text{g g}^{-1}$  de insecto para líneas susceptibles de *Spodoptera frugiperda*. La  $CL_{50}$  observado en esta investigación para chlorantraniliprol (6.01 ppm) es superior al reportado por Hardke *et al.* (2011) y Bird (2015) con 0.068 ppm y  $0.14 \mu\text{g mL}^{-1}$  aplicados a dieta merídica de una línea susceptible de *S. frugiperda* y *Helicoverpa armigera* respectivamente,

resultado similares reporta Adams *et al.* (2016) con un valor de  $1.45 \mu\text{g g}^{-1}$  de insecto de *Helicoverpa zea*.

Para el insecticida lambdacialotrina la  $CL_{50}$  observada fue de 1.40 ppm valor superior a 0.9 ppm reportado por Morillo y Notz (2001) y Ríos-Diez y Saldamando-Benjumea (2011) en una línea susceptible de *Spodoptera frugiperda*, valor similar reportaron Su y Sun (2014) con 1.16 ppm para una línea susceptible de *Spodoptera exigua*.

Con respecto a el metomil, la  $CL_{50}$  de la línea susceptible observada fue de 46.70 ppm, valor inferior al reportado por Morillo y Notz (2001) y Ríos-Diez y Saldamando-Benjumea (2011) con 124.4 ppm para *S. frugiperda*.

Cuadro 1. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de insecticida aplicados a línea susceptible (LS) de larvas de *Spodoptera frugiperda* y su proporción de resistencia contra la línea susceptible

Insecticida	N	$CL_{50}$ (ppm)	LFI-LFS	$CL_{90}$ (ppm)	Ecuación Predicción	Pr>
Cipermetrina	40	32.45	19.623-47.560	102.840	Y= -3.866+2.558	<.0001
Clorpirifos etil	40	31.57	26.992-36.400	151.757	Y= -2.818+1.879	<.0001
Chlorantraniliprol	40	6.01	3.218-9.669	60.414	Y= -0.996+1.279	<.0001
Lambdacialotrina	40	1.40	1.078-1.797	24.203	Y= -0.151+1.035	<.0001
Metomil	40	46.70	32.106-63.270	124.282	Y= -5.033+3.015	<.0001

En el Cuadro 2, se muestran las  $CL_{50}$ , límites fiduciales y PR de la población de campo de *Spodoptera frugiperda* para cipermetrina, se observa que las poblaciones formaron 2 grupos de respuesta, las poblaciones que observaron  $CL_{50}$  mayor a 350 ppm fueron la población de Jaral con 644 ppm, seguida de las poblaciones de Cortazar, Celaya, Tarimoro, Villagrán y Tarimoro con 620.85, 551.95, 457.21, 439.29 ppm respectivamente y las poblaciones de Apaseo el Grande, Apaseo el Alto y

Juventino Rosas con 322.22, 319.70 y 208.91 ppm. Al respecto Morillo y Notz (2001) reportaron  $CL_{50}$  de 57.45 ppm para cipermetrina en líneas de campo lo que indica que en promedio los resultados de esta investigación son mayores en 7.59 veces, resultados similares observó Tahir *et al.* (2015) con un valor promedio de 10.7 ppm para poblaciones de campo de *Earias vittella* (Fabricius).

En relación a la PR se observa que las poblaciones de Jaral, Cortazar, Celaya, Tarimoro, Villagrán y Tarimoro presentaron resistencia a cipermetrina con 19.84, 19.12, 17.00, 14.08, 13.53 y 11.14 X, estos valores son inferiores a los reportados por Yu (1991) quien reportó valores de 5.6X para *Spodoptera frugiperda* con aplicaciones tópicas, resultados superiores reportó Tahir *et al.* (2015) con valores de 42 a 123X para líneas de campo de *Earias vittella* (Fabricius).

Las poblaciones que no observaron resistencia a cipermetrina fueron, Juventino Rosas, Apaseo El Grande y Apaseo El Alto con un PR de 6.43, 9.85 y 9.92X.

La resistencia de las poblaciones mencionadas a cipermetrina probablemente se debe al número de aplicaciones que se dan en los predios donde se colectaron las L1, mencionando los técnico del Departamento Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Guanajuato que se dan de 2 a 3 aplicaciones de cipermetrina para el control de gusano cogollero, aunado a ello mencionan que es el primer insecticida que los productores utilizan debido a su bajo costo con respecto a los insecticidas específicos para su control.

Cuadro 2. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida cipermetrina aplicados a poblaciones de campo de larvas de *Spodoptera frugiperda* y su proporción de resistencia contra la línea susceptible

Población	n	CL <sub>50</sub> (ppm)	LFI-LFS	CL <sub>90</sub>	Ecuación Predicción	PR <sub>50</sub>
A. <sup>a</sup> El Alto	40	319.705	213.204-423.686	987.684	y= -6.552+2.616	9.850X
A. <sup>a</sup> El Grande	40	322.224	178.784-516.822	821.652	y= -7.906+3.152	9.928X
Celaya	40	551.957	273.504-863.179	1213.000	y= -10.275+3.747	17.006X
Comonfort	40	361.748	285.750-463.315	1189.000	y= -6.3429+2.479	11.145X
Cortázar	40	620.854	533.999-721.862	1301.000	y= -11.136+3.987	19.129X
Jaral	40	644.211	539.861-760.505	1364.000	y=-11.046+3.932	19.848X
J. <sup>b</sup> Rosas	40	208.913	63.728-403.609	1609.000	y= -3.353+1.445	6.436X
Tarimoro	40	457.212	336.610-600.473	1257.000	y= -7.764+2.918	14.087X
Villagrán	40	439.298	329.296-560.632	1383.000	y= -6.798+2.572	13.535X

A=Apaseo, J=Juventino, CL=Concentración Letal Media, LFI=Límite Fiducial Inferior, LFS=Límite Fiducial Superior, PR=Proporción de Resistencia

La CL<sub>50</sub> y los límites fiduciales de las poblaciones de campo de *Spodoptera frugiperda* expuestas a clorpirifos etil se muestran en el Cuadro 3, en donde se observa que la CL<sub>50</sub> fluctuó de 296.56 a 741.77 ppm para las poblaciones de Apaseo el Alto y Villagrán respectivamente, los valores observados en esta investigación son 5.73 y 2.29 veces inferiores a los reportados por Avila *et al.* (2014) quienes observaron una CL<sub>50</sub> de 1,702.0 ppm para poblaciones de campo de esta misma especie, valores similares reportaron Su y Sun (2014) con CL<sub>50</sub>>10,000 ppm para poblaciones de campo de *Spodoptera exigua* en dos regiones de China. Valores inferiores reportaron Hussain *et al.* (2015) con 4.56 y 9.63 ppm para poblaciones de *Helicoverpa armígera* (Hübner).

Para la PR para clorpirifos etil observada en esta investigación las poblaciones que superaron más de 20X fueron Villagrán, Celaya y Cortázar con 23.49, 20.82 y 20.11X respectivamente, seguida de las poblaciones de Jaral, Juventino Rosas, Apaseo el

Grande, Tarimoro y Comonfort con 17.87, 16.04, 14.71, 13.73 y 12.94X respectivamente. Los valores de PR mayores (23.49X) para la población de Villagrán y los menores (12.94X) para Comonfort son superiores a los reportados por Hussain *et al.* (2015) en 5.97 y 6.95 veces quienes observaron una PR de 3.93 y 1.86X para dos poblaciones de *Helicoverpa armígera* (Hübner). Pero inferiores a los reportados por Su y Sun (2014) con una PR >1786X para *Spodoptera exigua*.

Las poblaciones de Villagrán, Celaya, Cortázar, Jaral, Juventino Rosas, Apaseo el Grande, Tarimoro y Comonfort observaron valores mayores a 10X en la PR, por lo que se determinó que presentan resistencia a clorpirifos etil, la población de Apaseo El Alto no presenta resistencia a este i.a. debido a que el valor de PR es menor a 10X (9.39X). La resistencia de las poblaciones a clorpirifos etil posiblemente se deba al uso indiscriminado del i.a. por parte de los productores de maíz, ya que en su momento fue el insecticida más utilizado para el control del gusano cogollero y las poblaciones estuvieron expuestas a una alta presión de selección.

Cuadro 3. Concentración letal, limites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida clorpirifos etil aplicados a poblaciones de campo de larvas de *Spodoptera frugiperda* y su proporción de resistencia contra la línea susceptible

Población	n	CL50 (ppm)	LFI-LFS	CL90	Ecuación Predicción	PR50
A El Alto	40	296.568	199.439-430.051	1237.000	y= -5.108+2.066	9.392
A El Grande	40	464.726	362.786-592.634	1125.000	y= -8.905+3.338	14.718
Celaya	40	657.471	611.521-703.781	1433.000	y= -10.676+3.788	20.822
Comonfort	40	408.818	302.675-523.731	1001.000	y= -8.601+3.293	12.947
Cortázar	40	635.219	426.095-913.611	1731.000	y= -8.252+2.944	20.118
Jaral	40	564.432	495.126-624.972	1676.000	y= -7.461+2.711	17.876
J Rosas	40	506.581	366.164-652.665	1224.000	y= -9.046+3.344	16.043
Tarimoro	40	433.631	300.354-635.721	1491.000	y= -6.302+2.390	13.733
Villagrán	40	741.772	532.214-932.671	1331.000	y= -14.483+5.045	23.492

A=Apaseo, J=Juventino, CL=Concentración Letal Media, LFI=Límite Fiducial Inferior, LFS=Límite Fiducial Superior, PR=Proporción de Resistencia



En el Cuadro 4 se muestra la CL<sub>50</sub> y los límites fiduciales de las poblaciones de *Spodoptera frugiperda* expuestas a chlorantraniliprole, en donde se observa que la población con mayor CL<sub>50</sub> fueron Villagrán con 221.44 ppm, seguida de Cortazar, Juventino Rosas, Celaya y Jaral con 171.98, 159.62, 97.82 y 97.05 ppm. La población que menor CL<sub>50</sub> observó fue Apaseo el Grande con 8.94 ppm y en ese orden se encuentran las poblaciones de Apaseo El Alto, Tarimoro y Comonfort con 17.32, 35.80 y 49.33 ppm respectivamente. Al respecto Hardke *et al.* (2011) reporta un valor de CL<sub>50</sub> de 0.068 ppm para poblaciones de *Spodoptera frugiperda*, este valor es 3,256.4 y 131.47 veces mayor y menor respectivamente a los resultados observados en esta investigación, caso similar reportó Su y Sun (2014) con resultados de 2.88 a 3.42 ppm, valores inferiores en 64.74 y 3.10 veces a los observados en las poblaciones en estudio. Adams *et al.* (2016) reportó valores de CL<sub>50</sub> que fluctuaron de 0.00294 a 0.00422 ppm para poblaciones de campo de *Helicoverpa zea* lo que indica que los resultados de esta investigación fueron >3000 veces a los reportados por estos autores.

En referencia a la PR se observó que las poblaciones de Villagrán, Cortazar, Juventino Rosas, Celaya y Jaral presentaron resistencia a chlorantraniliprole con 36.81, 28.59, 26.53, 16.26 y 16.13 X. Mientras que las poblaciones de Comonfort, Tarimoro Apaseo El Alto y Apaseo El Grande observaron valores de 8.28, 5.95, 2.88 y 1.48X lo que indica que aún no son catalogadas como resistentes al i.a. en estudio. Los valores de PR de las poblaciones resistentes variaron de 36.81 a 16.13X, al respecto Su y Sun (2014) reportaron valores de 8.8 a 10.4X para poblaciones de *Spodoptera exigua*, valores inferiores a los resultados observados en esta investigación de las poblaciones resistentes, resultados similares reportó Bird (2015) para *Helicoverpa armígera* con valores de 1.14 a 3.42X.

La resistencia a chlorantraniliprole de las poblaciones de Villagrán, Cortazar, Juventino Rosas, Celaya y Jaral puede deberse a que en estos Municipios tiene

mayor tecnología de producción de maíz y han aplicado ingredientes activos de mayor especificidad para el control de *Spodoptera frugiperda* debido a que el chlorantraniliprole fue puesto en marcha en el mercado mundial en 2007 (Norwegian Scientific on Food Safety, 2010) y en su momento represento una novedosa clase de insecticida con muy alta actividad, contra un amplio espectro de insectos lepidópteros, entre ellos el gusano cogollero (Nishimatsi *et al.*, 2005; Tohnishi *et al.*, 2005).

Cuadro 4. Concentración letal, limites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida chlorantraniliprole aplicados a poblaciones de campo de larvas de *Spodoptera frugiperda* y su proporción de resistencia contra la línea susceptible

Población	n	CL50 (ppm)	LFI-LFS	CL90 (ppm)	Ecuación Predicción	PR50
A. El Alto	40	17.324	7.886-25.894	109.665	y= -1.980+1.599	2.880
A. El Grande	40	8.945	1.204-25.479	450.869	y= -0.716+0.752	1.487
Celaya	40	97.823	38.350-156.212	701.899	y= -2.980+1.497	16.264
Comonfort	40	49.839	43.977-55.578	152.050	y= -4.490+2.645	8.286
Cortázar	40	171.985	86.969-282.714	959.037	y= -3.838+1.717	28.594
Jaral	40	97.054	54.472-147.990	543.122	y= -3.404+1.713	16.136
J. Rosas	40	159.621	116.536-207.499	586.320	y= -4.996+2.268	26.538
Tarimoro	40	35.809	24.503-46.285	313.857	y= -2.112+1.359	5.953
Villagrán	40	221.442	130.662-308.084	891.636	y= -4.968+2.118	36.816

A=Apaseo, J=Juventino, CL=Concentración Letal Media, LFI=Límite Fiducial Inferior, LFS=Límite Fiducial Superior, PR=Proporción de Resistencia

Para la CL<sub>50</sub> y los límites fiduciales del efecto del insecticida lambda-cialotrina en las poblaciones de gusano cogollero (Cuadro 5) se formaron dos grupos con valores mayores de 10 ppm las poblaciones de Cortázar, Tarimoro, Jaral, Celaya y Villagrán con valores de 32.82, 30.59, 29.26, 23.12 y 17.91 ppm respectivamente y otro grupo con 9.56, 6.95, 5.14 y 2.07 ppm para las poblaciones de Apaseo El Alto, Juventino Rosas, Apaseo El Grande y Comonfort respectivamente. La CL<sub>50</sub> de las poblaciones

en estudio para lambda-dialotrina observada fue de 32.82 ppm (Cortázar) a 2.07 ppm (Comonfort). Los valores observados en esta investigación son 57.2 y 3.6 veces menores a los reportados por Diez-Rodríguez y Omoto (2001) quienes observaron una CL<sub>50</sub> de 118.5 para poblaciones de *S. frugiperda* de campo, al respecto Morillo y Notz (2004) observaron un valor de 17.5 ppm para poblaciones de campo de gusano cogollero, este valor es inferior a los resultados de esta investigación para las poblaciones de Cortázar, Tarimoro, Jaral, Celaya y Villagrán pero superior al de las poblaciones de Apaseo El Alto, Juventino Rosas, Apaseo El Grande y Comonfort. Mientras que Ríos-Diez y Saldomando y Benjumea (2011) reportaron 83.70 ppm para la CL<sub>50</sub> de la F3 de poblaciones de campo de *S. frugiperda*, valor 2.5 veces mayor a 32.82 ppm observado para la población de Cortázar que en esta investigación fue el mayor valor para el i.a. en estudio. Husain *et al.* (2015) en un estudio con poblaciones de campo de *Helicoverpa armigera* (Hübner) reportaron una CL<sub>50</sub> de 15.68 a 55.02 ppm, este valor en promedio es 2.02 veces mayor al observado en esta investigación.

La PR para el insecticida lambda-dialotrina de las poblaciones de Cortázar, Tarimoro, Jaral, Celaya y Villagrán observaron valores de 23.43, 21.83, 20.89, 16.51 y 12.79X por lo que se consideraron resistentes al i.a. en estudio.

La PR mayor observada en este estudio 23.43X para la población de Cortázar es 2.13 y 3.53 veces menor a los valores de 50.01 y 33.7X para la población inicial y F3 de poblaciones de *S. frugiperda* reportados por Ríos-Diez y Saldomando-Benjumea (2011), resultados similares reportó León-García *et al.* (2015) de 204.5X para poblaciones de *S. frugiperda*, lo que indica que es 8.7 veces mayor a la población de mayor PR observadas en este estudio. Misma tendencia observó Tahir *et al.* (2015) en poblaciones de *Earias vittella* (Fabricius) quienes reportaron valores de 216 a 432X lo que indica que estos resultados son 9.2 a 18.4 veces mayores a los

observados en la población de Cortazar que fue la que presentó la mayor PR en esta investigación.

Cuadro 5. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida lambdacialotrina aplicados a poblaciones de campo de larvas de *Spodoptera frugiperda* y su proporción de resistencia contra la línea susceptible

Población	n	CL <sub>50</sub> (ppm)	LFI-LFS	CL <sub>90</sub>	Ecuación Predicción	PR <sub>50</sub>
A. El Alto	40	9.565	5.570-15.098	45.428	y= -1.857+1.893	6.828
A. El Grande	40	5.146	2.024-12.783	47.416	y= -0.945+1.328	3.674
Celaya	40	23.128	17.802-28.005	43.986	y= -6.262+4.590	16.511
Comonfort	40	2.078	1.603-2.684	37.144	y= -0.325+1.023	1.483
Cortázar	40	32.822	24.127-43.972	94.832	y= -4.216+2.781	23.431
Jaral	40	29.263	14.151-61.040	100.740	y= -3.500+2.387	20.890
J. Rosas	40	6.951	2.135-14.705	59.091	y= -1.160+1.378	4.962
Tarimoro	40	30.593	19.177-46.876	88.558	y= -4.124+2.776	21.839
Villagrán	40	17.918	15.927-20.031	61.991	y= -2.979+2.377	12.791

A=Apaseo, J=Juventino, CL=Concentración Letal Media, LFI=Límite Fiducial Inferior, LFS=Límite Fiducial Superior, PR=Proporción de Resistencia

En el Cuadro 6 se presentan la concentración letal, límites fiduciales y PR del insecticida metomil aplicados a poblaciones de campo de larvas de *Spodoptera frugiperda* en donde se observa que la población de Cortazar presentó la mayor CL<sub>50</sub> con 486.90 ppm, seguido de las poblaciones de Celaya, Villagrán y Jaral con 417.88, 410.05 y 401.05 ppm respectivamente. La población que presentó la menor CL<sub>50</sub> fue Comonfort con 57.02 ppm. Las poblaciones de Tarimoro, Apaseo El Grande, Juventino Rosas y Apaseo el Alto no superaron las 350 ppm, con 174.09, 224.75, 285.31 y 332.89 ppm respectivamente.

Al respecto Morillo y Notz (2001) y Rios-Diez y Saldomando-Benjumea (2014) reportan valores de CL<sub>50</sub> de 1,322.20 y 501.37 ppm para líneas de campo y F3 de *S.*

*frugiperda*, valor superior en 2.7 y 1.02 veces al observado en la población de Cortazar (486.90 ppm). En esa misma tendencia, Morillo y Notz (2014) quienes observaron una CL<sub>50</sub> de 396.2 ppm en líneas de campo de gusano cogollero que representa un valor 1.2 veces superior al observado para esta población. Valores similares reporta Su y Sun (2014) con CL<sub>50</sub> de 2598 ppm en poblaciones de campo de *Spodoptera exigua*.

Mientras que Diez-Rodríguez y Omoto (2001) y De Almeida *et al.* (2017) reportaron un valor de CL<sub>50</sub> de 118.5 y 58.81 ppm para poblaciones de campo de *S. frugiperda* valor inferior 4.10 y 8.2 veces respectivamente a la observada para la población que resulto con la mayor CL<sub>50</sub> de este estudio.

En referencia a la PR, la población que observo resistencia a metomil fue la de Cortázar con 10.42X, las otras poblaciones en estudio no superaron las 10X de PR por lo que aún se consideran susceptibles.

La PR de la población de Cortazar (10.42X) superior a la reportada por Yu (1991) y Rios-Diez y Saldamando-Benjumea (2011) quienes observaron valores de 6.6 y 4.03X para líneas de campo de *S. frugiperda* respectivamente, caso similar reporta Su y Sun (2014) con un valor de 4.5X para una población de campo de *Spodoptera exigua* Morillo y Notz (2001) y León-García *et al.* (2012) reportaron un valor de 10.6 y 183.0X para una línea de campo de *S. frugiperda* superior en 1.01 y 17.56 veces al observado en la población resistente en este estudio.

Cuadro 6. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del insecticida metomil aplicados a poblaciones de campo de larvas de *Spodoptera frugiperda* y su proporción de resistencia contra la línea susceptible

Población	N	CL <sub>50</sub> (ppm)	LFI-LFS	CL <sub>90</sub>	Ecuación Predicción	PR <sub>50</sub>
A. El Alto	40	332.896	236.100-454.126	1064.000	y= -6.404+2.539	7.127X
A. El Grande	40	224.757	156.290-318.332	840.466	y= -5.261+2.237	4.812X
Celaya	40	417.887	202.251-568.478	1057.000	y= -8.334+3.179	8.947X
Comonfort	40	57.022	34.530-78.723	135.207	y= -6.001+3.417	1.221X
Cortázar	40	486.900	300.854-705.700	1073.000	y= -10.035+3.734	10.425X
Jaral	40	401.051	285.522-494.758	930.237	y= -9.130+3.507	8.587X
J. Rosas	40	285.317	203.788-391.230	724.530	y= -7.774+3.166	6.109X
Tarimoro	40	174.099	80.167-267.806	567.446	y= -5.596+2.497	3.728X
Villagrán	40	410.057	353.077-466.724	734.934	y= -13.214+5.057	8.779X

A=Apaseo, J=Juventino, CL=Concentración Letal Media, LFI=Límite Fiducial Inferior, LFS=Límite Fiducial Superior, PR=Proporción de Resistencia

## 2.6 CONCLUSIONES

Debido a la alta presión de selección a la que han sido objeto el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) por la aplicación de insecticidas por parte de los productores de maíz en la región Laja-Bajío Gto, la población de Cortázar resultó ser resistente a los insecticidas cipermetrina, clorpirifos etil, chlorantranilprole, lambdacialotrina y metomil.

Las poblaciones de Celaya, Jaral y Villagrán presentaron resistencia a cipermetrina, clorpirifos etil, chlorantranilprole y lambdacialotrina. Mientras que las poblaciones de Comonfort y Juventino Rosas observaron resistencia a cipermetrina y chlorantranilprole y a clorpirifos etil y chlorantranilprole respectivamente. Tarimoro presentó resistencia a tres insecticidas, cipermetrina, clorpirifos etil y

lambdacialotrina. La población de Apaseo El Alto presentó tolerancia a todos los insecticidas evaluados.

## 2.7 LITERATURA CITADA

- Adams, J. Gore, A. Catchot, F. Musser, D. Cook, N. Krishnan, and T. Irby. 2016. Susceptibility of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) Neonates to Diamide Insecticides in the Midsouthern and Southeastern United States. *Journal of Economic Entomology*. 1–5.
- Ahmad M , Arif MI . 2010. Resistance of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to endosulfan, organophosphorus and pyrethroid insecticides in Pakistan. *Crop Protection* 29: 1428–1433.
- Al-Sarar, A., Hall, R. F. y Downer, A. R. 2006. Impact of spray application methodology on the development of resistance to cypermethrin and spinosad by fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). *Pest Manag Sci* 62:1023–1031
- Ávila M. M. C., L. E. S. Cuca, y J. A. S. Cerón. 2014. Actividad Insecticida Sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidóptera: Noctuidae) de los Compuestos Aislados de la Parte Aérea de *Piper septuplinervium* (Miq.) C. Dc. y las Inflorescencias de *Piper subtomentosum* Trel. & Yunck. (*Piperaceae*. *Quim. Nova*, 37(3):442-446.
- Ávila, M. M. C., Cuca S. L. E., Salamanca, C. J. A. 2014. Actividad insecticida sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidóptera: Noctuidae) de los compuestos aislados de la parte aérea de *Piper septuplinervium* (Miq.) c. dc. y las inflorescencias de *Piper subtomentosum* Trel. & Yunck. (*Piperaceae*). *Quim. Nova*, 37 (3): 442-446
- Banda, T. J. F., S. D. Enkerlin, F. G. De Alba y B. L. E. Garza. 1981. Importancia económica de *Heliothis zea* (Boddie) y determinación del umbral económico, distribución matemática y muestreo secuencial de *Spodoptera frugiperda* [J. E. Smith] en maíz criollo. *Fitófilo* 85: 101-118.

- Bautista-Martínez, N. 2006. *Insectos plaga: una guía ilustrada para su identificación*. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 113 p.
- Bird, J. L. 2015. Baseline Susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to Indoxacarb, Emamectin Benzoate, and Chlorantraniliprole in Australia. *Journal of Economic Entomology*. 1:7
- Blanco, C. A., J. G. Pellegaud, U. Nava-Cabmberos, D. Lugo-Barrera, P. Vega-Aquino, J. Coello, A. P. Teran-Vargas, and J. Vargas-Camplis. 2014. Maize pests in Mexico and challenges for the adoption of integrated pest management program. *Journal of Integrated Pest Management Management*. 5 (4):1-9.
- Blanco, C. A., M. Portilla, J. L. Jurat-Fuentes, J. F. Sánchez, D. Viteri, P. Vega-Aquino, A. P. Terán-Vargas, A. Azuara-Domínguez, J. D. López, R. Arias, et al. 2010. Susceptibility of isofamilies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to Cry1Ac and Cry1Fa proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Southwest. Entomol.* 35: 409–415.
- Cao, J.; Varnell, A.; Cooper, D. 2011. Gulf war syndrome: A role for organophosphate induced plasticity of locus coeruleus neurons. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10101/npre.2011.6057.1>. Consultado: 19 enero de 2017.
- Capinera, J. L. 2014. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta:Lepidoptera: Noctuidae). Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/in255>. Consultado: enero del 2017.
- Casmuz, A., Juárez, M. L., Socías, M. G., Murúa, M. G., Prieto, S., medina, S., Willink, E. y G. Gastaminza. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69: 209–231.
- CESAVEG, 2015. Estrategias Estatal para el Control de Gusano Cogollero en Guanajuato 2015. En: <http://www.cesaveg.org.mx/new/presentaciones/PlaticasCBJul15/Estrategia%20Estatal%20Para%20Control%20de%20Gusano%20Cogollero.pdf> Consultado: 17 de octubre de 2017



- Da Silva Ribeiro, R. 2014. Monitoramento da susceptibilidad de populacoes de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera:Noctuidae) a insecticidas diamidas no Brasil. Tese de doctorado. Escola Superios de Agricultura Luiz Queiroz.
- De Almeida, A. W., I. H. D.S. Leduíno, A. C. D. S. Vieira, A. P. B. Júnior, A. H. De Sousa. 2017. Potentiation of Copaíba Oil-Resin with Synthetic Insecticides to Control of Fall Armyworm. *Rev. Caatinga*, Mossoró, 30(4):1059 – 1066
- Del Rincón-Castro, M. C., Méndez-Lozano, J. y J. E. Ibarra. 2006. Caracterización de cepas nativas de *Bacillus thuringiensis* con actividad insecticida hacia el gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Folia Entomológica Mexicana*, 45: 157–164.
- Diez-Rodríguez, G. I., and C. Omoto. 2001. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacialotrina. *Neotrop. Entomol.* 30: 311-316.
- Farías, P. R. S., J. C. Barbosa, A. C. Busoli, W. L. Overal, V. S. Miranda, and S. Ribeiro. 2008. Spatial analysis of the distribution of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) and losses in maize crop productivity using geostatistics. *Neotrop. Entomol.* 37: 321-327.
- Farnsworth, C. A., M. A. Teese, G. Yuan, Y. Li, C. Scott, X. Zhang, Y. Wu, R. J. Russell, and J. G. Oakeshott. 2010. Esterase-based metabolic resistance in heliothine and spodopteran pest. *J. Pestic. Sci.* 35: 275-289.
- Georghiou, G. P., and R. B. Mellon. 1983. Pesticide resistance in time and space. *In*: Georghiou G. P., and T. Saito (eds). *Pest Resistance to Pesticides*. Plenum Press. New York. pp: 175-205.
- González-Maldonado M. B., J. N. Gurrola-Reyes, E I. Chaírez-Hernández. 2015. Productos biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología* 41 (2): 200-204.
- Granados, G. 2001. Manejo integrado de plagas. *En*: Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte, A. D. Violic y J. P. Marathée. *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Italia. FAO.

- Hardke, J. T., J. H. Temple, B. R. Leonard, y R. E. Jackson. 2011. Laboratory toxicity and field efficacy of selected insecticides against fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). Fla. Entomol. 94: 272–278
- Huerta-Valdovinos F., García-Banderas, V. D., Figueroa-De la Rosa J. I., Pineda-Guillermo S., Chavarrieta M., Ana Mabel Martínez-Castillo A. M. 2016. Reproducción y Desarrollo de Poblaciones de Campo del Gusano Cogollero *Spodoptera frugiperda* Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae). Entomología Mexicana, 3: 311–315
- Hussain D., M. Saleem, G. Ghouse, and M. Abbas. 2015. Insecticide Resistance in Field Populations of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). J. Entomol. Sci. 50 (2):119-128
- Lagunes-Tejeda, A., J. C. Rodríguez-Maciel, y J. C. De Loera-Barocio. 2009. Susceptibilidad a insecticidas en poblaciones de artrópodos de México. Agrociencia 43: 173-196
- León-García, I. E. Rodríguez-Leyva, L. D. Ortega-Arenas, J. F. Solís-Aguilar. 2012. Susceptibilidad de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a Insecticidas Asociada a Césped en Quintana Roo, México. Agrociencia. 46(3):279-287
- Morillo F., Notz A. 2001. Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. Boletín de Entomología Venezolana 16(2): 79-87.
- Morillo F., Notz A. 2004. Efecto de lambdacihalotrina y metomil sobre la biología de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Entomotropica 19(1): 7-14
- Nishimatsu, T., T. Hirooka, H. Kodama, M. Tohnishi, and A. Seo. 2005. Flubendiamide a new insecticide for controlling lepidopterous pest Proc. BCPC Internat. Cong. Crop Science and Technology, Farnham, Surrey, UK, 2<sup>a</sup>-3, pp. 57-64
- Norwegian Scientific Committee on Food Safety. 2010. Evaluation of the plant protection product Coragen 20 SC Chlorantraniliprole. Regarding application for authorization. In: <http://vkm.no/dav/1bddb1b125.pdf>

- Pacheco-Covarrubias, J. J. 1993. Monitoring insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* populations from the Yaqui Valley, Son., Mexico. Resistant Pest Manage. Newsletter 5: 3-4
- Pietrantonio, P. V., Junek T.A., Parker R., Mott D., Siders K., Troxclair N., Vargas-Camplis J., Westbrook J. K., y Vassiliou V.A. 2007. Detection and Evolution of Resistance to the Pyrethroid Cypermethrin in *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) Populations in Texas.
- Ríos-Díez, J.D., and C. I. Saldamando-Benjumea. Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Strains From Central Colombia to Two Insecticides, Methomyl and Lambda-Cyhalothrin: A Study of the Genetic Basis of Resistance. Journal of Economic Entomology. 104(5):1698-1705
- SIAP. 2015. En: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp) Consultado: 16 de mayo de 2017
- Souza J. R., G. A. Carvalho, A. P. Moura, M.H.G. Couto y J. B. Maia. 2013. Impact of insecticides used to control *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in corn on survival, sex ratio, and reproduction of *Trichogramma pretiosum* Riley offspring. Chilean Journal of Agricultural Research. 73(2): 122-127
- Su, J., y Sun X. X. 2014. High level of metalflumizone resistance and multiple insecticide resistance in field populations of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) in Guangdong, Province, China. Crop Protection 61:58-63
- Tahir J. M., Abbas N., Shad A.S., Salee A.M. 2015 Resistance to organophosphate, pyrethroid and biorational insecticides in populations of spotted bollworm, *Earias vittella* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae), in Pakistan Crop Protection 78: 247-252
- Tohnishi, M. H. Nakao, T. Furuya, A. Seo, H. Kodama, K. Tsubata, S. Fujioka, H. Kodama, T. Hirooka, and T. Nishimatsu. 2005. Flubendiamide, a novel insecticide highly against Lepidopterous insect pests. J. Pestic. Sci. 30(4)354-360.
- Valdez-Torres, J. B., F. Soto-Landeros, T. Osuna-Enciso y M. A. Báez-Sañudo. 2012. Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). Agrociencia 46:399-410

- Vázquez-Ramírez, M. F., J. C., Rangel-Núñez, Ibarra, J. E.; Del Rincón-Castro, M. C. 2015. Evaluación como agentes de control biológico y caracterización de cepas mexicanas de *Bacillus thuringiensis* contra el gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Interciencia*, 40 (6): 397-402.
- Williams, W. P., y P. M. Buckely. 1992. Growth of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on resistant and susceptible corn. *J. Econ. Entomol.* 85(5): 2039-2042.
- Wood, K. A., B. H. Wilson, and J. B. Graves. 1981. Influence of host plant on the susceptibility of the fall armyworm to insecticides. *J. Econ. Entomol.* 74: 96-98.
- Yu, S. J. 1991. Insecticide Resistance in the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 39: 84-91
- Yu, S. J. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 85: 675-691.
- Yu S.J , Nguyen SN , Abo-Elghar GE . 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 77: 1–11.
- Zenner, de P.I. H. A. Arévalo y R. Mejía. 2007. El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) y algunas plantas Transgénicas. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas.* 1(1): 103-113.

## CAPITULO III

### CUANTIFICACIÓN DE ENZIMAS ASOCIADAS A LA RESISTENCIA DE INSECTICIDAS EN POBLACIONES DE *Spodoptera frugiperda* (SMITH) (LEPIDÓPTERA: NOCTUIDAE) DE MAÍZ DE LA REGIÓN LAJA-BAJÍO GUANAJUATO

#### 3.1 RESUMEN

En el estado de Guanajuato se sembraron 380 mil hectáreas de maíz en el año 2017, entre los factores que reducen su producción se encuentra el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidóptera: Noctuidae) que puede ocasionar daños hasta del 50% en la superficie sembrada, por lo que se ha convertido en un grave problema para los productores. El principal método de control se basa en el uso de insecticidas, lo que ha conducido a contaminar el medio ambiente, problemas de salud y por la alta presión de selección de los insecticidas ha generado resistencias a los diferentes ingredientes activos utilizados en su control, debido al desconocimiento de los mecanismos de resistencia a esta plaga en el estado, se planteó como objetivo la cuantificación de enzimas  $\alpha$  y  $\beta$  esterasas ( $\alpha$  y  $\beta$ -Est), Glutación S-Transferasas (GST), Acetil Colinesterasas (ATCh) y oxidasas (Oxid) asociadas a la resistencia de insecticidas de *S. frugiperda* de nueve poblaciones de maíz de la región Laja-Bajío, Guanajuato (Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortázar, Jaral, Juventino Rosas, Tarimoro y Villagrán) y una línea susceptible como referencia. Los resultados muestran que existen diferencias altamente significativas entre enzimas y localidades, con un comportamiento heterogéneo entre poblaciones para las enzimas ATCH, GST y Oxid. Las enzimas con mayor presencia fueron  $\alpha$  y  $\beta$ -Est en las poblaciones de Tarimoro y Apaseo El Alto y Tarimoro respectivamente, así como GST y Oxid en Jaral y Oxid en poblaciones provenientes de Celaya.

**Palabra clave:** *Enzimas detoxificativas, gusano cogollero, maíz, tolerancia, insecticidas.*

### 3.2 ABSTRACT

In the state of Guanajuato, 380 thousand hectares of maize were planted in 2017, among the factors that reduce its production is the *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidóptera:Noctuidae) armyworm that can cause up to 50% damage to the planted area, which is why It has become a serious problem for producers. The main control method is based on the use of insecticides, which has led to polluting the environment, health problems and the high selection pressure of the insecticides has generated resistance to the different active ingredients used in their control, Due to the lack of knowledge of the mechanisms of resistance to this pest in the state, the aim was to quantify  $\alpha$  and  $\beta$  esterases enzymes ( $\alpha$  and  $\beta$ -Est), glutathione S-transferases (GST), acetyl cholinesterases (ATCh) and oxidases (Oxid) associated with insecticide resistance of *S. frugiperda* from nine maize populations of the Laja-Bajío region, Guanajuato (Apaseo El Alto, Apaseo El Grande, Celaya, Comonfort, Cortazar, Jaral, Juventino Rosas, Tarimoro and Villagrán) and a susceptible line as a reference. The results show that there are highly significant differences between enzymes and localities, with a heterogeneous behavior between populations for the enzymes ATCh, GST and Oxid. The enzymes with greater presence were  $\alpha$  and  $\beta$ -Est in the populations of Tarimoro and Apaseo El Alto and Tarimoro respectively, as well as GST and Oxid in Jaral and Oxid in populations from Celaya.

**Keywords.** *Detoxification enzymes, armyworm, corn, tolerance, insecticides.*

### 3.3 INTRODUCCIÓN

El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidóptera: Noctuidae) puede ocasionar daños hasta del 50 % en maíz en el estado de Guanajuato, México (CESAVEG 2016). La alta tasa de infestación de *S. frugiperda* y las grandes pérdidas económicas que causa ha llevado a la dependencia de la aplicación intensiva de insecticidas químicos para el control (Yu, *et al.*, 2003). El control ineficaz de la plaga puede reducir los rendimientos de maíz hasta en un 63 al 100% (Hruska y Gladstone, 1988; Vilarinho *et al.* 2006; Capinera, 2014). En las últimas tres décadas, el uso intensivo y a veces indiscriminado de plaguicidas de amplio espectro para el control de este insecto ha ocasionado el desarrollo de poblaciones con resistencia a varias clases diferentes de insecticidas, incluidos organofosforados, carbamatos, piretroides y benzoilureas (Yu, 1991; Yu, 1992; Díez-Rodríguez y Omoto, 2001; Yu, *et al.*, 2003), además de resurgencia de plagas secundarias y contaminación ambiental (Morillo y Notz, 2003). De acuerdo a la Arthropod Pesticide Resistance Database (APRD) hasta el año 2015, el gusano cogollero había desarrollado resistencia a 31 ingredientes activos con diferentes modos de acción, incluyendo *Bacillus thuringiensis*, clorados, organofosforados y piretroides principalmente (APRD, 2015). La caracterización bioquímica de la resistencia a los piretroides y organofosforados en *S. frugiperda* ha sugerido que tanto la insensibilidad del sitio objetivo como la desintoxicación de los insecticidas por enzimas metabólicas subyacen a la resistencia (Yu *et al.*, 2003). Está demostrado que la resistencia de los insectos a los insecticidas es frecuentemente el resultado de un incremento de la actividad metabólica o niveles enzimáticos de la plaga. Estos mecanismos de resistencia metabólica no están ligados a ningún punto de acción específico y por tanto, pueden conferir resistencia a insecticidas de más de un grupo de diferente modo de acción (IRAC, 2015). Los principales mecanismos de resistencia en común es la resistencia metabólica, con un aumento de la actividad de esterasas, glutatión S-transferasas, acetilcolinesterasa y oxidasas (Li *et al.*, 2007, Bass *et al.*, 2011). Los insectos

resistentes pueden tener elevados niveles de una enzima en particular o formas alteradas de la enzima que metaboliza al plaguicida a un nivel más rápido que la forma no alterada (FAO, 2012). El metabolismo de los insectos juega un papel importante en la resistencia a insecticidas y el conocimiento del mismo se puede utilizar para mejorar la toxicidad de los insecticidas con la mezcla de otros insecticidas que poseen las mismas vías metabólicas (Mohan y Gujar, 2003). En la actualidad en la agricultura se ha recurrido al estudio de estas biomoléculas para encontrar soluciones a dos grandes retos: la pérdida de cultivos por ataque de plagas y la utilización de compuestos sintéticos tóxicos para su control (Morillo y Notz, 2003). Por tal motivo el objetivo de la presente investigación fue cuantificar las enzimas detoxificativas en nueve poblaciones de *Spodoptera frugiperda* de la zona Laja-Bajío en el estado de Guanajuato.

### 3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Para cumplir con el objetivo planteado se realizó una colecta en forma manual del material biológico en lotes comerciales de maíz de las poblaciones de la región Laja-Bajío del estado de Guanajuato: Apaseo El Grande, Apaseo El Alto, Celaya, Comonfort, Cortázar, Jaral del Progreso, Juventino Rosas, Tarimoro y Villagrán. Se colectaron larvas de tercer estadio de *S. frugiperda*, las cuales se colocaron en vasos de plástico del número cero y se metieron en hieleras para su traslado a laboratorio para ser refrigeradas a  $-2^{\circ}\text{C}$  hasta su posterior estudio. Como población susceptible se utilizó una población INIFAP campo experimental Bajío sin presión de selección a insecticidas desde 1977.



Para la determinación y cuantificación de proteínas contenidas en tejidos como base para la realización de las pruebas bioquímicas, se determinó la cantidad larvas por muestra usando el método de Bradford (1976) modificada por Brogdon (1984), con el Kit-11 Bio-Rad® y ASB® (Albumina sérica bovina) como proteína de referencia, se utilizaron larvas del tercer estadio, colocando 4 muestras en tubos Eppendorf con 0.05, 0.15, 0.25 y 0.5% de larva de *S. frugiperda* con 4 repeticiones, se agregaron 500  $\mu\text{L}$  de solución Buffer ( $\text{KPO}_4$ ) a 0.05 y un pH de 7.2, se trituraron con ayuda de un macerador de tejidos y se aforaron a 1 mL para emplearlo como fuente de enzima. En una microplaca de 96 pozos se agregó en cada cavidad 20  $\mu\text{L}$  de homogenato, posteriormente se adicionaron 80  $\mu\text{L}$  de solución Buffer ( $\text{KPO}_4$ ) mas 200  $\mu\text{L}$  de colorante diluido, esto se realizó por triplicado para cada repetición. Se tomaron lecturas de absorbancia en un lector de micro placas (Biotek El x 800) utilizando el filtro de 630 nm y se calcularon los valores de  $\mu\text{L mL}^{-1}$  de proteína comprendidos en el rango de 80 a 120  $\mu\text{L}$ .

Los resultados de esta prueba mostraron que todas las muestras están fuera del intervalo permitido (80 a 120  $\mu\text{g}$ ) excepto 0.5 que está dentro del rango establecido. Se seleccionó la muestra de 0.5 larva como número de insecto para la fuente de enzima, al respecto Bradford (1976) menciona que los valores fuera del rango no son confiables para la cuantificación de proteína en tejidos. En tanto que Dary *et al.*, (1990) reporta que existe estrecha relación entre tamaño de muestra y cantidad de proteína, por lo que se pueden representar diferencias en los resultados obtenidos.

Una vez determinada la cantidad de muestra en relación a la proteína (0.25 larvas = 100  $\mu\text{L}$  de proteína) se homogenizo en 500 mL de solución Buffer ( $\text{KPO}_4$ ) y posteriormente se aforo a 1 mL (Brogdon, 1984).

**Determinación de  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas ( $\alpha$ -Est y  $\beta$ -Est).** Se disolvieron 10 mL de  $\alpha$  y  $\beta$ -naphthyl acetate en 5.6 ml de acetona y se agregó 8 ml de solución buffer ( $KPO_4$ ). Como colorante se utilizó Fast-Blue, pasando 10 mg del mismo y se diluyeron en 10 ml de  $H_2O$  destilada. Para la lectura de la absorbancia en cada pozo de la microplaca se colocaron 100  $\mu$ L de homogenato con 100  $\mu$ L de acetato  $\alpha$  y  $\beta$ -naftil, se dejó incubar por 10 minutos, pasado el tiempo, se agregaron 100  $\mu$ L de Fast-Blue, este protocolo se realizó por triplicado para cada repetición de las 9 poblaciones, se dejaron incubar durante 2 min y se corrió en el lector de placas usando un filtro de 540 nm.

**Determinación de Glutación S-esterasas (GST).** Se disolvieron 0.0122 g de reduce glutatión en 20 mL de Buffer ( $KPO_4$ ). Para CDNB (1- cloro – 2,4 di nitrobencono) se disolvieron 4 mg de CDNB en 2 mL de acetona + 18 mL buffer  $KPO_4$ . Para la lectura de absorbancias se colocaron 100  $\mu$ L del homogenato con 100  $\mu$ L de reduced glutatión, y 100  $\mu$ L de CDNB, esto se realizó por triplicado para cada repetición de las 9 poblaciones, se corrió inmediatamente ( $T_0$ ) en el lector de placas usando un filtro de 340 nm, se volvió a correr transcurrido 5 min ( $T_5$ ). Para el análisis estadístico las lecturas de absorbancia se utilizó el resultado de la diferencia entre ambos tiempos ( $T_5-T_0$ ) y los números negativos se consideran como 0.

**Determinación de acetilcolinesterasa (ATCh).** Se disolvieron 70 mg de acetilcolina-yodisada en 10 mL de acetona y se aforo con 90 mL de solución buffer ( $KPO_4$ ). Para el DTNB (acido-ditio-bis-nitrobenozoico) se prepararon 13 mg de DTNB y se le agregaron 10mL de solución buffer ( $KPO_4$ ). Para la lectura de absorbancias se colocaron 100  $\mu$ L de homogenato, se agregaron 100  $\mu$ L de acetilcolina-yodisada y 100  $\mu$ L de DTNB, esto se realizó por triplicado para cada repetición de las seis poblaciones, se corrieron inmediatamente ( $T_0$ ) en el lector de placas usando un filtro de 340 nm, se volvió a correr transcurrido 10 min ( $T_{10}$ ).

Para el análisis estadístico las lecturas de absorbancia se utilizó el resultado de la diferencia entre ambos tiempos (T0-T10) y los números negativos se consideran como 0.

**Determinación de oxidasas (Oxid).** Se preparó buffer de acetato de sodio a una concentración de 0.25 M, para ello se disolvió 3.32g 3M de sodio acetato en 37.35 mL de H<sub>2</sub>O destilada y se aforo a 40 mL, ajustando el pH 5. Para el TMBZ (Tetramethyl-Benzidina Dihydrochloride), se disolvieron 20 mg de TMBZ en 10 mL de alcohol y se le agrego 30 mL de solución Buffer acetato de sodio 25 M. Para la lectura de las absorbancias, se colocaron 100 µL del homogenato, se agregaron 200 µL de TMBZ, agregando una gota (25 µL) de agua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), esto se realizó por triplicado para cada repetición de las 9 poblaciones, se dejó incubar por 5 min, pasado el tiempo se corrió en el lector de placas usando un filtro de 620 nm.

Con las absorbancias de cada enzima se realizó una distribución de frecuencias y se estableció un umbral de resistencia. La proporción de resistencia se estimó mediante el número de medias que excedía dicho umbral y se clasificaron según Montella *et al.*, (2007) con pequeñas modificaciones como: “inalterado” de 0-5% “incipientemente alterado” 6-30%, “moderadamente alterado” de 31-50%, “alterado” de 51-75% y “muy alterado” por arriba de 76%. Por último, se realizó un ANVA y una prueba de Tukey (P=0.05), para la separación de las medias, utilizando el programa estadístico computacional R-studio versión 3.3.1.

### 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del ANVA de las absorbancias de cada enzima para cada una de las poblaciones en estudio mostró que existen diferencias altamente significativas

( $p \leq 0.01$ ) entre enzimas y localidades, así como entre las enzimas comparadas en diferentes localidades, es decir, que las absorbancias de cada enzima varían entre localidades, esto se puede entender claramente en la Fig. 1.

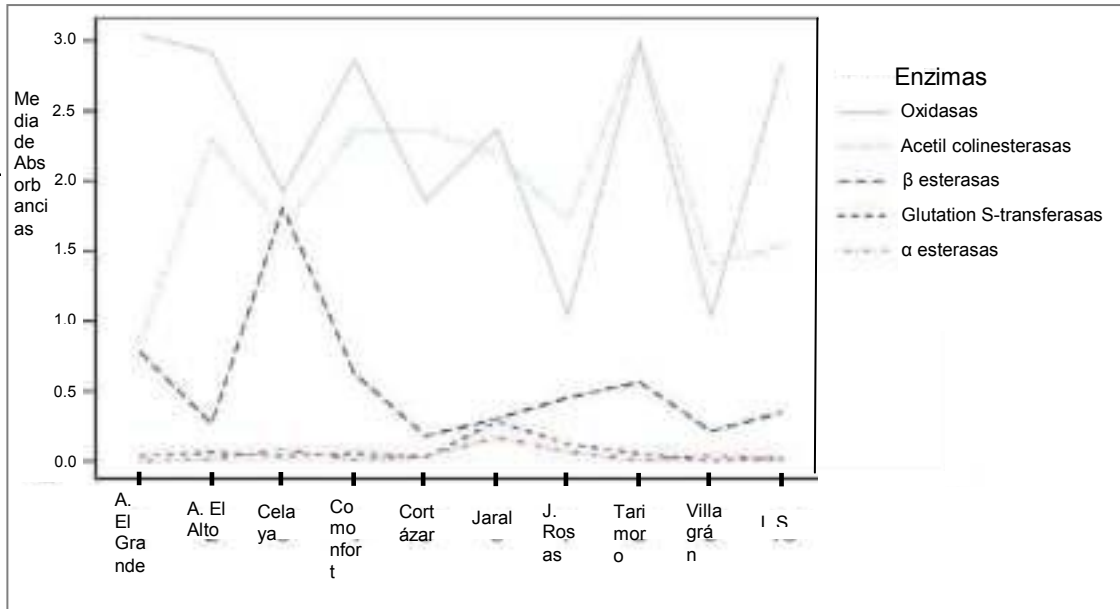


Figura 1. Absorbancia promedio de las enzimas Oxidasas, Acetil Colinesterasas, β-Esterasas, glutatión S-Transferasas y α Esterasas en 9 localidades de la región Laja-Bajío, Guanajuato y la línea susceptible (LS).

En el Cuadro 1 se muestra la absorbancia de la comparación de medias y el coeficiente de variación de las enzimas α-Est, β-Est, GST, ATCh y Oxid de diferentes poblaciones de *S. frugiperda* de maíz en la región Laja-Bajío, Guanajuato, en donde se observan diferencias significativas entre las poblaciones en estudio para cada enzima. Las enzimas α y β-Est se expresaron en mayor cantidad para todas las poblaciones en estudio, seguidas de GST y Oxid, siendo la ATCh la que presentó menores valores.

En referencia a los coeficientes de variación, los mayores valores se observaron para las enzimas ATCH, GST y Oxid con 50.97, 48.17 y 36.56% lo cual indica un comportamiento heterogéneo entre las poblaciones, mientras que para las enzimas  $\alpha$  y  $\beta$ -Est el comportamiento tendió a ser más homogéneo con valores de CV de 18.56 y 26.75% respectivamente.

Para  $\alpha$ -Est, se formaron 5 grupos, siendo las poblaciones de Apaseo El Alto y Tarimoro fueron las que estadísticamente expresaron el valor medio más alto con 3.04 y 2.97 respectivamente, estos resultados son superiores a los reportados por Landeros *et al.*, (2010) quien observó una media de 0.623 para  $\alpha$ -Est en un estudio sobre *Tetranychus urticae* Koch. El siguiente grupo observado fue con las poblaciones de Apaseo El Grande, Comonfort y la Línea Susceptible con valores medios de 2.92, 2.86 y 2.85 respectivamente, seguida de la población de Jaral con 2.36, las poblaciones de Celaya y Cortázar con valores de 1.920 y 1.85 respectivamente formaron el siguiente grupo. Por su parte las poblaciones de Juventino Rosas y Villagrán presentaron los contenidos más bajos con media de 1.04 y 1.03 respectivamente.

Para  $\beta$ -Est se observó con un valor máximo de 3.00 de la población de Tarimoro, seguida de las poblaciones de Cortázar y Comonfort con 2.36 y 2.35 respectivamente. El menor valor observado para esta enzima fue de 0.85 para la población de Apaseo El Alto.

Para las GST se observa que se formaron 5 grupos con el valor máximo de 0.285 para la población de Jaral, seguido de la población de Juventino Rosas con 0.122. El siguiente grupo formado por las poblaciones de Apaseo El Grande, Comonfort y Tarimoro con 0.063, 0.058 y 0.054 respectivamente y las poblaciones de Apaseo El Alto, Celaya, Cortázar y la Línea Susceptible con 0.038, 0.034, 0.029 y 0.023 respectivamente formaron otro grupo. Los valores observados para las

poblaciones de Jaral, Juventino Rosas, Apaseo El Grande, Comonfort, Tarimoro, Apaseo El alto, Celaya, Cortázar y la Línea Susceptible son superiores a los reportados por Hernández *et al.* (2016), quienes observaron niveles enzimáticos bajos para GST con una media de 0.003 en *Melanaphis sacchari*. La sobre expresión de GST es responsable de la resistencia a organofosforados, piretroides, diaminas e indoxacarb (Furlong yWright, 2013; Hu *et al.*, 2014a). La población que observó el valor más bajo para esta enzima fue Villagrán con 0.00.

En el caso de la ATCh se observó que la población de Jaral con 0.171 presentó el mayor valor para esta enzima, seguida de la población de Celaya y Juventino Rosas con 0.082 y 0.66, estos resultados son inferiores a los reportados por Pérez (2012) quien observó una absorbancia media de 0.043 en *Tribolium castaneum*.

Los valores de absorbancia de la población de Jaral, Celaya y Juventino Rosas sugieren que han desarrollado un amplio espectro de resistencia a organofosforados y en mayor medida a los carbamatos (Bisset, 2002).

El mínimo valor observado de 0.00 correspondió a la población proveniente de Apaseo El Alto.

La población de Celaya observó el mayor valor para Oxid con 1.815, seguido de las poblaciones provenientes de Apaseo El Alto con 0.777. Observando que la población de Cortázar presento el menor valor para esta enzima con 0.181

La mayor cantidad de enzimas  $\alpha$  y  $\beta$ -Est para todas las poblaciones en estudio, sugiere que las poblaciones han estado expuestas a alta presión de selección a piretroides (Brogdon y Barber, 1990; Flores *et al.*, 2005,2006), organoclorados (Toshio *et al.*, 2004), organofosforados (Bisset *et al.*, 2001), carbamatos (Lee y Georghiou, 1990; Georghiou, 1994; Pasteur y Raymound, 1996), oxidazas

(Toshio *et al.*, 2004), avamectinas y benzoilureas (Sayyed y Wright, 2006; Eziah *et al.*, 2009; Furlong *et al.*, 2013). Tradicionalmente, el control de este insecto se realiza con productos químicos como los organofosforados, los carbamatos y los piretroides, compuestos altamente tóxicos (Morillo y Notz, 2001; De Polanía *et al.*, 2007). Al respecto (Lagunes y Villanueva, 1994) mencionan que los insecticidas organofosforados, carbamatos y piretroides, los cuales son altamente susceptibles al ataque de enzimas esterasas, provocando en las poblaciones de insectos el incremento de esterasas como mecanismo detoxificativo de los plaguicidas. En estudios con *Aedes aegypti* se reportó un aumento en la actividad de enzimas esterasas no específicas ( $\alpha$  y  $\beta$ ) en la desintoxicación de organofosforados y piretroides, esta misma tendencia se ha observado en esta especie en México (Flores *et al.*, 2006), Brasil (Montella *et al.*, 2007), El Salvador (Bisset *et al.*, 2009), Cuba (Bisset *et al.*, 2011), Costa Rica (Bisset *et al.*, 2013) y otros países de América (Rodríguez *et al.*, 2007).

Los niveles altos de GST y Oxid observados en esta investigación, posiblemente se deba a la aplicación constante de piretroides, carbamatos, análogos de la nereistoxina y diaminas (Bautista *et al.*, 2009; Furlong *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2014b). Al respecto Siqueira *et al.* (2000), indica que las oxidasas son el principal grupo de enzimas involucradas en la resistencia presentada en poblaciones de campo de *Tuta absoluta* a la insecticida cafta (carbamato), estas enzimas son las que están más comúnmente asociadas con la resistencia cruzada entre DDT/Piretroides (Scott y Wen, 2001; Fonseca *et al.*, 2009). A su vez, Pimentel *et al.* (2008) mencionan que las oxidasas juegan un papel fundamental en la detoxificación de diversos compuestos de plaguicidas, participando directamente en la inhabilitación del producto u oxidándolo para que entren otros sistemas enzimáticos y puedan ser detoxificados (Benhalima *et al.*, 2004). Varios autores reportan a las enzimas GST y ATCh como causa de resistencia en especie de insectos (Dauterman, 1983).

Cuadro 1. Absorbancia media y coeficiente de variación de las enzimas  $\alpha$ -Esterasas ( $\alpha$ -Est),  $\beta$ -Esterasas ( $\beta$ -Est), Glutation S-transferasa (GST), Acetilcolinesterasa (ATCh) y Oxidasas (Oxid) de diferentes poblaciones de *Spodoptera frugiperda* de maíz en la región Laja-Bajío, Guanajuato.

Población	n	Med±SD				
		$\alpha$ -Est	$\beta$ -Est	GST	ATCh	Oxid
A El Alto	12	3.044±0.659 a	0.859±0.239 f	0.038±0.022 cd	0.000±0.000 f	0.777±0.328 b
A El Grande	12	2.920±0.348 ab	2.294±0.764 bc	0.063±0.020 c	0.013±0.008 def	0.266±0.056 ef
Celaya	12	1.920±0.167 c	1.655±0.325 cde	0.034±0.017 cd	0.082±0.048 b	1.815±0.362 a
Comonfort	12	2.864±0.588 ab	2.359±0.666 ab	0.058±0.033 c	0.014±0.008 def	0.626±0.249 bc
Cortázar	12	1.858±0.165 c	2.363±0.876 ab	0.029±0.024 cd	0.036±0.027 de	0.181±0.159 f
Jaral	12	2.367±0.507 bc	2.188±0.595 bcd	0.285±0.084 a	0.171±0.031 a	0.303±0.176 def
J Rosas	12	1.045±0.346 d	1.720±0.304 bcde	0.122±0.020 b	0.066±0.019 bc	0.454±0.151 cde
Tarimoro	12	2.974±0.512 a	3.000±0.445 a	0.054±0.019 c	0.008±0.006 ef	0.266±0.151 bcd
Villagrán	12	1.033±0.039 d	1.404±0.229 ef	0.000±0.000 d	0.042±0.021 cd	0.215±0.033 ef
L S	12	2.853±0.446 ab	1.537±0.180 def	0.023±0.005 cd	0.011±0.009 ef	0.349±0.159 def
CV (%)		18.56	26.75	48.17	50.97	36.56

A El Alto=Apaseo El Alto, A El Grande=Apaseo El Grande, J Rosas=Juventino Rosas, LS=Línea Susceptible



En *Aedes aegypti* se observó una alta presencia de Oxid,  $\beta$ -Est y GST en la resistencia al piretroide deltametrina. La actividad de Oxid previamente estuvo fuertemente relacionada con los piretroides (Stevenson *et al.*, 2012; Ardilla-Roldán *et al.*, 2013). Mientras que la sobreexpresión de GST ha sido vinculada a diclorodifeniltricloroetano (DDT) y resistencia a piretroides (Lumjuan *et al.*, 2011).

En un estudio con *S. frugiperda* indicaron un potencial de asociación de GST con desarrollo de resistencia múltiple/cruzada a Bt y acefato (organofosforado). La asociación es compatible con GST funciones en las reacciones de catálisis que transforman una amplia gama de compuestos endógenos y xenobióticos, entre ellos insecticidas, al neutralizar sus sitios electrofílicos y a los productos más solubles en agua para una mayor metabolización y excreción (Armstrong, 1997; Allocati *et al.*, 2009). Se han detectado altos niveles de actividad de GST en algunas cepas de insectos resistentes (Ottea *et al.*, 1984) y el desarrollo de resistencia se ha correlacionado con la actividad de GST mejorada y dependiente de GST en el metabolismo del insecticida (Fournier *et al.*, 1987). Estudios sobre las intensidades de interacción molecular revelaron que GST tiene afinidades de unión más fuertes con los plaguicidas organofosforados, piretroides, organoclorados, carbamatos y neonicotinoides (Labade *et al.*, 2018).

Sin embargo, GST es una enzima de desintoxicación muy general y la detección de la actividad de GST significativamente alta indicó una alta selección presión sobre la población de Jaral.

### 3.6 CONCLUSIONES

En las poblaciones de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidóptera: Noctuidae) de maíz de la región Laja-Bajío, Guanajuato, las  $\alpha$  y  $\beta$ -esterasas son las

enzimas con mayor presencia, responsables de la resistencia en *S. frugiperda* a los insecticidas aplicados en la región. Por su parte, Glutación S-transferasa y Oxidasas se presentaron en menor proporción como mecanismos de detoxificativos y la Acetil Colinesterasa no presenta relevancia en la resistencia a insecticidas.

### 3.7 LITERATURA CITADA

- Allocati, N., L. Federici M., Musulli, C. Dillio. 2009. Glutathione transferase in bacteria, FEBS J. 276:58-75
- APRD. Arthropod Pesticide Resistance Database. En: [www.pesticideresistance.com](http://www.pesticideresistance.com). 2015. Date access: 28 de diciembre de 2017
- Ardila-Roldán S, Santacoloma L, Brochero H. 2013. Status of insecticide susceptibility of public health use in natural populations of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) of Casanare, Colombia. Biomedica 33: 446–458
- Armstrong, R. N. 1997. Structure catalytic mechanism, and evolution of the glutathione transferase. Chem. Res. Toxicol. 10:2-18. <https://www.10.1021/tx960072x>
- Bass, C. L. M. 2011. Field, Gene, Amplification and Insecticide Resistance, Pest Manag. Sci. 67:886-890. En: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.2189/>
- Bautista, M. A. M. T. Miyataa, K. Miuraa, T. Tanaka, (2009). RNA interference-mediated knockdown of cytochrome P450, CYP6BG1, from the diamondback moth, *Plutella xylostella*, reduces larval resistance to permethrin, Insect Biochem. Mol. Biol. 39 38-46.
- Benhalima H, Chaudhry M. Q., Mills K. A., Prince N. R. 2004. Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. J. Stor. Prod. Res. 40:241-249.

- Bisset A. J., 2002. Uso correcto de insecticidas: control de la resistencia. *Rev Cubana Med Trop* 54(3):202-219
- Bisset J. A., Rodríguez M.M., Molina D., Díaz C, Soca L. A. 2001. Esterasas elevadas como mecanismo de resistencia a insecticidas organofosforados en cepas de *Aedes aegypti*. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 53 (1):37-43. [http://www.scielo.sld.cub/scielo.php?scrib=sci\\_artext&pid=S037507602001000100007](http://www.scielo.sld.cub/scielo.php?scrib=sci_artext&pid=S037507602001000100007)
- Bisset J. A., Rodríguez M. M., Ricardo Y., Ranson H., Perez O., Moya M., Vazquez A. 2011. Temephos resistance and esterase activity in the mosquito *Aedes aegypti* in Havana, Cuba, increased dramatically between 2006 and 2008. *Med Vet Entomol* 25:233–239.
- Bisset J. A, Rodríguez M. M., San Martín J. L, Romero J. E., Montoya R. 2009. Evaluación de la resistencia a insecticidas de una cepa de *Aedes aegypti* de El Salvador. *Rev Panam Salud Publica* 26:229–234.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein- dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248 – 254. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0003269776905273>
- Brogdon, W. G. 1984. Mosquito protein microassay-1, protein determinations from small portions of single-mosquito homogenates. *Comp. Biochem. Physiol.* 79:457-459. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6509934>
- Brogdon, W. G. and Barber, A. M. 1990. Microplate assay of glutathione s-transferasa activity for resistance detection in single-mosquito triturates. *Comp. Biochem. Physiol.* 96: 339-342. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0305049190903857>
- Capinera, J. L. 2014. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/in255>. Consultado: 10 de enero del 2017.
- CESAVEG. Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Guanajuato. 2016. Estrategia estatal para el control de gusano cogollero en Guanajuato.

Disponible en: [www.cesaveg.org.mx](http://www.cesaveg.org.mx). Fecha de consulta: 8 noviembre de 2017.

- Dauterman W. C. 1983. Role of hydrolases and glutathione s-transferases in insecticides resistance. En: Georghious GP, Saito T (Eds) *Pest Resistance to Pesticides*. Plenum Press. Nueva York, EE UU. pp. 229-247
- De Polanía I., Arévalo H., Mejía R. 2007. El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera:Noctuidae) y algunas plantas transgénicas. *Rev. Colomb. Ciencias Hortícolas* 1:103–113.
- Diez-Rodrigues G.I. y Omoto C. 2001. Inheritance of lambda-cyhalothrin resistance in *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) *Neotrop Entomol.* 30: 311–316.
- Eziah, V. Y., H. A. Rose, M. Wilkes, A. D. 2009. Biochemical mechanisms of insecticide resistance in the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera:Yponomeautidae) in the Sydney region, Australian. *Aust. J. Entomol.* 48:321-327. <http://www.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1440-6055.2009.00723.x/pdf>
- FAO, 2012. Directrices sobre la prevención y Manejo de la Resistencia de los plaguicidas.
- Flores A. E., Albeldaño-Vázquez W., Salas I.F., Badii M. H., Loaiza H., Garcia G. P., Lozano S., Brogdon W. G., Black I. V. W. C., Beaty B. 2005. Elevated alfa-esterases levels associated with permethrin tolerance in *Aedes aegypti* (L.) from Baja California, Mexico. *Pestic Biochem Physiol* 82: 66-78.
- Flores A. E., Grajales J. S., Salas I. F., Garcia G. P., Becerra M. H., Lozano S., Brogdon W. G., Black W. C., Beaty B. 2006. Mechanisms of insecticide resistance in field populations of *Aedes aegypti* (L.) from Quintana Roo, Southern Mexico. *J Am Mosq Control Assoc* 22: 672-67

- Fonseca- Gonzales, I., Quiñones, M. L., McAllister, J., Brogdon , W , G. (2009). Mixed function oxidases and esterases associated with cross-resistance between DDT and lambda- chyalothrin in *Anopheles Darling* Root 1926 populations from Colombia. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 104(1), 18- 26.
- Fournier, D. A., Cuany M., Pralavorio J. M., Bride J. B., J. B. Berge. 1987. Analysis of methidathion resistance mechanisms in *Phytoseiules persimilis* A. H. *Pestic. Biochem. Physiol.* 28:271-278
- Furlong M. J., Wright D. J., Dosedall L. M. 2013. Diamondback Moth Ecology and Management: Problems, Progress and Prospects. *Annual Review of Entomology* 58(1): 517–541. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
- Furlong, M. J. Wright, L. M. 2013. Dosedall, Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects , *Annu. Revu. Entomol.* 58:517- 541. <http://www.enualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-ento-120811-153605>
- Georghiou, G. P. 1994. Principles of insecticide resistant management. *Phytoprotection* 75 Suppl. 51-59.
- Hernández-Bautista, O, Arredondo-Pérez, M. A., Cerna-Chávez, E., Ochoa-Fuentes, Y. M. y Navarro-Campos F. E. 2016. Cuantificación de enzimas detoxificativas en pulgón amarillo del sorgo *Melanaphis sacchari* en Saltillo, México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 2016, 37: 5-12.
- Hruska, A. J. and Gladstone, S. M. 1988. Effect of period and level of infestation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on irrigated maize yield. *Florida Entomologist*. Vol. 71(3): 249-254
- Hu, Z. D. S. Q. Lin, H. Y. Chen, Z. Y. Li, F. Yin, X. (2014b). Feng, identification of a novel cytochrome P450 gene, CYP321E1 from the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) and RNA interference to evaluate its role in chlorantraniliprole resistance, *Bull. Entomol. Res.* 104, 716-723. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25208571>

- Hu, Z.D.S. Lin, H. Y. Chen, Z. Y. Li, F. Yin, P. Liang, X. W. Gao, (2014a). Biochemical mechanism of chlorantraniliprole resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* Linnaeus, J. Integr. Agr. 13 2452- 2459. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311914607486>
- IRAC, 2015. Comité de acción para la resistencia a los insecticidas. Versión actualizada, octubre 2015
- Labade P. C., A. R. Jadhav, M. Ahire, S. S. Zinjarde, V. A. Tamhane. 2018. Role of induced glutathione-S-transferase from *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) HaGST-8 in detoxification of pesticides. Ecotoxicology and Environmental Safety. 147:612-621
- Lagunes T. A. y Villanueva J. J. A. 1994. Toxicología y Manejo de Insecticidas. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. México. 265 pp.
- Lee, J. G.; Pasteur, N. and Georghiou, G. P. 1990. Preliminary results of an Elisa test for detections of organophosphate-resistance in *Culex* populations due to increased detoxification by Esterasas. 58th Annual Conference of the California Mosquito and Vector Control association. 111-115.
- Landeros, J.; Ail, C.; Cerna E.; Ochoa Y., Guevara, L. y Aguirre, L. 2010. Suceptibilidad y mecanismos de resistencia de *Tetranychus urticae* (Acariforme:Tetranychidae) en rosal de invernaderos. Revista Colombiana de Entomología 36(1):5-9
- Li, X. C., M. A. Schuler, M. R. Barenbaum. 2007. Molecular mechanism of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. Annu. Rev. Entomol. 52:231-253. En: <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ento.51110104.151104>
- Lumjuan N, Rajatileka S, Changsom D, Wicheer J, Leelapat P, Prapanthadara LA, Somboon P, Lycett G, Ranson H. 2011. The role of the *Aedes aegypti* Epsilon glutathione transferases in conferring resistance to DDT and pyrethroid insecticides. Insect Biochem Mol Biol 41:203–209
- Mohan, M., Gujar, G. T. 2002. Local variation in susceptibility of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) to insecticides and role of detoxification

- enzymes. Crop Protection 3(22):495-505.  
<http://sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219402002016>
- Montella I. R., Martins A. J., Viana-Medeiros P. F., Lima J. B., Braga I. A., Valle D. 2007. Insecticide resistance mechanisms of Brazilian *Aedes aegypti* populations from 2001 to 2004. Am J Trop Med Hyg 77:467–477
- Morillo F, Notz A. 2003. Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. Entomotropica 16:79–87.
- Ottea J. A., F. W. Plapp Jr., 1984. Glutathione S-transferase in the house fly: biochemical and genetic changes as sociated with induction andi nsecticide resistance, Pestic. Biochem. Physiol. 22:203–208.
- Pasteur, N. and Raymonds, M. 1996. Insecticide resistance genes in mosquitoes: their mutations, migration and selection in field populations. J. Heredity 87: 444-449
- Pérez O. S. 2012. Determinación de Enzimas de Resistencia en *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleptera:Tenebrionidae). Tesis. Presentada como Requisito Parcial Para Obtener el Grado de: maestro en Ciencia en Parasitología Agrícola. UAAAN. 108 p.
- Pimentel MAG, Antonino FLR, Duarte BM, Humberto S (2008). Resistance of storedproduct insects to phosphine. Pesq. Agropec. Bras. 43: 1671-1676.
- Rodríguez M. M., Bisset J. A., Fernández D. 2007. Levels of insecticide resistance and resistance mechanisms in *Aedes aegypti* from some Latin American countries. J Am Mosq Control Assoc 23:420–429
- Sayyed, A. H and Wright, D. J. 2006. Genetics and evidence for an esterase-associated mechanism of resistance to indoxacarb in a field population of diamondback moth (Lepidoptera:Plutellidae). Pest Manag. Sci. 62:1045-1051.  
<http://www.onlibrary.wiley.com/doi/10.1002/ps.1270/>
- Scott JG, Wen Z (2001). Cytochromes P450 of insects: the tip of the iceberg. Pest Manag Sci 57: 958 – 967.

- Siqueira, H.; Guedes, N.; Picanco, M. 2000. Cartap resistance and synergism in population of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Journal of Applied Entomology* 124 (5-6): 233-238
- Stevenson B. J., Pignatelli P., Nikou D., Paine MJ. 2012. Pinpointing P450s associated with pyrethroid metabolism in the dengue vector, *Aedes aegypti*: developing new tools to combat insecticide resistance. *PLoS Negl Trop Dis* 6:e1595.
- Toshio, S., Zhang L., Scott J. G. 2004. Indoxacarb resistance in the house fly, *Musca domestica*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 8:106-112. <http://www.scott.entomology.cornell.edu/125.pdf>.
- Vilarinho, E. C.; Fernandes, O. A.; Omoto, C.; Hunt, T. E. 2006. Oil-soluble dyes for marking *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 99 (6): 2110-2115.
- Yu S. J. 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pestic Biochem Physiol* 39: 84–91.
- Yu S. J. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J Econ Entomol* 85: 675–682.
- Yu S. J., Nguyen S. N., Abo-Elghar G. E. 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pestic Biochem Physiol* 77: 1–11.



## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES GENERALES

Se acepta la primera y segunda hipótesis al observar que las poblaciones de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith, 1797) de Cortazar, Celaya y Villagrán presentaron resistencia a tres de los cinco insecticidas evaluados en hojas de maíz y una diferente distribución del contenido de enzimas detoxificantes entre las poblaciones en estudio.

La alta presión de selección a insecticidas de diferentes grupos toxicológicos que ha sido expuesto el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*(Smith, 1797) en la región Laja-Bajío, Guanajuato ha provocado resistencia de poblaciones de Cortázar a los insecticidas cipermetrina, clorpirifos etil, chlorantraniliprole, lambdacialotrina y metomil, posiblemente se deba a la alta tecnología en la producción de maíz. Mientras que las poblaciones de Apaseo El Alto presentó tolerancia a todos los insecticidas evaluados.

Las poblaciones de Celaya, Jaral y Villagrán presentaron resistencia a cipermetrina, clorpirifos etil, chlorantraniliprole y lambdacialotrina. Mientras que las poblaciones de Comonfort y Juventino Rosas observaron resistencia a cipermetrina y chlorantraniliprole y a clorpirifos etil y chlorantraniliprole respectivamente. Tarimoro presentó resistencia a tres insecticidas, cipermetrina, clorpirifos etil y lambdacialotrina.

Se considera que el principal mecanismo de resistencia para *Spodoptera frugiperda* en la región Laja-Bajío es debido a las enzimas Glutation-S-transferasa y  $\beta$ -esterasas, la enzima Acetilcolinesterasa observó un mecanismo detoxificativo poco relevante.

## CAPITULO V

## LITERATURA CITADA GENERAL

- Ávila, C. J.; Degrande, P. E.; Gómez, S.A. 1997. Insetosprega: reconhecimento, comportamento, danos e controle, pp. 157-180. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. Milho informações técnicas. Dourados.
- Bahena-Juárez, F., De Lange, E., Farnier, K., Cortez-Mondaca, E., Sánchez-Martínez, R., García-Pérez, F., Miranda-Salcedo, M., Degen, T., Gaudillat, B., Aguilar-Romero, R. (2010) Parasitismo en gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el centro de México. Proceedings: XXXIII Congreso Nacional de Control Biológico. Uruapan, Michoacán, México. pp. 204-209.
- Blanco, C. A., M. Portilla, J. L. Jurat-Fuentes, J. F. Sánchez, D. Viteri, P. Vega-Aquino, A. P. Terán-Vargas, A. Azuara-Domínguez, J. D. López, R. Arias. 2010. Susceptibility of isofamilies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to Cry1Ac and Cry1Fa proteins of *Bacillus thuringiensis*. Southwest. Entomol. 35: 409 – 415
- Capinera, J. L. 2014. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/in255>. (Consultado enero del 2017)
- Carino, F. A.; Koener, J. F.; Plapp, F. W.; Feyereisen, R. 1994. Constitutive overexpression of the cytochrome P450 gene Cyp6A1 in a house fly strain with metabolic resistance to insecticides. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 24: 411-418
- Casmuz, Augusto, Juárez, M. Laura, Socías, M. Guillermina, Murúa, M. Gabriela, Prieto, Silvina, Medina, Santiago, Willink, Eduardo, & Gastaminza, Gerardo. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69(3-4), 209-231.

- Cyglar, M.; Schrag, J. D.; Sussman, J. L.; Harel, M.; Silman, I.; Gentry, M. K. 1993. Relationship between sequence conservation and three-dimensional structure in a large family of esterases, lipases and related proteins. *Protein Science*, 2: 366-382
- Dal Pogetto M. H. F. A., Prado E. P., Gimenes M. J., Christovam R. S., Rezende D. T., Aguiar-Junior H. O., Costa S. I. A. and Raetano C. G., 2012. Corn yield with reduction of insecticidal sprayings against fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Agronomy*, 11: 17-21
- De Almeida Sarmiento, R., R.W. de Souza Aguiar, R. De Almeida Sarmiento de Souza Aguiar, S.M.J. Vieira, H.G. de Oliveira and A.M. Holtz, 2002. Biology review, occurrence and control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) in corn in Brazil. *Biosci. J.*, 18: 41-48.
- Farias, P. R. S., J. C. Barbosa, A. C. Busoli, W. L. Overall, V. S. Miranda, and S. Ribeiro. 2008. Spatial analysis of the distribution of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and losses in maize crop productivity using geostatistics. *Neotrop. Entomol.* 37: 321-327.
- Georghiou, G. P., y R. B. Mellon. 1983. Pesticide resistance in time and space. *In*: Georghiou G. P., and T. Saito (eds). *Pest Resistance to Pesticides*. Plenum Press. New York. pp: 175-205
- Hayes, J. D.; Pulford. D. J. 1995. The glutathione s-transferase supergene family: regulation of GST and the contribution of the isoenzymes to cancer chemoprotection and drug resistance. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 30: 445-600
- Hruska A J, F Gould. 1997. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua. *J. Econ. Entomol.* 90:611-622.
- Huerta-Valdovinos F., García-Banderas, D. V., Figueroa-De la Rosa J. I., Pineda-Guillermo S., Chavarrieta, M., y Martínez-Castillo, A. M. 2016. Reproducción y desarrollo de poblaciones de campo del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomología mexicana*, 3: 311-315

- Jaramillo, D. A., Jaramillo O., Bustello A. E. y Gómez H. 1989. Efecto del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) sobre el rendimiento del maíz. Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín 42: 25-33.
- Kumar, H. 2002. Plant damage and grain yield reduction by fall armyworm and stem borers on certain maize hybrids containing resistance genes from varying sources under experimental and farmers field conditions. Crop Protection 21: 563-573.
- León-García, I. 2009. Detección de *Sphenophorus venatus vestitus* Chittenden y manejo de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) sobre césped en Quintana Roo, México. Tesis de Doctorado en Ciencias, Colegio de Postgrados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 89 p.
- Lima, M. S., Silva, P. S. L., Oliveira, O. F., Silva, K. M. B. and Freitas, F. C. L. 2010. Corn yield response to weed and fall armyworm controls. Planta Daninha, Viçosa-MG. 28 (1): 103-111.
- Martinelli, S. 2006. Resistencia de lepidópteros-praga a insecticidas na cultura do algodao no Brasil. Revista Brasileira de Oliginosas e fibrosas, Campina Grande, 10(3): 1167-1182.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J.S.G., E. Buckler, and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 99: 6080 – 6084
- McPheron B. 1995. Management of insecticide resistance. Pennsylvania State University. Mimeografiado. 42 p.
- Morillo F., y Notz A. 2001. Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. Entomotropica 16:79–87.
- Murúa, G., J. Molina-Ochoa, and C. Coviella. 2006. Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in northwestern Argentina. Fla. Entomol. 89: 175-182.
- Murúa, M. G., Juárez M. L., Prieto S., Gastaminza G. y Wilink E. 2009. Distribución temporal y espacial de poblaciones larvarias de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) en diferentes hospederos en provincias del norte de la Argentina. Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán. 86 (1): 25-36.

- Oerke, E. C. 2006. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 144: 31– 43
- Pacheco-Covarrubias J. 1993. Monitoring insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* populations from the Yaqui Valley, Son., México. *Resistant Pest Management Newsletter* 5(1):3-4.
- Polanczyk, R. A.; Silva, R. F.; Fiuza, L. M. 2004. Isolamento de *Bacillus thuringiensis* Berliner a partir de amostras de solos e sua patogenicidade para *Spodopterafrugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas* 10 (2): 209-214.
- Rojas, J. C., A. Virgen, and E. A. Malo. 2004. Seasonal and nocturnal flight activity of *Spodoptera frugiperda* males (Lepidoptera: Noctuidae) monitored by pheromone traps in the coast of Chiapas, Mexico. *Fla. Entomol.* 87: 496-503
- SAGARPA. 2011. Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional. En: [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios\\_promercado/GRA\\_NOS.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRA_NOS.pdf) Consultado: 13 de octubre de 2017
- SAGARPA. 2017. Fortalece México autosuficiencia en la producción de maíz blanco. En: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/2017/enero/Documents/BNSAGENE322017.PDF> Consultado: 13 de octubre de 2017
- USDA. 2015. United States Department of Agriculture. <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>. (Fecha de consulta: 24 de febrero de 2017).
- USDA-FAS. 2013. U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. 2013. World agricultural production, Circular Series WAP 3–13, March 2013. U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. En: <http://usda01.library.cornell.edu/usda/fas/worldagproduction/2010s/2013/worldag-production-04-10-2013.pdf>. Consultado: 14 de octubre de 2017
- Vilarinho, E. C.; Fernandes, O. A.; Omoto, C.; Hunt, T. E. 2006. Oil-soluble dyes for marking *Spodopterafrugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 99 (6): 2110-2115.

- Whalon, M.; S.D. Mota, and F. Patrick. 2001. Pesticide Resistant! Management. Michigan State University. [http://whalonlab.msu.edu/rpmnews/general/rpm\\_submission.htm](http://whalonlab.msu.edu/rpmnews/general/rpm_submission.htm). Consultado: 13 de octubre de 2017
- Whalon, M.E., Mota-Sanchez, D., Hollingworth, R.M., 2008. Global Pesticide Resistance in Arthropods. CABI, London.
- Willink, E.; V. M. Osorio y M. A. Costilla. 1993. Daños, pérdidas y niveles de daño económico por *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz. Rev. Ind. y Agric. de Tucumán 70(1-2): 49-52.
- Wood, K. A., Wilson, B. H. and Graves, J. B. 1981. Influence of host plant on the susceptibility of the fall armyworm to insecticides. J. Econ. Entomol. 74: 96
- Yang, X.; Margolies, D. C.; Zhu, K. Y.; Buschman, L. L. 2001. Host plant-induced changes in detoxification enzymes and susceptibility to pesticides in the twospotted spider mites (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*, 94: 381-387.
- Young, J. R. y McMillian, W. W. 1979. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl treated surfaces. J. Econ. Entomol. 72
- Young, J. R. y McMillian, W. W. 1979. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl treated surfaces. J. Econ. Entomol. 72
- Yu S. J. 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). Pestic Biochem Physiol 39:84-91.
- Yu, S. J. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 85: 675-691



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DE GRANO Y PERFIL DE TEXTURA DE MASA-  
TORTILLA DE MAÍZ EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN**

**QUE PRESENTA**

**SILVIA NAYELY GARCÍA VENEGAS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: DR. GILBERTO RODRIGUEZ PÉREZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**NOVIEMBRE, 2019**

La tesis “**Calidad fisicoquímica de grano y perfil de textura de masa-tortilla de maíz en función de la densidad de población**”, fue realizada por la alumna **Silvia Nayely García Venegas**, bajo la dirección del Dr. Mariano Mendoza Elos y asesoría del Dr. Gilberto Rodríguez Pérez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. Mariano Mendoza Elos**

**Cédula: 3998828**

**Co-Director:**

---

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez**

**Cédula: 8612050**

**Asesor:**

---

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**



## **Dedicatoria**

Antes que nada, deseo agradecer a Dios, ya que mi fe me ha motivado en todo momento a ser una persona fuerte y competitiva, por haberme dado la familia que tengo. Gracias Dios por todas tus bondades y por permitirme terminar una etapa más de mi vida, por haberme colocado a las personas indicadas en el tiempo correcto, porque sin ti y sin esos ángeles de mi guarda, no sería nada de lo que soy hoy.

### **A mi madre**

A ti Eli Venegas, aparte de deberte que me hallas dado la vida, quiero agradecerte por todos esos años de esfuerzo, de lucha y trabajo para que yo pudiera ser una persona de bien, a la educación que me brindaste, por todos esos regaños que me gane y por las correcciones que me hiciste; hoy quiero decirte que todo eso valió la pena, y que las lágrimas que se pudieron derramar, hoy son mi fortaleza para lograr ser tu orgullo, a ti más que a nadie, te dedico y agradezco enormemente todo lo que hiciste y sigues haciendo por mí.

### **A mi esposo**

A ti Salvador Martínez, que siempre creíste en mí, empujándome y apoyándome a cumplir mis sueños, aun cuando estudiar mi maestría fue difícil económicamente para ambos, nunca me frenaste, siempre me ayudaste a volar, aunque cuando lo tuviera que hacer yo sola. Te agradezco por soportar el tiempo que estuve distante por estar en mi proyecto y sobre todo por ser mi motivo para vivir y continuar soñando, por siempre estar conmigo en las buenas, las malas y las peores, te amo.

## AGRADECIMIENTOS

**Consejo nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT):** Agradezco enormemente a esta institución haber financiado y otorgado los recursos necesarios para mi formación en el posgrado.

**Instituto Tecnológico de Roque:** Gracias a mi alma máter quien me vio formarme primeramente como Ingeniero en Industrias Alimentarias y posteriormente volverme a recibir para poder estudiar esta maestría, dando un enorme agradecimiento al personal docente, quienes siempre me acobijaron con sus conocimientos en cada una de mis clases, pero en especial a la **M.C. Susana Altamirano Romo**, por creer en mí y brindarme su confianza, por siempre brindarme sus conocimientos y experiencia, gracias por ser una de mis inspiraciones dejarme seguir sus pasos, nunca tendré como agradecerle tanto.

**Dr. Mariano Mendoza Elos:** No tengo como agradecer cada uno de los conocimientos que me brindo, aun cuando yo no tenía experiencia en el ramo, me dio la oportunidad de poder trabajar con usted, siempre con la apertura de brindarme la asesoría necesaria y apoyo en todo momento, agradezco también su paciencia y amabilidad.

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez:** Le doy gracias por la confianza otorgada, por las asesorías y apoyo para poder llevar a cabo este proyecto, no hubo una sola asesoría donde yo no haya aprendido algo nuevo, es un placer haber trabajado con usted y nuevamente le agradezco la oportunidad de ser su tesista.

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz:** Agradezco el tiempo y apoyo a este proyecto, el conocimiento brindado en las asesorías y sugerencias para el desarrollo de este.

**A mis compañeros:** Muchísimas gracias por su apoyo, por brindarme su amistad, por cada sonrisa que nos dimos y, sobre todo, gracias por su confianza y cariño.

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	vi
SUMMARY .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	8
II. OBJETIVOS .....	10
2.1. Objetivo general .....	10
2.2. Objetivos específicos.....	10
2.3. Hipótesis.....	10
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	11
3.1 Maíz.....	11
3.1.1 Maíz amarillo .....	13
3.1.2 Importancia del maíz en la nutrición humana .....	14
3.1.3 Importancia del maíz en México.....	16
3.2 Densidad de población.....	16
3.3. Calidad fisicoquímica .....	17
3.3.1 Dureza de grano.....	18
3.4 Calidad industrial y perfil de textura .....	24
3.4.9 Elongación / TPA.....	31
3.5 Estado del Arte de la calidad fisicoquímica y perfil de textura en maíz .....	31
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
4.1 Generalidades .....	34
4.2 Densidad de siembra y diseño experimental en campo.....	35
4.2.1 Fertilización .....	37
4.3 Cosecha y Secado .....	37
4.4 Desgranado.....	38
4.5 Pruebas de calidad fisicoquímica en la semilla.....	39
4.5.1 Dureza / punción .....	39
4.5.2 Peso de 1000 granos .....	40
4.5.3 Índice de flotación .....	41
4.5.4 Peso hectolítrico.....	42
4.5.5 Luminosidad en grano.....	43
4.5.6 Aceite (%).....	44
4.5.7 Proteína (%).....	45

4.5.8 Humedad (%) .....	47
4.5.9 Cenizas .....	48
En donde:.....	48
4.5.10 Grados brix.....	49
4.6 Pruebas de perfil de textura en la masa y tortilla.....	50
4.6.1 Nixtamalización .....	51
4.6.2 Humedad de nixtamal (%).....	52
4.6.3 Pérdida de sólidos (%) .....	52
4.6.4 Masa nixtamalizada.....	53
4.6.5 Rendimiento de masa .....	54
4.6.6 Cohesividad y Adhesividad .....	54
4.6.7 Tortilla .....	55
4.6.8 Pérdida de peso en tortilla.....	56
4.6.9 Rendimiento de tortilla.....	56
4.6.10 Elongación de tortilla TPA .....	57
4.6.11 Luminosidad tortilla (L*).....	58
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	59
Propiedades físicas del grano .....	59
Propiedades químicas del grano.....	64
Perfil de textura en masa-tortilla.....	68
VI. CONCLUSIONES .....	75
VII. LITERATURA CITADA.....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los genotipos. ....	35
Tabla 2. Distribución de la aplicación y tipo de fertilizantes. ....	37
Tabla 3. Clasificación del tamaño de grano. ....	40
Tabla 4. Clasificación del grano de maíz. ....	42
Tabla 5. Clasificación de dureza. ....	43
Tabla 6. Clasificación de color escala Lab. ....	44
Tabla 7. Genotipos evaluados para la determinación de perfil de textura. ....	50
Tabla 8. El tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización.....	51
Tabla 9. Cuadrados medios para caracteres físicos de grano.....	59
Tabla 10. Comparación de medias de las propiedades físicas de grano.....	62
Tabla 11. Comparación de medias de las propiedades físicas densidades de población.....	63
Tabla 12. Interacción genotipo-densidad de las propiedades físicas. ....	64
Tabla 13. Cuadrados medios para caracteres químicos.....	65
Tabla 14. Comparación de medias para las propiedades químicas. ....	66
Tabla 15. Medidas para densidades en las propiedades químicas.....	67
Tabla 16. Interacción genotipo-densidad de las propiedades químicas.....	68
Tabla 17. Cuadrados medios de perfil de textura de masa-tortilla.....	69
Tabla 18. Comparación de medias de perfil de textura de masa-tortilla. ....	72
Tabla 19. Comparación de medias en densidades en el perfil de textura. ....	73
Tabla 20. Interacción genotipo-densidad en perfil de textura en masa-tortilla.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción nacional y estatal de maíz blanco. ....	12
Figura 2. Producción nacional y estatal de maíz amarillo. ....	14
Figura 3. Consumo nacional de maíz. ....	15
Figura 4. Ubicación de la unidad experimental. ....	34
Figura 5. Distribución de los genotipos en campo. ....	36
Figura 6. Siembra del experimento. ....	36
Figura 7. Material genético en secado tradicional con totomoxtle. ....	38
Figura 8. Material genético en secado tradicional sin totomoxtle. ....	38
Figura 9. Desgrane mecánico de los genotipos de maíz. ....	39
Figura 10. Análisis de textura del grano. ....	40
Figura 11. Peso de mil granos. ....	41
Figura 12. Conteo de granos flotantes. ....	42
Figura 13. Peso del grano de maíz. ....	43
Figura 14. Evaluación de color. ....	44
Figura 15. Equipo Soxhlet. ....	45
Figura 16. Determinación de proteína. ....	47
Figura 17. Equipo de termo balanza. ....	48
Figura 18. Equipo mufla y crisol. ....	49
Figura 19. Determinación de grados Brix. ....	50
Figura 20. Nixtamalización tradicional. ....	51
Figura 21. Prueba de humedad en grano nixtamalizado. ....	52
Figura 22. Sólidos pesados en balanza analítica. ....	53
Figura 23. Grano nixtamalizado. ....	54
Figura 24. Rendimiento de la masa. ....	54
Figura 25. Evaluación en masa nixtamalizada. ....	55
Figura 26. Elaboración tortillas. ....	56
Figura 27. Ampolla de la tortilla. ....	57
Figura 28. Análisis de resistencia y elongación. ....	58
Figura 29. Toma de colorimetría en tortilla. ....	58

## RESUMEN

Nuestro país es el mayor productor de maíz a nivel mundial, denominándose así el centro de origen de este, teniendo la mayor diversidad de material genético, y perteneciendo a la dieta de miles de mexicanos, siendo aquí donde radica la importancia de su producción. La finalidad de este proyecto fue evaluar la respuesta de la densidad de población en la calidad fisicoquímica y perfil de textura de masa-tortilla de maíz. El experimento se estableció en el Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México, en primavera-verano 2018, utilizando seis genotipos, cinco amarillos y un blanco, con tres densidades de siembra (80, 90 y 100 mil plantas/ha, bajo un diseño de parcelas divididas con dos repeticiones. La evaluación fisicoquímica y perfil de textura de masa-tortilla se realizó en el laboratorio de Industrias Alimentarias y laboratorio de Análisis de Semillas del Instituto Tecnológico con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Las variables consideradas para los análisis de calidad fisicoquímica fueron: punción en grano, peso de 1000 granos, peso hectolítrico, índice de flotación, luminosidad, aceite, proteína, humedad, ceniza y grados brix. Las pruebas realizadas en la evaluación del perfil de textura fueron: humedad de nixtamal, pérdida de sólidos, rendimiento masa, rendimiento tortilla, luminosidad tortilla, pérdida de peso, elongación (mm) tortilla TPA, adhesividad y cohesividad. Los resultados arrojaron que los genotipos sobresalientes en la calidad fisicoquímica fueron Cobra y Gorrión teniendo niveles intermedios en dureza, peso de 1000 granos y peso hectolítrico, mientras que en el perfil de textura en masa – tortilla, Gorrión presentó en promedio los valores más altos en humedad con, rendimiento de tortilla, baja pérdida de peso y baja resistencia al corte; en cuanto a la densidad, 80 mil y 90 mil obtuvieron los mejores resultados.

## SUMMARY

Our country is the largest corn producer in the world, being named the center of origin of this, having the greatest diversity of genetic material, and belonging to the diet of miles of Mexicans, being here where the importance of its production lies. The determination of this project was to evaluate the response of population density in physicochemical quality and texture profile of corn tortilla dough. The experiment was established at the Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, Mexico, in the spring-summer 2018 cycle, using six genotypes, five yellow and one white, with three planting densities (80, 90 and 100 thousand plants / ha, under randomized complete block design with split plot arrangement with two repetitions. The physicochemical evaluation and tortilla dough texture profile was carried out in the Food Industries and Seed Analysis laboratories of the Instituto Tecnológico de Roque with an experimental design completely randomized. Variables considered for the analysis of physicochemical quality were: puncture in grain, weight of 1000 grains, hectolitic weight, flotation index, luminosity, oil, protein, humidity, ash and brix degrees. The tests performed in the evaluation of the texture profile were: nixtamal moisture, solids loss, mass yield, tortilla yield, luminosity tortilla, weight loss, elongation tortilla TPA, adhesiveness and cohesiveness. The results showed that the outstanding genotypes in physicochemical quality were Cobra and Gorrión having intermediate levels in hardness, weight of 1000 grains and hectolitic weight, while in the mass texture profile – tortilla, Gorrión averaged the highest moisture values with, tortilla yield, low weight loss and low cut resistance; in terms of density, 80 thousand and 90 thousand obtained the best results.



## I. INTRODUCCIÓN

El maíz representa uno de los cultivos mayormente producido a nivel mundial, y forma parte de la dieta diaria de millones de personas con un consumo per cápita al año de 196.4 k de maíz blanco, especialmente en tortillas, representando el 20.9% del gasto total en alimentos y bebidas, siendo de gran importancia sobre todo para nuestro país. Este cultivo ha sido candidato a numerosos estudios por parte de investigadores científicos, poniendo principal atención en su mejoramiento genético sobre todo por el aporte que brinda al ser una planta monoica y alógama, creando así diferentes cruza y combinaciones con la finalidad de crear híbridos óptimos para el mercado que logren un alto rendimiento en producción (CONACyT, 2014).

La producción anual aproximada del maíz representa 13,434,699 millones de toneladas de maíz, teniendo dos variedades de maíz: blanco y amarillo (SIAP, 2019). Por su parte, los maíces de color amarillo brindan ventajas de calidad tales como la textura y apariencia, así como la presencia de  $\beta$ -carotenos representando a la vitamina A (Coutiño *et al.*, 2008). En nuestro país se tienen cuatro estados con el mayor porcentaje en producción de maíz amarillo sumando así el 94% de la producción total (cifras son aproximadas): Guanajuato, Puebla, San Luis Potosi y Jalisco (SIAP, 2019). En México, se consumen 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortilla, de las cuales el 64% es a través de método tradicional maíz-masa-tortilla, y el 36% es a través de la industria de la harina.

Los factores importantes para la producción del maíz son: suministro de agua, densidad de población, fertilización y la calidad de la semilla. El suministro de agua, dentro de la siembra del maíz, es de suma importancia ya que este cultivo presenta susceptibilidad a la falta de agua, provocando mermas en los rendimientos, por lo cual es necesario evitarle es estrés hídrico (Tirso Gómez, 2017). Este cultivo se adapta muy bien a todos tipos de suelo, aunque tienen una mejor adaptación a

suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje evitando que el agua se encharque y pueda atrofiarlo (CONACyT, 2014).

La densidad de población en el maíz es el factor más importante para generar alto rendimiento, teniendo una relación sobre la semilla y las características agronómicas, aunque es importante que, si esta densidad se convierte en un punto elevado, se pueden lograr resultados contrarios a los esperados al tener competencia de luz, agua y nutrimentos, es decir, se debe obtener una densidad óptima, ni tan alta ni tan baja. La mejor respuesta en rendimiento varía de acuerdo a la condición de suelo, clima, prácticas culturales y genotipo (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009). Uno de los factores que afectan el crecimiento y rendimiento del maíz es la densidad, se sugiere que esta sea entre los 30 000 y 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> (Vázquez *et al.*, 2013).

Vázquez *et al.* (2012) mencionan que la calidad comercial del grano de maíz para consumo humano está declarada en la norma MNX-034 (2002), y en esta se incluyen los procesos de fabricación de harina nixtamalizada y la elaboración de masa y tortilla. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad fisicoquímica del grano y el perfil de textura de masa y tortilla de maíz amarillo, en función de tres densidades de población, desarrollando el experimento dentro del Instituto Tecnológico de Roque.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad fisicoquímica del grano y perfil de textura de masa y tortilla de maíz amarillo en función de tres densidades de población.

### **2.2. Objetivos específicos**

1.- Determinar la calidad fisicoquímica del grano de maíz amarillo bajo tres densidades de población.

2.- Evaluar el perfil de textura en masa y tortilla de maíz amarillo en tres densidades de población.

3.- Determinar que densidad de población es óptima para obtener la mejor calidad fisicoquímica y estándares de perfil de textura para masa y tortilla de maíz amarillo.

### **2.3. Hipótesis**

1.- El maíz amarillo presenta altos niveles de calidad fisicoquímica en grano.

2.- El maíz amarillo muestra estándares de calidad en la evaluación de perfil de textura, tanto en masa como en tortilla.

3.- La calidad del grano de maíz amarillo, así como el perfil de textura en masa y tortilla, dependen de la densidad de población.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Maíz

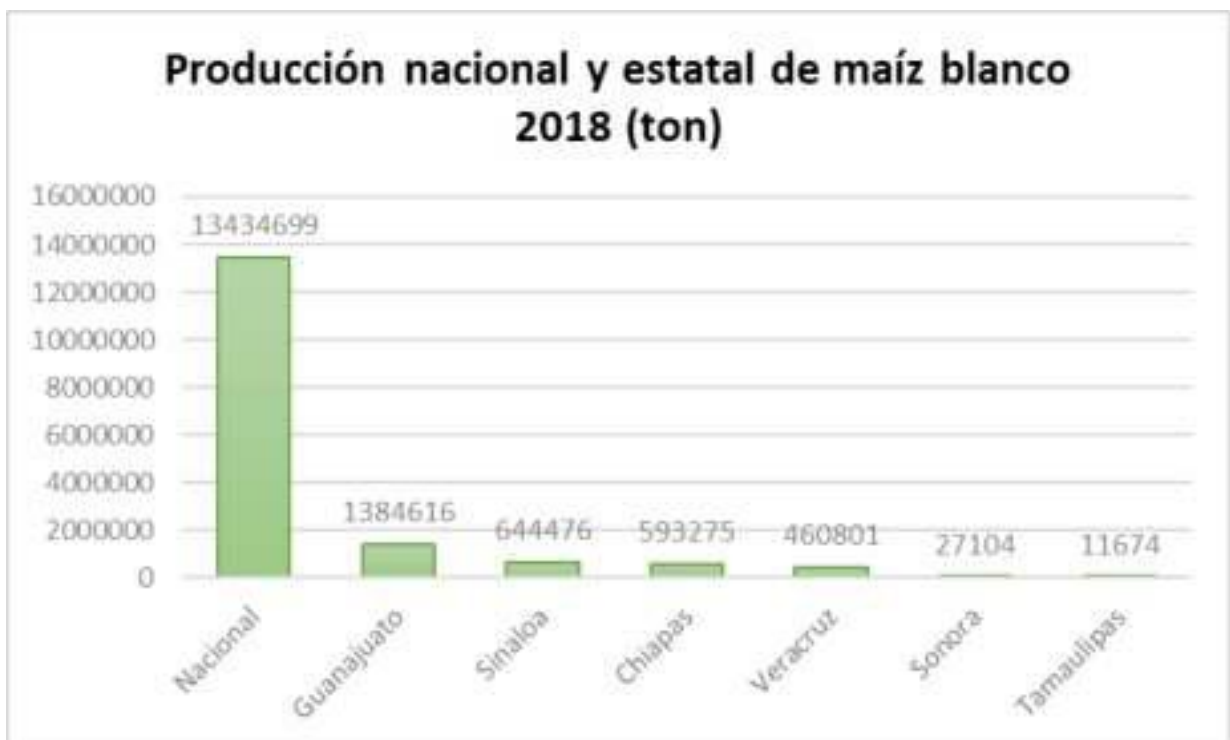
El maíz es una especie de gramínea anual originaria y domesticado por los pueblos indígenas en el centro de México. Actualmente, es el cereal con el mayor volumen de producción a nivel mundial. Se clasifica dentro del género *Zea* perteneciente a la familia Gramínea o Poaceae, que incluye también a importantes cultivos agrícolas como el trigo, arroz, avena, sorgo, cebada y caña de azúcar. Con base en caracteres de la espiga o inflorescencia masculina, el género *Zea* se ha dividido en dos secciones luxuriantes y anuales; Desde que se siembran las semillas hasta la aparición de los primeros brotes, transcurre un tiempo de ocho a 10 días, donde se ve muy reflejado el continuo y rápido crecimiento de la plántula.

El maíz se ha tomado como un cultivo muy estudiado para investigaciones científicas en los estudios de genética. Continuamente se está estudiando su genotipo y por tratarse de una planta monoica y alógama aporta gran información ya que posee una parte materna (femenina) y otra paterna (masculina) por lo que se pueden crear varias recombinaciones (cruces) y crear nuevos híbridos para el mercado. Los objetivos de esto cruzamientos van encaminados a la obtención de altos rendimientos en producción. Por ello, se selecciona en masa aquellas plantas que son más resistentes a virosis, condiciones climáticas, plagas y que desarrollen un buen porte para cruzarse con otras plantas de maíz que aporten unas características determinadas de lo que se quiera conseguir como mejora de cultivo (CONACyT, 2014).

El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, desde donde se difundió hasta el norte de Canadá y hacia el sur hasta la Argentina. A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente

americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España (Imbachí, 2011).

Es uno de los cereales de mayor producción a nivel mundial, y es el sostén económico y fuente principal de energía y proteína de millones de personas. En México es el cultivo más importante, social, económica y nutricionalmente, constituyendo el 60 % del volumen de granos producidos cada año (Vázquez *et al.*, 2013); Se obtienen principalmente dos variedades de maíz: blanco y amarillo (Agrosíntesis, 2016). En el año 2018 se produjo un promedio anual de 13,434,699 millones de toneladas de maíz en una superficie de 7.5 millones de hectáreas. Las entidades destacadas en la producción son Sinaloa, Tamaulipas, Sonora, Veracruz y Chiapas, en conjunto han obtenido 92.2% del total de la producción nacional (SIAP,2019).



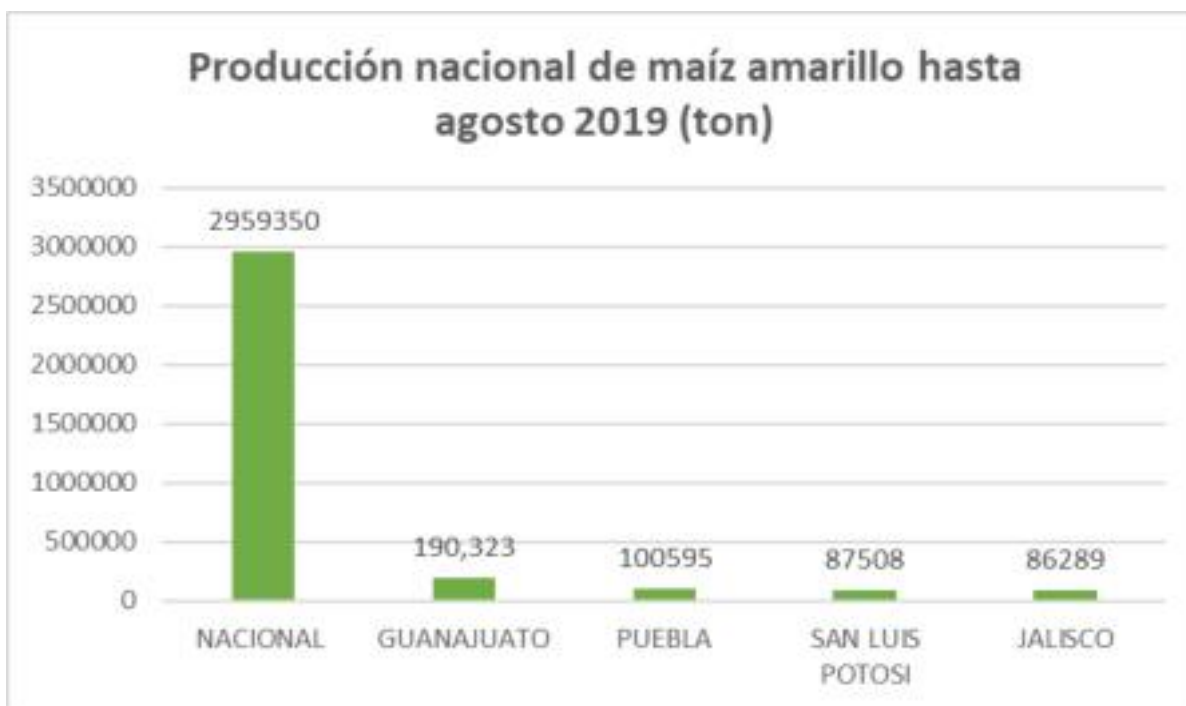
**Figura 1.** Producción nacional y estatal de maíz blanco en toneladas, el año 2018 (SIAP, 2019).

### 3.1.1 Maíz amarillo

Los maíces de color amarillo ofrecen ventajas en cuanto a la textura y apariencia de algunos alimentos, además de aportar el  $\beta$ -caroteno que es la forma activa de la vitamina A y es importante para el crecimiento, el fortalecimiento del sistema inmunológico y la visión nocturna (Coutiño *et al.*, 2008). CONACYT (2017), maneja una tasa de producción de maíz amarillo de aproximadamente el 5% de la producción nacional de maíz en México. Así mismo, contrario al superávit de maíz blanco, el mercado de maíz amarillo es deficitario. Dadas las condiciones actuales, se estima que éste continúe aumentando en el mediano y largo plazo.

El maíz amarillo se destina, en su mayoría al procesamiento industrial y a la alimentación animal. México requiere incrementar la producción de maíz de grano amarillo para subsanar la demanda y reducir la importación anual de más de 10 millones de toneladas de grano entero y quebrado, cantidad que se usa para la elaboración de alimentos forrajeros, extraer almidones, en la industria cerealera y botanera, así como para otros usos industriales (Espinosa *et al.*, 2011).

La principal estrategia para lograr el autoabastecimiento de maíz amarillo es el aumento de la productividad, lo que implica utilizar semillas de buena calidad con alto potencial de rendimiento, siendo estos evaluados en diferentes localidades, fechas de siembra, densidades, etc., ya que los rendimientos pueden variar con diferente manejo y ambientes (Chura & Tejada, 2014). En cuanto a la producción de maíz amarillo, las entidades con la mayor producción, hasta agosto del 2019 son: Guanajuato, Puebla, San Luis Potosí, Jalisco, Baja California y Nayarit (SIAP, 2019).



**Figura 2.** Producción nacional y estatal de maíz amarillo en toneladas en el año 2019 (agosto) (SIAP, 2019).

### 3.1.2 Importancia del maíz en la nutrición humana

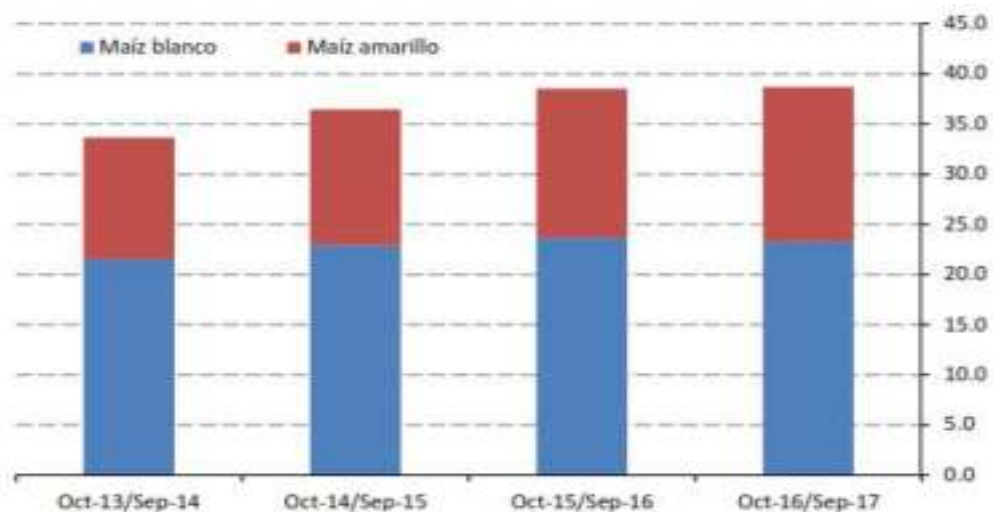
El maíz se produce en dos ciclos agrícolas: primavera-verano y otoño invierno, bajo las diversas condiciones agroclimáticas de humedad: de temporal, punta de riego y riego. El consumo total de maíz es el agregado de dos componentes principales, el consumo humano directo, y el consumo indirecto a través de su uso en la preparación de alimentos balanceados para la alimentación animal (principalmente carne de pollo, huevos y cerdos) (García y Mandujano, 2016).

En un estudio de Imbachí (2011), se define al maíz como uno de los cereales más importantes del mundo, suministrador de elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales. Este cultivo, se consume en diferentes preparaciones como tortillas, tamales, atole, sopas, entre otros; es una materia prima básica en la industria de

transformación, con la que se producen almidones, aceites y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes y, recientemente, combustible.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2008), comento que este cultivo tiene tres aplicaciones posibles: alimento, forraje y materia prima para la industria. Como alimento, se puede utilizar todo el grano, maduro o no, o bien se puede elaborar con técnicas de molienda en seco para obtener un número relativamente amplio de productos intermedios, como por ejemplo sémola de partículas de diferentes tamaños, sémola en escamas, harina y harina fina, que a su vez tienen un gran número de aplicaciones en una amplia variedad de alimentos; se debe notar que el maíz cultivado en la agricultura de subsistencia continúa siendo utilizado como cultivo alimentario básico.

El consumo de maíz muestra una dinámica de crecimiento, de acuerdo con (FIRA, 2016), en el ciclo 2016 al 2017, el crecimiento de maíz amarillo es de un 39.8%, es decir, 15.3 millones de toneladas.



**Figura 3.** Consumo nacional de maíz durante el periodo agrícola 2014 – 2017, evaluado en millones de toneladas (FIRA, 2016).



### 3.1.3 Importancia del maíz en México

En el portal de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA, 2016), señala que, durante el año 2015, la producción de maíz creció a una tasa del 6.1% llegando a 25.69 millones de toneladas. La composición por tipo de maíz muestra que el 85.9% de la producción correspondió al maíz blanco, 13.6% al maíz amarillo y el restante 0.5% a otros tipos de color.

### 3.2 Densidad de población

La densidad de población, es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos. En el maíz ejerce alta influencia sobre el rendimiento de semilla y las características agronómicas, pues el rendimiento se incrementa con la densidad de población, hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando la densidad se incrementa más allá de este punto. La densidad de población es uno de los factores que frecuentemente módica el productor para incrementar el rendimiento, pero no siempre establece la densidad adecuada. Si el productor utiliza una densidad de población mayor que la óptima, incrementa la competencia por luz, agua y nutrimentos, lo que ocasiona reducción en el volumen radical, número de mazorcas, cantidad y la calidad por planta, e incrementa la frecuencia de pudriciones de raíz y tallo, lo que propicia acame. Por el contrario, las densidades de población bajas provocan problemas con maleza o de desperdicio de suelo.

La relación entre la producción de semilla y la densidad de población es compleja, ya que la mejor respuesta en rendimiento varía de acuerdo a la condición de suelo, clima, prácticas culturales y genotipo (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009).

Al incrementar la densidad de población se debe tener en cuenta las necesidades nutrimentales mínimas, y tomar en cuenta la meta de rendimiento a alcanzar, ya que al aumentar la densidad de población existe una mayor demanda de nutrientes y por

lo tanto la eficiencia del uso de nutrientes se ve afectada (Tirso, 2017). Se sugieren densidades de siembra entre 30 mil y 90 mil plantas/ha, en función de la región, genotipo, nivel de fertilización y el tipo de riego (Vázquez *et al.*, 2013).

Con el incremento en la densidad de población, se disminuye el número de plantas que producen mazorca, aunque aumenta el rendimiento por unidad de área. Estos aumentos pueden inducir a una mayor altura de planta, retrasando la floración masculina y femenina, y posiblemente una reducción en el número de mazorcas por plantas; existe una influencia de la densidad de la población y la fertilización nitrogenada en el rendimiento de maíz (Cervantes-Ortíz *et al.*, 2013).

### **3.3. Calidad fisicoquímica**

Las características físicas y químicas del grano sano y entero de maíz, pueden variar ampliamente dependiendo de la variedad o híbrido que se utilice. Estas características se ven influenciadas también por el ambiente y el manejo agronómico, así como por el secado y las condiciones de almacenamiento, por lo que el objetivo de este estudio fue caracterizar y comparar las propiedades físicas, químicas y el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales de líneas moleculares e híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada y maíz amarillo (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 2010).

Para producir una masa de alta calidad, tanto en nixtamalización como en la molienda del nixtamal, la parte fisicoquímica debe ser óptima. Entre las principales propiedades fisicoquímicas asociadas con la funcionalidad de las harinas esta la distribución del tamaño de la partícula, el pH, la capacidad de absorción de agua y la reología de las masas (Bello *et al.*, 2002).

### 3.3.1 Dureza de grano

La dureza del grano de maíz se define como la fuerza necesaria para romperlo y contribuye a otorgarle resistencia mecánica, propiedad deseable para mantener la integridad del grano durante las operaciones de cosecha y post cosecha, sin embargo, también es el parámetro que determina esencialmente la capacidad del grano para absorber y retener agua durante las diferentes etapas del proceso de cocción, especialmente durante la nixtamalización. La dureza está determinada por la estructura del grano, especialmente por la relación entre el endospermo vítreo y harinoso. El maíz de endospermo vítreo, así como las variedades de maíz cristalino y reventador, tienen granos duros, en tanto que las variedades de maíz amiláceas y harinosas tienen granos blandos (CIMMYT, 2016).

La dureza del grano está relacionada con el peso hectolitrico e índice de flotación. Ambas se correlacionan de manera inversa, mientras mayor peso hectolítrico tenga un maíz, más duro será y su índice de flotación será menor. El endospermo es el componente principal del grano que contribuye de manera importante en la dureza del grano (Cabrera-Toledo *et al.*, 2016).

Actualmente existen equipos como el texturometro TA-XT2, que analiza la fuerza de compresión y tensión, este opera mediante una celda de carga de 25 kg de capacidad de fuerza con una sensibilidad de 0.0001 kg de fuerza; trabaja mediante una computadora con software propio, obteniendo en el monitor gráficos donde se demuestra la fuerza, distancia y tiempo (Rodriguez, 2018).

### 3.3.2 Peso de 1000 granos

El peso de mil granos es un indicador del tamaño del grano, un bajo peso corresponde a una muestra con gran porcentaje de granos pequeños y por el contrario, un peso alto se obtiene cuando los granos son grandes. Es considerada una medida fácil y rápida que permite estimar el tamaño del grano, y es uno de los

métodos más utilizados, referenciado y, por lo tanto, una característica importante para la producción de harina (Palacios-Rojas, 2018).

### **3.3.3 Índice de flotación**

El índice de flotación se basa en el número de granos que flotan en una solución de referencia, ya que depende de la densidad de estos con respecto a la densidad de la solución de nitrato o azúcar, por lo que entre más duro sea el tipo de maíz menor es el valor de IF. Dado que el porcentaje de humedad de las muestras influye significativamente en el resultado, se recomienda que sea homogénea entre las muestras a evaluar (aproximadamente 12%) (CIMMYT, 2016).

### **3.3.4 Peso hectolitro**

El peso hectolítrico (masa hectolítrica, gravedad específica, peso específico o densidad aparente) es un parámetro exigido por la norma mexicana NMX-FF034/1-SCFI-2002 debido a que es un factor relacionado con la dureza, susceptibilidad a ruptura, rendimientos de molienda, velocidad de secado, condiciones generales del grano y resistencia al desarrollo de hongos. Los granos más densos tienen menos probabilidad de ser dañados por insectos y mejores posibilidades de soportar el manejo durante el almacenamiento y comercialización (Palacios-Rojas, 2018).

El peso de una masa de semillas que ocupa el volumen de 100 litros se denomina peso volumétrico. Por ser el hectolitro un volumen muy grande, en el laboratorio se determina utilizando un recipiente de un litro. Este valor es muy útil un solo valor nos dice que tan sana es la semilla. Es decir, cuanto más sana sea la semilla mayor será la proporción de reservas en la semilla y mejor será la separación del endospermo al resto de la semilla. Por lo tanto, cuanto más sano, mayor extracción de harina. A su vez, es una medida de la homogeneidad de la partida de maíz, factor clave en el

proceso industrial. Por consiguiente, el peso hectolítrico es una buena estimación tanto de la calidad física del grano, como de la calidad molinera (SAGARPA, 2006).

Se considera como la densidad aparente del grano, la cual está relacionada con su dureza, susceptibilidad a la ruptura y a la molienda, velocidad de secado y resistencia al desarrollo de hongos (CIMMYT, 2016). Para el caso de elaboración de tortillas de maíz y productos nixtamalizados de calidad comercial, la NMX-FF-034/1-2002, se considera que el grano debe tener una densidad mínima de 74 Kg HL<sup>-1</sup>.

### **3.3.5 Punción**

Para la determinación de la penetración del grano del maíz, se lleva a cabo con un texturometro, esto para medir la fuerza máxima de penetración como una medida de la firmeza, dureza y consistencia del grano, a partir de las curvas de fuerza vs distancia, puede calcularse otros parámetros como módulo elástico aparente y deformidad entre otros; puede emplearse también en otros alimentos como frutas y vegetales, así como geles, quesos, pastas cárnicas (Castro, 2007).

### **3.3.6 Color**

El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto. Se trata de una apreciación, que depende de cómo nuestros ojos detectan la luz reflejada y de cómo nuestro cerebro la procesa. Está afectado por el objeto, el área, fondo, superficie, brillo y temperatura. Se lo define entonces como una respuesta mental al estímulo que una radiación luminosa visible produce en la retina (Palacios-Rojas, 2018). El color se debe principalmente al concurso de tres familias de pigmentos: clorofilas, carotenoides y antocianinas, que son los responsables de la coloración verde, amarilla-roja, azul-violeta respectivamente (CIMMYT, 2016)

Para medir objetivamente el color en los alimentos que son translúcidos hay diferentes métodos, uno de ellos es el método triestímulo Hunter L,a,b. Este método se basa en la determinación, por reflexión de la luz, de tres parámetros (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014).

En cuanto la exposición de los datos obtenidos se tiene que: **L\***: Es la luminosidad de la muestra que va de blanco, pasando por las tonalidades de grises hasta llegar a negro, siendo poco luminoso los valores cercanos a 0 (negro) y siendo muy luminosos los valores cercanos a 100 (blanco); **a\***: Indica las tonalidades de verde a rojo, valores negativos indican verde y valores positivos rojo, la intensidad de cada tonalidad dependerá del lugar en donde se ubiquen: valores más cercanos a 0 la tonalidad es baja, valores cercanos a -100 o +100 la tonalidad es alta; y **b\***: Indica las tonalidades de azul a amarillo, valores negativos indican azul y valores positivos amarillo, la intensidad de cada tonalidad dependerá del lugar en donde se ubiquen: valores más cercanos a 0 la tonalidad es baja, valores cercanos a -100 o +100 la tonalidad es alta (Palacios-Rojas, 2018).

### **3.3.7 Aceite**

Los lípidos son consideradas macronutrientes necesarios en el suministro de energía, además proporcionan ácidos grasos esenciales (vitaminas, hormonas, pigmentos, entre otros) y facilitan la absorción de vitaminas liposolubles. También intervienen en varias funciones del organismo, cumpliendo alguna actividad biológica o como parte estructural de membranas celulares y de sistemas de transporte de diversos nutrimentos. La extracción de solventes es utilizada para aislar materia soluble de diferentes materiales como cereales, comida, forraje, suelos, entre otros (Palacios-Rojas, 2018).

### 3.3.8 Proteína

Las proteínas juegan un papel central en los sistemas biológicos funcionando como: parte estructural, de transporte, motilidad, defensa, reconocimiento, almacenamiento y función catalítica que llevan a cabo las enzimas. La importancia de las proteínas en los alimentos radica en que poseen propiedades nutricionales y de sus componentes se obtienen moléculas nitrogenadas que permiten conservar la estructura y el crecimiento de quien las consume; así mismo pueden ser ingredientes de productos alimenticios y por sus propiedades funcionales, ayudan a establecer la estructura y sus propiedades finales (CIMMYT, 2016).

La calidad proteínica está dada por el contenido de lisina y triptófano. El índice de calidad expresa la capacidad de dichos aminoácidos para formar proteína. Se recomienda monitorear no solo el contenido de aminoácidos, sino también de proteína y tener en cuenta que el contenido proteico se ve afectado por el contenido de nitrógeno en el suelo (Palacios-Rojas, 2018).

La norma mexicana para la determinación de proteína en alimentos (NMX-F-068-S-1980), tiene como fundamento que basándose en la descomposición de los compuestos de nitrógeno orgánico por ebullición con ácido sulfúrico. El hidrógeno y el carbono de la materia orgánica se oxidan para formar agua y dióxido de carbono. El ácido sulfúrico se transforma en  $\text{SO}_2$  el cual reduce el material nitrogenado a sulfato de amonio. El amoníaco se libera después de la adición de hidróxido de sodio y se destila recibiendo en una disolución al 2% de ácido bórico. Se titula el nitrógeno amoniacal con una disolución valorada de ácido, cuya normalidad depende de la cantidad de nitrógeno que contenga la muestra. En este método de Kjeldahl-Gunning se usa el sulfato de cobre como catalizador y el sulfato de sodio para aumentar la temperatura de la mezcla y acelerar la digestión.

### **3.3.9 Humedad**

La humedad es uno de los factores que afecta el almacenamiento del maíz, ya que es la responsable de que ocurran diferentes reacciones, ya sean del tipo biológicas o bioquímicas, tales como crecimiento de hongos, germinación del grano, calidad del grano que se ve disminuida al reducir su viabilidad, entre otros, provocando que la cadena de productor-industria consumidor se vea afectada por el mal manejo de almacenamiento en cualquiera de éstas tres áreas, por lo que es importante un control de la humedad desde el inicio del almacenamiento del grano (Palacios-Rojas, 2018).

La determinación del contenido de humedad en diferentes materiales es un factor de calidad importante y juega un papel muy importante en sectores como el técnico y el económico. Existen muchos métodos de determinar el contenido de humedad en materiales. Se pueden dividir en dos grupos: un método que opera produciendo daños en el material y un método que opera sin producir daños en el material. Con el método que opera produciendo daños en el material el grado de humedad se determina directamente la pérdida de masa durante el secado. Con el método que opera sin producir daños en el material se determina el grado de humedad de forma indirecta, es decir se mide la magnitud física relacionada con el grado de humedad del material con la absorción de las ondas electromagnéticas, la conductividad eléctrica o la velocidad de la onda acústica (Ibérica, 2015).

El método de secado en termo balanza se basa en evaporar de manera continua la humedad de la muestra y el registro continuo de la pérdida de peso, hasta que la muestra se sitúe a peso constante. El error de pesada en este método se minimiza cuando la muestra no se expone constantemente al ambiente (UNAM, 2008).

### **3.3.10 Cenizas**

Las cenizas de un alimento son un término analítico equivalente al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica. Las cenizas normalmente, no



son las mismas sustancias inorgánicas presentes en el alimento original, debido a las pérdidas por volatilización o a las interacciones químicas entre los constituyentes (UNAM, 2008).

La determinación de cenizas es aplicable a todas las muestras de alimentos sólidos, aunque también se puede aplicar en muestras líquidas, determinando primero los sólidos totales y sobre este material se aplica la técnica (NMX-F-066-S-1978).

### **3.3.11 Grados brix**

Los grados brix son el por ciento de sólidos de sacarosa disueltos en un producto derivado un líquido azucarado. Esta escala se utiliza en el sector de alimentos, con la finalidad de medir la cantidad aproximada de azúcares en zumos de frutas, vino, bebidas, industria del azúcar y, en este caso, granos de maíz. El refractómetro es un dispositivo óptico preciso que se utiliza para medir el índice de refracción de líquidos y sólidos translúcidos. El funcionamiento de un refractómetro se basa en el estudio de la refracción de luz, una propiedad física que tienen todas las sustancias y que se relaciona con propiedades como la densidad; en función de su aplicación se constituyen diversas escalas, la más usada es grados Brix. Este método se basa en el cambio que sufren los rayos luminosos en el límite de separación de dos medios en los cuales es distinta la velocidad de propagación (NMX-F-103-1982, 1982).

## **3.4 Calidad industrial y perfil de textura**

La calidad industrial del grano está determinada por sus características físicas y composición química, esta es importante para los procesadores de grano a nivel industrial. El maíz producido para la industria de la masa y la tortilla o de la industria de harinas nixtamalizadas debe satisfacer los requerimientos de eficiencia en el procesamiento y la calidad del producto final. Las principales regiones de

abastecimiento de maíz destinado al procesamiento industrial son Sinaloa, Bajío (Jalisco, Guanajuato e Hidalgo), Chiapas, Guerrero, Veracruz y Tamaulipas (denominadas por su ubicación como trópico húmedo por el Golfo y trópico sub-húmedo por el Pacífico).

El procesamiento industrial del maíz para obtener sus diversos productos, requiere de materia prima con calidad específica de acuerdo con las características físicas y químicas del grano. En la industria de la molienda seca, la densidad del grano es importante debido a que una mayor densidad repercute en forma positiva en el rendimiento y calidad de las sémolas; la industria refinadora de almidón prefiere granos suaves o de baja densidad por requerir menor tiempo de remojo en la solución de dióxido de azufre, y presentar un mayor contenido de almidón y menor contenido de proteína, comparado con los de grano de textura vítrea (Cabrera-Toledo, 2016).

El perfil de textura puede considerarse como una manifestación de las propiedades reológicas de un alimento; la importancia de la textura en la calidad total varía ampliamente en función del tipo de alimento, entre otros factores; así, por ejemplo, aquellos casos donde la textura puede ser un factor crítico en la calidad de alimentos tales como la tortilla (Castro, 2007).

#### **3.4.1 Nixtamalización**

La nixtamalización es un proceso térmico que requiere de una combinación de temperatura y tiempo para lograr los cambios adecuados en los granos de maíz para su uso en la elaboración de alimentos (Roque-Maciel *et al.*, 2016). Es el principal proceso de transformación del maíz para su consumo y fue desarrollado por los aztecas antes de la época pre colombiana. Esta tecnología aun utilizada involucra cambios químicos, estructurales y nutricionales en los diversos constituyentes del grano. Durante la nixtamalización del grano se pierde gran cantidad de estos

compuestos, porque se degradan mediante solubilización, por la remoción el pericarpio y por la labilidad térmica, especialmente durante la nixtamalización tradicional.

Actualmente se dispone de procesos alternativos a la nixtamalización tradicional (NT), como la nixtamalización por extrusión (NE) y la nixtamalización fraccionada (NF), que al igual que en la NT, los granos de maíz son sometidos a un tratamiento térmico – alcalino en presencia de exceso o limita cantidad de agua. El desarrollo de estas alternativas se debe a que la NT requiere de largos periodos de tiempo y el uso de gran cantidad de agua, que da como subproducto al líquido denominado “nejayote” cuyo pH es elevado y contiene gran cantidad de material orgánico, el cual se le han encontrado pocos usos (Escalante-Aburto *et al.*, 2013).

Las industrias de harina de maíz nixtamalizado (HMN) basan su proceso en el método tradicional de nixtamalización, con ligeras modificaciones; han encontrado la manera de realizar el procedimiento de forma más rápida, variando presiones, temperaturas, y otros factores. Sin embargo, aún con estas modificaciones existen desventajas en el proceso, las cuales incluyen: el gran volumen de nejayote (caldo de cal), que es un residuo orgánico que contiene una alta concentración de sólidos solubles (2 al 11%) y un pH muy alcalino, por lo que ocasiona pérdida de nutrientes (Gaytán-Martínez *et al.*, 2012).

Los requerimientos de calidad del grano para la industria de la masa y tortilla (IMT) varían de los de la industria de harinas nixtamalizadas (IHN); para la IMT se requieren de maíces de menor dureza y con mayor retención de pericarpio durante el proceso, ya que este tiende a solubilizarse por la acción del álcali, se convierte en gomas naturales que favorecen a la textura de la masa. Por otra parte, la (IHN) requiere de maíces con endospermo duro, con una mínima retención de pericarpio durante el proceso y que la humedad del nixtamal no sobre pase el 42% (Salinas *et al.*, 2010).

Los cambios en composición química son el resultado de pérdidas de ciertas estructuras físicas del grano así como también de compuestos químicos, inducidos por el agua, el pH alcalino de cocción, el tiempo de cocción y remojo, interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa, como las propiedades estructurales y de textura de la tortilla producida. Estos cambios, se deben principalmente a modificaciones que ocurren en la estructura del almidón (Castillo *et al.*, 2009).

Se debe conocer la calidad de nixtamalización que tiene el maíz de acuerdo al tiempo de cocción en el medio alcalino, indirectamente relacionada con la dureza del grano por medio del índice de flotación y la cantidad de agua absorbida por el maíz, el pericarpio remanente y la pérdida de materia seca (NMX-FF-034/1-2002, 2002).

#### **3.4.2 Humedad de nixtamal**

Esta expresada como el porcentaje de agua por 100 g de nixtamal. Esta humedad es el agua que contiene el maíz, expresada en porcentaje de masa sobre base húmeda. Esta es medida en el grano ya nixtamalizado y se calcula al terminar la cocción y después de mínimo 12 horas de remojo, los valores establecidos por la NMX-FF-034/1-2002 para humedad de nixtamal es de 36 a 42 %, y para humedad de masa/tortilla de 44 a 48% (Salinas *et al.*, 2010).

(García y Vazquez, 2016) mencionan que esta dada tanto por la humedad del endospermo, como por la del pericarpio adherido al grano después de la nixtamalización y enjuague, determinando que un valor de humedad no mayor a 42% se alcanza con maíces muy duros, que no retengan mucho pericarpio.

### 3.4.3 Perdida de solidos

Estimada a partir del peso seco de los residuos de la nixtamalización y lavado, y expresada en porcentaje con respecto al peso total del grano en base seca. Debido a que el pericarpio o cáscara del grano se elimina con la cocción alcalina y con el lavado del nixtamal, se desea que esta fracción sea lo menor posible en la estructura del grano, disminuyendo las pérdidas de solidos durante la cocción. Durante la cocción alcalina, las pérdidas de materia seca se ven directamente influenciadas por la estructura del endospermo, ya que teóricamente un grano suave dará mayor porcentaje de pérdidas que un grano duro (Billeb y Bressani, 2001). La NMX-FF-034/1-2002 establece un parametro de menos del 5% en solidos retenidos en nejayote. Una mayor retencion de pericarpio en nixtamal mejora la textura de la masa y de las tortillas, debido a la presencia de arabinosilanos y demás gomas naturales que se liberan por la hidrolisis del pericarpio durante el proceso de nixtamalización (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2014).

### 3.4.4 Masa nixtamalizada

El grano de maíz se consume principalmente en forma de tortilla, alimento que se obtiene transformando el maíz crudo por cocción alcalina en un grano cocido y luego se transforma en masa la cual en proporciones definidas se convierte en tortillas que se cocinan sobre una superficie caliente. Actualmente el grano aún se procesa a nivel del hogar, ya desde hace algunos años, se hizo disponible al consumidor harinas industrialmente nixtamalizadas, las cuales, con agua, dan una masa para convertirse en tortillas y otros alimentos de maíz nixtamalizados (Billeb y Bressani, 2001).

### **3.4.5 Rendimiento de masa**

Los rendimientos de grano seco a masa nixtamalizada determina el peso ganado durante el proceso de nixtamalización y su conversión a masa (Salazar-Martínez *et al.*, 2015).

### **3.4.6 Compresión: Cohesividad y Adhesividad**

Una prueba de doble compresión muy utilizada aún en la actualidad, en el análisis de la textura de los alimentos, es el llamado Análisis del Perfil de Textura (TPA). Los parámetros del Análisis del Perfil de Textura de masa que pueden obtenerse son: dureza, fracturabilidad, elasticidad, cohesividad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad; El Análisis del Perfil de Textura es en la actualidad una técnica normalizada en el IIIA para quesos semiduros, embutidos cárnicos de pasta fina y masas. Al realizar este tipo de pruebas se puede calcular los parámetros de perfil de textura, según las curvas obtenidas (UNAM, 2008).

### **3.4.7 Tortilla**

En Mexico los maices de grano blanco son especialmente demandados para la elaboración de tortillas, sin embargo, los de color amarillo ofrecen ventajas en cuanto a textura y apariencia, además de aportar el B-caroteno que es la forma activa de la vitamina A y es importante para el crecimiento, el fortalecimiento del sistema inmunológico y la visión nocturna; en el proceso de molienda húmeda se prefieren los maices amarillos por que normalmente proporcionan mayor rendimiento de almidón (64 – 72%) que los maices blancos (Coutiño *et al.*, 2008).

Como atributos de una tortilla de buena calidad puede considerarse los siguientes: fácil enrollado, suavidad al tacto, olor, sabor, textura y plasticidad; tales atributos se obtienen mediante un procesamiento con concentraciones adecuadas de óxido de

calcio, combinados con tiempos adecuados de cocción. Para la elaboración de tortillas se requiere de un grano que produzca masa con alta humedad, resistencia y plasticidad entre otras características (Sierra-Macías *et al.*, 2010).

Entre los principales retos que enfrentan ambas industrias está evitar el endurecimiento para aumentar la vida de anaquel e incrementar el valor nutricional de las tortillas. El endurecimiento de las tortillas se resuelve principalmente mediante la adición de gomas. Otra opción para incrementar el valor nutricional de las tortillas es el uso de maíces de alta calidad proteínica (QPM) o con alto contenido de carotenoides (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2018).

Para la elaboración de tortillas se requiere un grano que produzca masa con alta humedad, buena extensibilidad y resistencia, entre otras características. La firmeza de la masa esta determinada por el tipo de maíz, la dureza del grano, las condiciones de secado, la oabsorcion de agua y el grado de gelatinación de los almidones. Las tortillas de buena calidad se asocian con masas cuyos valores de viscosidad maxima oscilan entre 220 y 330 unidades Brabender (UB) ((Antuna *et al.*, 2008).

#### **3.4.8 Rendimiento de tortilla**

Este rendimiento se determina en tortilla fría y se cuantifica con base en la cantidad de tortilla obtenida por kilogramo de maíz procesado (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2014). Los rendimientos de tortilla dependen de la capacidad del grano de absorber agua y de retenida durante las etapas del proceso, la cantidad de pericarpio retenido en el nejayote, también influye en el rendimiento, esto por la capacidad de ligar agua (Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto, 2010).

### **3.4.9 Elongación / TPA**

Este tipo de prueba también es llamada prueba de corte, ya que causa la división del producto en dos piezas, el parámetro que se mide es la fuerza máxima de corte, pero el aditamento montado en el texturometro, equipo utilizado para este análisis, permite obtener las curvas de fuerza vs distancia y a partir de aquí, calculas otros parámetros como elasticidad aparente o elongación, fuerza en la primera ruptura, área bajo la curva de compresión, etc. (UNAM, 2008).

### **3.4.10 Luminosidad de tortilla**

En algunas regiones del país se generalizó la costumbre de pensar que las tortillas debían ser claras, ya que el maíz a veces es blanco o, en el proceso de nixtamalización, el maíz amarillo suele blanquearse, luciendo como el del pozole, que lleva el mismo proceso de nixtamalización. No obstante, el resultado final de la masa casi siempre arroja un color crema-amarillo natural; pero por cuestiones de imagen, muchos tortilleros utilizan decolorantes para hacer las tortillas más blancas. De aquí radica la importancia de medir la luminosidad de las tortillas (Sierra-Macías *et al.*, 2010).

Esta variable se basa en la determinación, por reflexión de la luz, ya que según Salinas-Moreno *et al.*, (2006), el color de la tortilla está determinado por el proceso de nixtamalización y composición del grano.

## **3.5 Estado del Arte de la calidad fisicoquímica y perfil de textura en maíz**

En el trabajo de Billeb y Bressani (2001) llamado características de cocción por nixtamalización de once variedades del maíz, evaluaron las variedades del maíz para evaluar la calidad de procesamiento para harinas nixtamalizadas, se analizaron



mediante diferentes factores, dando todas las muestras aceptables en características físicas, sin embargo, solo 7 fueron las aceptadas para la harina.

Por otra parte, Moreno *et al.* (2010), en su investigación de calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México, determinaron la calidad de maíces comerciales y pre comerciales para la elaboración de harinas nixtamalizadas, masa y tortilla, producidos en varias entidades del trópico húmedo y sub-húmedo de México; obteniendo 14 muestras de diferentes estados, realizando pruebas de calidad industrial y nixtamalización, donde se obtuvo como resultado que un híbrido de Veracruz fue el más apto para la industrialización, cumpliendo con los requerimientos establecidos por la industria.

Teniendo más puntualidad en este tema, revisando el trabajo que realizó Sierra-Macías (2010), acerca de la caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional del maíz para el trópico mexicano”, determinó el valor agronómico y nutricional de variedades e híbridos de maíz pertenecientes al estado de Veracruz, de igual manera realizaron análisis de calidad industrial, nutricional y de nixtamalización dando como resultado el híbrido HQ-1 como el mejor material genético para la industrialización, ya que cumple con los estándares de la norma mexicana.

Por otra parte, Roque-Maciel *et al.* (2016) con el trabajo “Nixtamalización de cinco variedades de maíz con diferente dureza de grano: impacto en consumo de combustible y cambios fisicoquímicos” donde se observó que se debe hacer una correcta selección de maíces para la nixtamalización y así contribuir con la calidad, determinando las modificaciones físicas, químicas y térmicas que ocurren durante la nixtamalización del grano con diferentes durezas y su relación con el consumo de combustible y demanda energética durante el proceso. Así mismo, se determinó que las propiedades térmicas de las harinas evaluadas fueron similares con un aumento en la temperatura de gelatinización en las muestras tomadas al final, además de

determinar las características de calidad de la masa y tortillas producidas, es necesario conocer los parámetros energéticos requeridos para la nixtamalización de los granos de las variedades de maíz.

En la investigación “Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los valles altos centrales de México” de Vázquez *et al.* (2012), se demostró la influencia de la localidad en la calidad comercial, proteínica, de nixtamalización y tortillera del grano en cuatro híbridos de maíz QPM. La localidad y el híbrido afectaron el tamaño, la dureza, el color y calidad proteínica de los maíces, se obtuvieron materias con dureza intermedia y con buena humedad de tortilla, destacando un híbrido en especial por su mayor rendimiento de masa y tortilla.

Jiménez-Juárez *et al.* (2012) bajo el trabajo de investigación denominado Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano, evaluaron nueve genotipos de maíz tropical que se clasificaron como mejorados, premejorados y criollos, en los cuales se determinó las propiedades físicas del grano, masa y tortilla, donde se obtuvo como resultado que el mayor peso de grano lo tuvieron los maíces premejorados, mientras que la mayor dureza, cohesión, tensión y los menores valores de tensión y corte en tortilla lo tuvo el maíz criollo.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en el Instituto Tecnológico de Roque (Figura 6), Celaya, Guanajuato, México, ubicado a los 20°30'28" de latitud norte y 100°50'00" de longitud oeste, a una altitud de 1750 msnm, durante el ciclo agrícola primavera – verano en el mes de junio del 2018. El clima predominante es semi-cálido y sub-húmedo con temperaturas que van de 14°C a 22°C (INEGI, 2012).



**Figura 4.** Ubicación de la unidad experimental dentro del Instituto Tecnológico de Roque.

### 4.1 Generalidades

El experimento se llevó a cabo en tres etapas; la primera fue en campo en primavera–verano 2018. El material genético consistió en seis genotipos (Tabla 1). Se utilizaron tres densidades de siembra (80, 90 y 100 mil plantas/ha). La segunda etapa se realizó en el laboratorio de Industrias Alimentarias y en el laboratorio de

Análisis de Semillas, ambos del Instituto Tecnológico de Roque, esta fase realizó la evaluación de la calidad fisicoquímica, y la tercera etapa fue la determinación de perfil de textura de masa-tortilla. En esta parte se utilizó el diseño completamente al azar con tres repeticiones.

**Tabla 1.** Descripción de los genotipos utilizados.

Genotipo	Nombre	Color de grano
1	Anaconda	Amarillo
2	Cobra	Amarillo
3	Willy	Amarillo
4	Gorrión	Amarillo
5	CML486 xCML451	Amarillo
6	CML264 x CML311	Blanco

#### 4.2 Densidad de siembra y diseño experimental en campo.

Para la primera etapa, la siembra se realizó el día 8 de junio del 2018; se efectuó monitoreo de malezas y plagas en todo el experimento para asegurar el buen desarrollo del cultivo. El diseño experimental que se utilizó fue arreglo de parcelas divididas con 18 tratamientos y dos repeticiones. Se sembraron cuatro surcos de 5 m de longitud y 0.75 m de distancia entre cada surco teniendo una parcela experimental de 15 m<sup>2</sup>, depositando dos semillas por golpe para garantizar la siembra, a las cuatro semanas se aclareo dejando solo una planta (Figura 7).

		DISTRIBUCION DE MATERIALES						
BLOQUE I	ANACONDA	264 X 311	WILLY	486 X 451	COBRA	GORRION	80 000	
	ANACONDA	264 X 311	WILLY	COBRA	486 X 451	GORRION	90 000	
	486 X 451	WILLY	264 X 311	COBRA	ANACONDA	GORRION	100 000	
BLOQUE II	GORRION	264 X 311	486 X 451	ANACONDA	COBRA	WILLY	90 000	
	ANACONDA	COBRA	WILLY	264 X 311	486 X 451	GORRION	80 000	
	486 X 451	GORRION	COBRA	ANACONDA	264 X 311	WILLY	100 000	

**Figura 5.** Distribución de los genotipos en campo con las densidades de población establecidas.



**Figura 6.** Siembra del experimento (8 de junio de 2018).

### 4.2.1 Fertilización

La fertilización fue la recomendada por INIFAP: 240-60-30, también se aplicaron diferentes químicos para el fortalecimiento del cultivo, mismos que están presentados en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Distribución de la aplicación y tipo de fertilizantes.

Fertilización	
Fecha	Producto químico
	Fertilizante base 30 g/m (150 Kg fosfato mono amónico
8 de junio 2018	MAP, 50 Kg cloruro de potasio, 200 Kg sulfato de amonio)
9 de junio 2018	Sellador metaloclor mas atrazina
3 de julio 2018	Foliar súper magro
17 de julio 2018	Foliar súper magro
10 de julio 2018	Urea 400 Kg

### 4.3 Cosecha y Secado

La cosecha se realizó de forma manual identificando cada uno de los genotipos, estos se pusieron a secar a temperatura ambiente en un área ventilada durante tres semanas; esto se realizó con el objetivo de perder humedad en la mazorca lograr poca humedad en el grano. Se puede apreciar en la Figura 7 y en la Figura 8 los materiales en etapa de secado.



**Figura 7.** Material genético en secado tradicional con totemoxtle.



**Figura 8.** Material genético en secado tradicional sin totemoxtle.

#### **4.4 Desgranado**

Para el proceso de desgrane de los seis genotipos, se utilizó una desgranadora mecánica.



**Figura 9.** Desgrane mecánico de los genotipos de maíz.

#### **4.5 Pruebas de calidad fisicoquímica en la semilla**

Se determinó la calidad fisicoquímica de los seis genotipos en el laboratorio de Industrias alimentarias y en el laboratorio de análisis de semillas del Instituto Tecnológico de Roque. A continuación, se explican las características que define esta calidad:

##### **4.5.1 Dureza / punción**

Se determinó utilizando un texturometro, se seleccionaron 10 granos de cada genotipo sometidos a una fuerza de penetración mediante un punzón a un ángulo de  $30^\circ$ , conectado a la modalidad de analizador de textura universal TA-XT2. Esta prueba tuvo una velocidad de 2mm/s y 2mm de penetración, la fuerza necesaria para la ruptura del grano, se registró en kilogramos.





**Figura 10.** Análisis de textura del grano, en 10 muestras por genotipo, con sus tres densidades de población.

#### 4.5.2 Peso de 1000 granos

Se seleccionaron 1000 granos sanos de cada genotipo y se pesaron en una balanza analítica, haciendo tres repeticiones de cada uno (CMMYT, 2016). Los granos pueden clasificarse de acuerdo a la tabla 3, según su peso.

**Tabla 3.** Clasificación del tamaño de grano por peso de 1000 granos (Salinas y Vázquez, 2006).

Peso de 1000 granos (g)	Tamaño
>380 g	Grandes
330 – 380 g	Medianos
<330 g	Pequeños



**Figura 11.** Peso de mil granos utilizando la balanza analítica del laboratorio de análisis de semillas.

#### **4.5.3 Índice de flotación**

Para esta variable, se utilizó la referencia del CIMMYT (2016), se preparó una solución de azúcar refinada al 67%, agregando agua al vaso de plástico con 580 ml, se pesaron 670 g de azúcar refinada agitando constantemente con una cuchara de plástico, el volumen total de esta solución fue de exactamente un litro.

Se determinó el índice de flotación seleccionando 100 granos sanos de cada genotipo, se pesaron y se registró el peso. Posteriormente se adiciono 500 mL de la solución de azúcar en recipiente de 1L. Se vertieron los 100 granos en la solución agitándose tres veces a la derecha y tres a la izquierda con ayuda de una espátula, dejándose reposar 30 segundos para que los granos flotaran y se fueran al fondo. Por último, se retiraron los granos flotantes con una malla con perforaciones, para ser depositados en un colador y cuantificarlos. La dureza se determinó de acuerdo a la Tabla 4 (CIMMYT, 2016).

**Tabla 4.** Clasificación del grano de maíz por su dureza (CIMMYT, 2016).

Granos flotantes	Dureza
0 – 12	Muy duro
13 – 37	Duro
38 – 62	Intermedio
63 – 87	Suave
88 - 100	Muy suave

**Figura 12.** Conteo de granos flotantes en la solución de referencia.

#### 4.5.4 Peso hectolítrico

Para el proceso de esta variable se tuvo que limpiar la semilla de cada genotipo para que estuviera libre de impurezas y materiales extraños.

Para determinar esta variable se utilizó un homogeneizador y la balanza de peso volumétrico. La semilla se vació en el cono superior para luego dejar caer en el recipiente a una altura aproximada de 20 cm, lo cual permitió un llenado uniforme. Se dejó caer libremente el grano de maíz sobre el recipiente de 1L hasta que se desbordó, se eliminó el exceso de grano del recipiente con ayuda de una espátula de madera, rasando en zig-zag, posteriormente se pesó el recipiente con el grano, para

expresar el resultado en  $\text{kg hL}^{-1}$ . En la Tabla 5 se observa la clasificación de dureza según el resultado obtenido de peso hectolítrico.

**Tabla 5.** Clasificación de dureza según el peso hectolítrico (CIMMYT, 2016).

Peso hectolítrico $\text{kg hL}^{-1}$	Dureza
78	Duro
74 – 75	Intermedio
73	Suave



**Figura 13.** Peso del grano de maíz utilizando la balanza de peso volumétrico o cono.

#### 4.5.5 Luminosidad en grano

Para la medición del color se utilizó un colorímetro marca Hunterlab MiniScan EZ, el colorímetro se calibro con una placa negra y blanca de porcelana, se colocaron 30 g de grano de cada genotipo en un recipiente de cristal ancho; posteriormente se colocó el colorímetro sobre el recipiente con la muestra presionando el botón de lectura, apareciendo los valores obtenidos para  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (tonalidades de verde a rojo) y  $b^*$  (tonalidades de azul a amarillo), realizando las lecturas por triplicado.

**Tabla 6.** Clasificación de color escala Lab (CIMMYT, 2016).

Escala	Negativos (-)	Positivos (+)
L	Negro	Blanco
A	Verde	Rojo
B	Azul	Amarillo

**Figura 14.** Evaluación de color con el equipo Hunterlab MiniScan EZ directo al grano, en tres repeticiones de los seis genotipos a tres densidades de población.

#### 4.5.6 Aceite (%)

Se utilizó hexano y material comun de laboratorio, asi como cartucho de extraccion de tamaño adecuado para el extractor; una parrilla electrica de placa con termostato y balanza analitica con sensibilidad de 0.1 mg. En el cartucho se coloco 1 g de muestra dentro del soxhlet, en la parte inferior se ajusto un matraz con cuerpos de ebullición (estos llevados previamente a peso constante por calentamiento a 100-110 °C) y se coloco el refrigerante. Se añadio el hexano por el extremo superior del refrigerante en cantidad suficiente para tener dos o tres descargas del extractor (alrededor de 80

ml). Se hizo circular el agua por el refrigerante y se calentó hasta que se obtuviera una frecuencia de dos gotas por segundo. Se efectuó la extracción durante tres horas con cuatro repeticiones por material. Para obtener los resultados, se efectuó la siguiente fórmula y se expresó en porcentaje.

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{P - p}{M} \times 100$$

Dónde: P = masa en g del matraz con grasa

p = masa en g del matraz sin grasa

M = masa en gramos de la muestra



**Figura 15.** Equipo Soxhlet utilizado en la proporción de aceite en los seis genotipos de maíz.

#### 4.5.7 Proteína (%)

La prueba de proteínas en las semillas se realizó mediante la metodología descrita en la norma NMX-F-068-S-1980, se hizo en dos procesos: digestión y destilación. En

la digestión, se tomó una muestra de 1 g de grano de maíz triturado, colocándose en papel filtro (cartucho). Posteriormente se le agrego 5 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y 1 g de Cúprico 5-Hidrato, 6 perlas de cristal y 15 ml de sulfúrico al matraz, se dejó digestar por un periodo de 4 horas con movimiento constante hasta tornar una coloración verde limón, después tapo con aluminio y se puso a enfriar.

Para la destilación, el matraz se colocó en las parrillas a temperatura no. 2, con la finalidad de que se fundiera el contenido llegando a líquido, ya disuelta la muestra, se pasó a la campana de extracción, donde se le agrego 0.05 g de zinc, 25 ml de NaOH (1:1) y 275 ml de agua destilada. Posterior a esto, nuevamente se pasó a las parrillas de destilación y se dejó por 5 h a temperatura no. 2 procurando la ebullición no fuera agresiva, también se colocó en la fuente de salida, un matraz con 25 ml de ácido bórico con tres gotas de indicador Shiro Tashiro aforado a 250 ml.

Pasado el tiempo y cuando la solución del matraz de salida obtuvo una coloración verde esmeralda, este se tituló con ácido Clorhídrico (2 ml aforado a 250 ml) hasta que cambiara a un color rosado. Tomando el dato de los ml gastados, para estimar los datos se utilizó la siguiente formula:

$$\frac{N (c \text{ molckg} - 1) = (V \text{ muestra} - V \text{ blanco}) N \times 14}{\text{Peso muestra} \times 10} \times 6.25$$

Donde:

$V_{\text{muestra}}$  = Vol. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para titular (ml).

$V_{\text{blanco}}$  = Vol. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para blanco (ml).

N = Normalidad  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0.05) para maíz con alto contenido en proteína.



**Figura 16.** Determinación de proteína en grano de maíz con el equipo Kjeldahl–Gunning.

#### **4.5.8 Humedad (%)**

Se determinó por medio de termo balanza marca ADAM con capacidad máxima de 200 g. Se abrió la unidad de calentamiento, colocándose en una charola de aluminio, posteriormente se taró el equipo poniendo los granos de maíz para pesar de 3 a 5 gramos por cada genotipo, después de unos minutos se da la señal acústica, para determinar la lectura en pantalla, marcando peso inicial, peso final y el % de humedad, se abrió el equipo y se retiró la muestra para proceder a otra. Se evitó cualquier fuente de calor durante el proceso, ya que esto puede producir una pérdida de humedad. Se registraron los datos y se realizaron tres repeticiones.





**Figura 17.** Equipo de termo balanza para la determinación del porcentaje de humedad.

#### 4.5.9 Cenizas

Se basó en la técnica de la NMX-F-066-S-1978, se utilizó un crisol a masa constante, se colocó de 3 a 5 g de muestra de grano molido de los seis genotipos con sus tres densidades, se realizó una prueba por genotipo; el crisol con la muestra se puso en una parrilla para quemarse lentamente el material hasta que ya no desprendiera humo, evitando que se proyectara fuera del crisol. Posteriormente, el crisol se llevó a una mufla y se efectuó la calcinación completa. Por último se dejó enfriar en la mufla, transfiriendo al desecador para su completo enfriamiento y se determinó la masa del crisol con cenizas utilizando la siguiente fórmula para los cálculos:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P - p) \times 100}{M}$$

En donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos

p = Masa del crisol vacío en gramos

M = Masa de la muestra en gramos



**Figura 18.** Equipo mufla y crisol con muestra en su interior.

#### **4.5.10 Grados brix**

Se basó mediante el procedimiento de la Norma Oficial de Método de Prueba para la determinación de “Grados brix” (NMX-F-103-1982); se colocó el refractómetro en una posición tal que difunda la luz natural o cualquier otra fuente de luz, que pueda utilizarse para la iluminación. Se limpió cuidadosamente con alcohol antes de hacer la lectura. Los granos de maíz fueron triturados para dar 2 g de polvo y diluidos en 5 ml de agua destilada. Para cargar el refractómetro, se abrió el doble prisma girando el tornillo correspondiente y se pusieron unas gotas de muestra sobre el prisma, cerrar y ajustar finamente. Se movió el tornillo giratorio del aparato hacia delante y hacia atrás hasta que el campo visual se dividiera en dos partes, una luminosa y otra oscura. La línea divisoria entre esas dos partes, se le conoce como "línea margen". Se ajustó la línea margen y se leyó directamente el por ciento de sólidos en la escala Brix. En la parte inferior puede tomarse la lectura de los sólidos en la muestra, y en la parte superior, los grados Brix. Se registraron los datos y se hicieron tres repeticiones.



**Figura 19.** Determinación de grados Brix en genotipos de maíz.

#### 4.6 Pruebas de perfil de textura en la masa y tortilla

Se valoraron los resultados que arrojaron las pruebas de calidad fisicoquímica para determinar que el genotipo Cobra y Gorrión obtuvieron las mejores características tanto físicas como químicas, respetando las tres densidades. Esto se determinó tomando como referencia el método de CIMMYT (2016), quienes señalan que las características que deben tener los granos para la elaboración de masa y tortillas son: a) granos semiduros; b) valores intermedios de PMG; c) valores altos de absorción de agua, entre otras.

**Tabla 7.** Genotipos evaluados para la determinación de perfil de textura masa-tortilla a tres densidades de población.

Genotipo	Nombre	Color de grano
2	Cobra	Amarillo
4	Gorrión	Amarillo
6	CML264 x CML311	Blanco

#### 4.6.1 Nixtamalización

Se realizó una nixtamalización estandarizada, utilizando las muestras de maíz limpio, libre de granos quebrados o picados, con 1% de cal (óxido de calcio) y 200 ml de agua mezclados en un vaso de precipitado de 600 ml, esto por cada 50 g de maíz y 50 minutos de cocción. Se calentó en una parrilla para nixtamalización a temperatura constante de 96 °C. Después de la cocción, las muestras se dejaron en reposo por 14 a 16 h a temperatura ambiente para después enjuagar el nixtamal con agua, se transformó en masa y se deshidrató para molerse.



**Figura 20.** Nixtamalización tradicional utilizando agua hirviendo adicionada con cal, y los granos de maíz.

**Tabla 8.** El tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización (NMX-FF-034/1-2002)

Granos flotantes	Dureza	Tiempo de cocción (min)
0-12	Muy duros	45
13-37	Duros	40
38-62	Intermedios	35
63-87	Suaves	30
88-100	Muy suaves	25

#### 4.6.2 Humedad de nixtamal (%)

Se determinó por medio de termo balanza marca ADAM con capacidad máxima de 200 g. Se abrió la unidad y se colocó en la charola de aluminio de 2 a 3 g de grano nixtamalizado y se cerró el equipo, después de unos minutos, se determinó la lectura en pantalla, marcando peso inicial, peso final y el % de humedad, se abrió el equipo y se retiró la muestra para proceder a otra. Se registraron los datos y se realizaron tres repeticiones.



**Figura 21.** Prueba de humedad en grano nixtamalizado después del reposo en agua y el lavado.

#### 4.6.3 Pérdida de sólidos (%)

Para esta variable se utilizó un vaso de precipitado de 600 ml, previamente pesado, se separaron los granos cocidos, los cuales se enjuagaron con 200 ml de agua sobre un colador, recuperando el agua de enjuague, vertiéndola sobre la misma agua residual del cocimiento, que es contenida por el vaso de precipitado de 600 ml. El agua de cocimiento y enjuague, se expuso a ebullición hasta tener un volumen de agua mínimo, donde todavía se podían apreciar los sólidos en suspensión en la

solución y fue colocado en la estufa de circulación de aire, manteniéndola a 90 °C, hasta que se evaporó todo el contenido de humedad. El vaso de 600 ml, fue colocado en el desecador de vidrio para enfriarlo, para posteriormente ser pesado en la balanza analítica.

Para obtener los resultados se utilizó la siguiente fórmula y se expresó en porcentaje.

$$\% \text{ Sólido} = \frac{\text{Peso del vaso con materia seca (g)} - \text{peso del vaso (g)}}{\text{Peso de la muestra de maíz a nixtamalizarse}} \times 100$$



**Figura 22.** Sólidos pesados en balanza analítica para determinar el % de estos.

#### 4.6.4 Masa nixtamalizada

La masa de cada genotipo se obtuvo por el método de nixtamalización ya descrito en el punto 4.5.1 de este documento, utilizando un molino de granos en la molienda.



**Figura 23.** Grano nixtamalizado colocado en el molino para su conversión a masa.

#### 4.6.5 Rendimiento de masa

Los rendimientos de grano a masa y de grano a tortilla se determinaron a partir de 100 g de grano de la muestra nixtamalizada, los resultados se expresaron en gramos de masa o tortilla por kilogramo de grano en base seca.

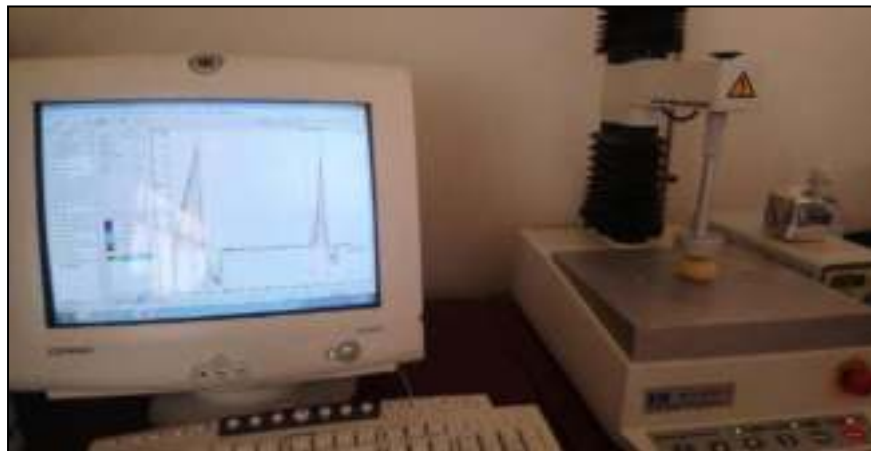


**Figura 24.** Rendimiento de la masa, pesada en balanza analítica.

#### 4.6.6 Cohesividad y Adhesividad

Se utilizó texturometro para el método de análisis del perfil de textura (TPA), se tomo una muestra de masa con un peso de 30 g, colocandola en la plataforma del equipo

y se activo para que el brazo bajara usando una velocidad de 2 mm/s, los resultados se expresaron en gramos fuerza. Se obtuvieron dos curvas, una positiva y otra negativa; la positiva registro la fuerza de cohesión (dureza) y la negativa fue la fuerza maxima generada cuando el aparato deja la masa, se valoro como fuerza de adhesión los resultados se expresaron como gramos fuerza.



**Figura 25.** Evaluación en masa nixtamalizada utilizando el texturometro.

#### **4.6.7 Tortilla**

La masa nixtamalizada se moldeo en una prensa manual, para evitar que la tortilla tenga variaciones en el grosor, como sucede cuando se forman manualmente, y se cocieron sobre una plancha metálica, una vez cocidas, se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min tapadas con una servilleta de manta.





**Figura 26.** Elaboración tortillas de los genotipos utilizados.

#### 4.6.8 Pérdida de peso en tortilla

Esta variable se evaluó determinando el porcentaje en peso perdido durante la cocción de tortilla, esto se efectuó tomando el peso de la tortilla cruda y el peso en tortilla fría; el resultado se reportó como el % de pérdida de peso. La fórmula utilizada fue:

$$Pp = \frac{(\text{peso tortilla cruda} - \text{peso tortilla fría})}{\text{Peso tortilla cruda}} \times 100$$

#### 4.6.9 Rendimiento de tortilla

Se determino a partir de una muestra de 100 g de grano nixtamalizado, se registro el peso total de las tortillas obtenidas, para tortilla cruda como en cocida en frío (después de que la tortilla alcanza la temperatura ambiente), los productos correspondientes fueron expresados como porcentajes con respecto a 1 k de grano y se calculó en función del rendimiento de grano-masa y la perdida de peso durante el cocimiento, utilizandose con la siguiente formula:

$$RT = RM (1 - \% Pp / 100)$$

Donde:

RT= Rendimiento de la tortilla (k de tortilla / k de masa)

RM= Rendimiento de la masa (k de masa / k de harina)

Pp= Pérdida peso durante la cocción (%)



**Figura 27.** Ampolla de la tortilla.

#### **4.6.10 Elongación de tortilla TPA**

Se utilizó un texturometro (Texture Analyzer Stable Micro Systems, modelo: TA-XT2-Australia), con características y procedimiento mencionado en el punto 4.4.10 de este documento, se colocaron herramientas para medir la elasticidad y elongación de tortilla de los genotipos muestreados, se midió la fuerza máxima de ruptura en tensión con un aditamento montado en el texturometro que hace que la muestra se fracturara en un plano donde actúa la fuerza de tensión.



**Figura 28.** Muestra de tortilla colocada en el texturometro para análisis de resistencia y elongación.

#### 4.6.11 Luminosidad tortilla ( $L^*$ )

Se utilizó un colorímetro marca Hunterlab MiniScan EZ, se calibro con una placa negra y blanca de porcelana para después colocarse encima de la tortilla presionando el botón de lectura, donde se registraron los valores obtenidos para  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (tonalidades de verde a rojo) y  $b^*$  (tonalidades de azul a amarillo), se disparó en tres zonas diferentes de una tortilla de cada genotipo analizado.



**Figura 29.** Toma de colorimetría en tortilla para detectar la luminosidad.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas del grano

El análisis de varianza muestra que la fuente de variación, genotipos, densidad y la interacción genotipo\*densidad presentaron diferencias estadísticas en peso de mil granos (PMG), peso hectolitrico (PH), índice de flotación (IF) y Humedad (H); sin embargo, para las variables luminosidad (L) y punción de fuerza (PF) no hubo diferencias estadísticas. Estos resultados diferenciales se atribuyen a la constitución genética que presentan cada genotipo. Los coeficientes de variación oscilan de 0.54 para PH hasta 13.91 para PF (Tabla 9).

**Tabla 9.** Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres físicos de grano.

FV	Gl.	PMG (g)	PH ( kg hL <sup>-1</sup> )	IF (%)	H %	L*	PF (gfza)
Repetición	2	124.38	0.99*	14.0*	0.06	44.82	2552945.6
Genotipo	5	8303.66**	164.14**	871.41**	2.03**	49.8 <sup>ns</sup>	2663068.73 <sup>ns</sup>
Densidad	2	4733.51**	3.31**	416.88**	8.03**	28.91 <sup>ns</sup>	9326916.87 <sup>ns</sup>
G*D	10	1046.37**	57.71**	82.0**	2.20**	24.06 <sup>ns</sup>	5081644 <sup>ns</sup>
Error	34	89.58	0.17	4.52	0.06	26.87	4399893.8
Total	53	482915.5	226.32	1388.81	12.38	174.46	24024469
C.V. (%)		2.65	0.54	3.07	2.01	9.1	13.97

\*, \*\* significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. ns =no significativo.

PMG= peso de mil granos; PH= peso hectolitrico; IF= índice de flotación; H= humedad de grano; L\*= luminosidad de grano; PF= punción de fuerza

En la Tabla 10 se expresan la comparación de medias, para peso de mil granos, donde el valor más alto lo obtuvo CML264 x CML311 con 409.53 g, seguido de CML486 x CML451 con 377.30 g, quienes proporcionaron en promedio un tamaño de grano más grande, por el contrario, los granos más pequeños se presentaron en Willy con 338.07 g. Al respecto, el CIMMYT (2016) utilizan márgenes de tamaño de

granos de maíz según el peso, manifestando que materiales que pesan entre 330 a 380 g son considerados granos medianos.

Se observa que Willy tuvo en promedio el mayor peso hectolitrico (PH) con un valor de 81.36 kg hL<sup>-1</sup>, sin embargo, CML264 x CML311 obtuvo el valor de 77.36, seguido de Anaconda quien presentó 77.40 kg hL<sup>-1</sup>. De acuerdo a la norma mexicana NMX/034 (2002) que marca un límite de peso hectolitrico de 74, todos los genotipos evaluados cumplen con la norma, sin embargo, la metodología de CIMMYT (2016), la cual fue utilizada como referencia para esta investigación, maneja un límite de 78, considerándolo como un grano de textura dura, de acuerdo a esto, entra Willy con un valor de 81.36, Gorrión con 79.86 y el híbrido 486 x 451 con un peso de 78.86 kg hL<sup>-1</sup>; cabe señalar, que los granos en un rango de 74 a 78 se consideran de dureza intermedia, donde se encuentra el resto de los genotipos.

Cobra presentó en promedio el mayor índice de flotación con 81.66 %, mientras que los niveles más bajos se presentaron en CML264 x CML311 con 54.44 % y Willy con 57.55 %; sin embargo, la norma mexicana NMX/034 (2002) tiene como referencia un nivel menor de 40 determinando que genotipos con estos valores son considerados duros a intermedios, lo que demuestra que ninguno de los materiales se encuentra en este rango. No obstante, la escala descrita por el CIMMYT (2016), dice que los genotipos encontrados entre los valores de 38 a 62, como CML264 x CML311 tienden ser de una dureza intermedia, mientras que los encontrados entre 63 a 87, son granos suaves. El genotipo que presentó mayor % de humedad fue Willy con 13.69 % mientras que el promedio más bajo se obtuvo en Cobra con 12.33 %, sin embargo, de acuerdo con el manual de calidad de grano para técnicos post cosecha de CIMMYT (2016), la humedad es importante para prevenir presencia principalmente de hongos o plagas, dejando claro que el rango ideal de humedad es de 12 a 14 %.

Para el caso de luminosidad, Cobra obtuvo el valor más alto con 59.71 y en segundo lugar CML261 x CML311 con 59.28, indicando que estos granos fueron más claros de acuerdo a la escala del colorímetro, debido a que, entre mayor valor, el grano es más blanco. El genotipo que presentó la luminosidad más baja fue CML486 x CML451 con 53.31. En este sentido, Sierra *et al.* (2010) mencionan que existe un rango establecido por la NMX/034 del 2002 de 55, ellos obtuvieron resultados que oscilaron entre los 38 para variedades amarillas y 56 para híbridos blancos; de acuerdo a los resultados obtenidos para esta variable se obtuvieron valores mayores a la referencia, lo que los hace idóneos para la nixtamalización. Por otra parte, Willy obtuvo en promedio mayor valor en punción de fuerza con 15,734 g, lo que se deduce que es un grano duro, sin embargo, CML486 x CML451 tuvo un valor de 14,724.9 g, que de acuerdo con la NMX/034 (2002) menciona rangos de entre los 13,000 y 18,000 g de fuerza, entendiendo que esto se da debido a que se presenta una mayor proporción de endospermo córneo lo cual está directamente relacionado a la resistencia, aceptando así que los maíces usados en este proyecto son aptos para el proceso de nixtamalización, demostrando que todos los genotipos son aptos para este proceso.

**Tabla 10.** Comparación de medias de las propiedades físicas de grano en seis genotipos contrastantes.

Genotipo	PMG (g)	PH (kg hL <sup>-1</sup> )	IF (%)	H (%)	L*	PF (gfza)
<b>Anaconda</b>	334.97 d	77.40 d	75.77 b	12.65 c	56.86 ab	15302.1 a
<b>Cobra</b>	347.75 c	76.03 e	81.66 a	12.33 d	59.71 a	14337.8 a
<b>Willy</b>	338.07 d	81.36 a	57.55 d	13.69 a	56.08 ab	15734.2 a
<b>Gorrión</b>	334.37 d	79.65 b	71.44 c	13.26 b	56.19 ab	14570.5 a
<b>CML486 x</b>						
<b>CML451</b>	377.30 b	78.86 c	71.77 c	13.11 b	53.31 b	14724.9 a
<b>CML264 x</b>						
<b>CML311</b>	409.53 a	77.36 d	57.44 d	13.08 b	59.28 a	15388.7 a
<b>DMS (0.05)</b>	9.06	0.4	2.03	0.25	4.96	2009.5

Medidas con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa.

PMG= peso de mil granos; PH= peso Hectolítrico; IF= índice de flotación; H= humedad de grano; L\*= luminosidad de grano; PF= punción de fuerza

En la Tabla 11 se observa que la mejor densidad de población para peso de mil granos fue de 80 mil plantas por hectárea con un valor de 372.24 g, teniendo el valor más alto en esta prueba, contando con los granos más grandes, mientras que la densidad con granos más pequeños fue la de 100 mil plantas por hectárea con 339.96 g. La densidad adecuada para peso hectolitrico fue la de 80 mil plantas por hectárea con 78.66 kg hL<sup>-1</sup>, aunque no hubo una diferencia alta respecto a las otras dos densidades de 90 mil y 100 mil con 78.57 y 78.10 kg hL<sup>-1</sup>, respectivamente. El índice de flotación fue mejor a 90 mil plantas con 74.83 %, mientras que las densidades de 80 y 100 mil plantas obtuvieron valores más bajos de 66.61 y 66.38, respectivamente. Para humedad, la densidad de 90 mil plantas por hectárea fue la que obtuvo los niveles más altos de humedad con 13.67 % y la densidad de 80 mil presentó los granos con menor porcentaje de 12.33, siendo entonces la densidad de 100 mil plantas la que obtuviera el valor promedio en esta prueba con 13.05%, son valores apropiados o recomendados para un buen almacenamiento (Ibérica, 2015). La densidad más alta en cuanto luminosidad, fue 100 mil plantas, pero no hay diferencia alta entre las tres densidades. Para punción de fuerza, no hay mucha

diferencia entre las densidades para esta variable, sin embargo, la densidad de grano más duro fue la de 90 mil plantas por hectárea con 15828.2, teniendo un buen estándar de acuerdo con lo establecido con la NMX-FF-034/1-2002.

**Tabla 11.** Comparación de medias de las propiedades físicas a través de las densidades de población.

Densidad	PMG (g)	PH (kg hL <sup>-1</sup> )	IF (%)	HG (%)	L*	Punción (gfza)
<b>80 mil plantas</b>	372.24 a	78.66 a	66.61 b	12.33 c	57.35 a	14475.4 a
<b>90 mil plantas</b>	358.79 b	78.57a	74.83 a	13.67 a	57.47 a	15828.2 a
<b>100 mil plantas</b>	339.96 c	78.10 b	66.38 b	13.05 b	57.89 a	14725.3 a
<b>DMS (0.05)</b>	6.41	0.28	1.44	0.17	3.51	1420.9

Medidas con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa.

PMG=peso de mil granos; PH= peso hectolitrico; IF= índice de flotación; H= humedad de grano; L\*= luminosidad de grano; PF= punción de fuerza.

La Tabla 12 muestra la interacción genotipo-densidad, donde se observa que 80 mil y 90 mil plantas fueron las densidades con mayor promedio en las variables físicas para Anaconda y CML486 x CML451, mientras que, para Cobra, 90 mil plantas fue la más sobresaliente; Willy no presento diferencia en las tres densidades al igual que Gorrión y CML264 x CML311.



**Tabla 12.** Promedios de las variables en estudio en la Interacción genotipo-densidad de las propiedades físicas.

Genotipo	Densidad	PMG (g)	PH ( kg hL <sup>-1</sup> )	IF (%)	HG (%)	L*	Punción (gfza)
<b>Anaconda</b>	1	347.26	79.07	77.66	11.26	59.29	15604.72
	2	321.60	76.68	81.66	14.40	54.01	15224.99
	3	336.04	76.46	68.00	12.29	57.28	15076.55
<b>Cobra</b>	1	350.20	74.92	80.66	12.18	56.28	15330.28
	2	353.78	76.76	82.66	12.31	60.35	15983.05
	3	339.27	76.40	81.66	12.50	62.51	11699.95
<b>Willy</b>	1	350.33	81.82	48.33	12.54	56.12	14900.57
	2	334.77	80.49	65.66	14.31	52.35	17123.58
	3	329.12	81.78	58.66	14.23	59.76	15178.31
<b>Gorrión</b>	1	344.23	78.78	64.66	13.22	57.27	13476.14
	2	333.79	80.07	79.33	13.81	55.97	14701.79
	3	325.10	80.11	70.33	12.74	55.34	15533.50
<b>CML486 x CML451</b>	1	418.46	79.30	72.00	11.35	53.50	14146.63
	2	392.90	78.56	81.33	14.01	55.20	15644.80
	3	320.53	78.73	62.00	13.96	51.24	14383.12
<b>CML264 x CML311</b>	1	422.99	74.71	56.33	13.45	61.67	13394.27
	2	415.91	79.44	58.33	13.17	54.97	16291.24
	3	389.70	77.94	57.66	12.62	61.22	16480.46

PMG=peso de mil granos; PH= peso hectolitrico; IF= índice de flotación; H= humedad de grano; L\*= luminosidad de grano; PF= punción de fuerza.

### Propiedades químicas del grano

En la Tabla 13 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza, para la fuente de variación genotipos se detectó diferencias altamente estadísticas al 0.01 de probabilidad para grados brix, proteína y cenizas, y la variable aceite fue solo significativa, en la densidad grados brix y proteína son altamente significativos (0.01) y significativo al 0.05 de probabilidad para aceite y cenizas. En la interacción genotipo x densidad se encontró la misma respuesta de las variables que el factor genotipos. Estas diferencias estadísticas no solo se atribuyen a la constitución

genética de los híbridos sino también se deben a las altas densidades de plantas. Los coeficientes de variación oscilan de 0.54 para aceite hasta 2.54 para ceniza.

**Tabla 13.** Cuadrados medios para caracteres químicos en genotipos de maíz.

<b>FV</b>	<b>G.L.</b>	<b>°Brix</b>	<b>Ceniza (%)</b>	<b>Aceite (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>
<b>Repetición</b>	2	0.00	0	7.16	0.02
<b>Genotipo</b>	5	0.18**	0.09**	14.34*	51.54**
<b>Densidad</b>	2	0.89**	0.04**	14.22*	0.03*
<b>G*D</b>	10	0.29**	0.01**	14.66*	0.09**
<b>Error</b>	34	0	0	6.34	0.01
<b>Total</b>	53	1.36	0.14	56.76	51.69
<b>C.V. (%)</b>		1.15	2.5	0.54	0.83

\*, \*\* significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. ns =no significativo.

En la Tabla 14, se presentan la comparación de medias, el genotipo con mayor nivel de grados brix fue Cobra con 4.86 %, lo que significa que es el material con mayor cantidad de azúcares, mientras que Gorrión tuvo un valor de 4.59 %, entre Cobra y Gorrión existe mínima diferencia de 0.27 grados brix, lo que indica que Cobra presenta ligeramente mayor concentración de azúcares; los genotipos estudiados no presentaron calidad de grados brix por tener valores menores de 24 % lo que refiere Luchsinger y Camilo (2018), donde reportaron que maíces de buena calidad deben tener valores entre 24 y 30% en grados brix, cabe señalar que la toma de este análisis se realizó en madurez fisiológica del grano. Por otra parte, se observa que CML264 x CML311 presento en promedio mayor contenido de ceniza con 1.49 % seguido de Anaconda con 1.36 %, en cambio, CML486 x CML451 obtuvo menor porcentaje con 1.25 %. sin embargo; Fuentes (2012) reporto un porcentaje ligeramente más alto de 2.13 de cenizas totales en el grano, definiendo que la mayor parte se encuentra concentrado en el germen.

Cobra es el material con mayor presencia de aceite o grasa con un valor de 16.33 %, CML264 x CML311 obtuvo 12.77 %, teniendo este el valor más bajo junto con Gorrión con 13.22. Fuentes (2012) realizó diferentes análisis en grano (germen, pericarpio y endospermo), donde comentó que el porcentaje aproximado de grasa en el grano debe ser del 4.8%, sin embargo, reportó porcentajes que oscilaron entre los 8.3 y 18.4, esto pudo ser debido a que el mayor porcentaje se encuentra en el germen, lo que pudiera explicar los porcentajes obtenidos en este proyecto. El genotipo con el porcentaje más alto en proteína fue CML486 x CML451 con 15.56 %, sin embargo, Fuentes (2012) encontró valores de 9.14 %, de acuerdo con la referencia en la literatura (rango va de 6 a 10 % de proteína que constituye el maíz), deduciendo que estos genotipos cuentan con el porcentaje de proteínas que pudieran ayudar como enfoque a la nutrición humana ni animal.

**Tabla 14.** Comparación de medias para las propiedades químicas de grano.

<b>Genotipo</b>	<b>°Brix</b>	<b>Ceniza (%)</b>	<b>Aceite (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>
<b>Anaconda</b>	4.82 ab	1.36 b	14.88 ab	9.30 f
<b>Cobra</b>	4.86 a	1.24 de	16.33 a	13.67 c
<b>Willy</b>	4.70 c	1.21 e	14.22 ab	11.87 d
<b>Gorrión</b>	4.59 d	1.32 c	13.22 b	10.85 e
<b>CML486 x CML451</b>	4.49 e	1.25 d	14.22 ab	15.56 a
<b>CML264 x CML311</b>	4.80 b	1.49 a	12.77 b	14.66 b
<b>DMS (0.05)</b>	0.05	0.03	2.41	0.1

Medidas con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa.

Se muestra en la Tabla 15 que la densidad de población con mayor contenido de azúcares fue 100 mil plantas con un valor de 4.96 %, mientras que la densidad más baja fue la de 90 mil plantas con 4.53 %. En cuanto a ceniza, se muestra que la densidad de 90 mil plantas fue quien obtuvo el mayor valor con 1.37 %, seguido de 100 mil plantas con 1.30 %. La densidad más alta en porcentaje de aceite fue 80 mil plantas por hectáreas con 15.16 %, mientras que la densidad de 100 mil plantas tuvo el menor porcentaje con un valor de 13.38 %. 80 mil plantas fue la densidad que

obtuvo mayor porcentaje de proteína con 12.68 %, sin embargo, no hubo diferencia significativa contra las otras dos densidades.

**Tabla 15.** Medidas para tres densidades de plantas en las propiedades químicas en seis genotipos.

Densidad	°Brix	Ceniza (%)	Aceite (%)	Proteína (%)
<b>80 mil plantas</b>	4.63 b	1.26 c	15.16 a	12.68 a
<b>90 mil plantas</b>	4.53 c	1.37 a	14.27 ab	12.60 b
<b>100 mil plantas</b>	4.96 a	1.30 b	13.38 b	12.66 ab
<b>DMS (0.05)</b>	0.037	0.02	1.7	0.07

Medidas con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa.

En la Tabla 16 se muestra la interacción genotipo-densidad para las variables químicas, donde Anaconda tuvo mejor resultado en cuanto a grados brix en la densidad de 100 mil plantas, mientras que para el resto de las variables no hubo diferencia entre las densidades; por otra parte, Cobra tuvo mejor respuesta química en la densidad de 80 mil, Willy obtuvo mejores promedios en 90 mil y 100 mil; tanto Gorrión, CML486 x CML451 y CML264 x CML311, no presentaron diferencias en sus tres densidades.

**Tabla 16.** Interacción genotipo-densidad de las propiedades químicas.

Genotipo	Densidad	°Bx (%)	Ceniza (%)	Aceite (%)	Proteína (%)
<b>Anaconda</b>	1	4.86	1.30	18.33	9.33
	2	4.56	1.44	14.66	9.27
	3	5.03	1.33	11.66	9.30
<b>Cobra</b>	1	5.03	1.22	17.33	13.82
	2	4.48	1.26	16.00	13.61
	3	5.06	1.25	15.66	13.59
<b>Willy</b>	1	4.03	1.07	17.66	11.81
	2	5.00	1.32	12.66	11.92
	3	5.06	1.24	12.33	11.88
<b>Gorrión</b>	1	4.49	1.25	12.33	10.61
	2	4.20	1.37	12.66	11.05
	3	5.10	1.34	14.66	10.87
<b>CML486 X CML451</b>	1	4.49	1.30	15.00	15.64
	2	4.49	1.26	15.00	15.44
	3	4.49	1.20	12.66	15.59
<b>CML264 X CML311</b>	1	4.89	1.45	10.33	14.90
	2	4.49	1.54	14.66	14.35
	3	5.03	1.48	13.33	14.75

°Brix=grados brix

### Perfil de textura en masa-tortilla

En la Tabla 17 se muestra el análisis de varianza, para humedad de nixtamalización, en densidad y la interacción no hubo diferencias estadísticas, mientras que entre genotipos fue altamente significativa. Para pérdida de sólidos no hubo diferencia significativa en densidades, sin embargo, los genotipos y la interacción fueron altamente significativos. Para rendimiento de masa, la densidad y los genotipos fueron significativos, mientras que la interacción no tuvo significancia. Para cohesividad, genotipos fueron altamente significativa, la densidad y la interacción no fueron significativo. No hubo significancia entre los factores analizados para adhesividad. En pérdida de peso, genotipos resultaron significativos, mientras que, densidad y la interacción fueron significativos. En cuanto al rendimiento de tortilla fría, genotipos fue altamente significativa, mientras que, en la interacción y densidad

fueron significativos. Para elongación de tortilla TPA, la interacción no fue significativa, densidad y genotipos fueron altamente significativos. Para luminosidad de tortilla, no hubo diferencia en densidad, mientras que genotipos e interacción fueron altamente significativos.

**Tabla 17.** Cuadrados medios del análisis de varianza de perfil de textura de masa-tortilla.

Fv	Gl.	HN (%)	PS (%)	RM	Cohesividad (g)	Adhesividad (g)	PP (%)	TPA (gfza)	RTF (%)	L* Tortilla
Rep.	2	0.15	0.00	0.00	92.97	3252.14	1.99	5854.49	0.00	0.25
Genotipo	2	73.39**	0.49**	0.22**	2834.1**	3249.28 <sup>ns</sup>	21.17*	156698.78**	0.19**	74.76**
Densidad	2	1.42 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.04**	133.7 <sup>ns</sup>	3263.53 <sup>ns</sup>	6.68 <sup>ns</sup>	40058.42**	0.01 <sup>ns</sup>	0.15 <sup>ns</sup>
Genot*Densid	4	2.13 <sup>ns</sup>	0.24**	0.01 <sup>ns</sup>	88.2 <sup>ns</sup>	3262.38 <sup>ns</sup>	2.65 <sup>ns</sup>	8344.94 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.84**
Error	16	1.28	0.01	0.01	300.62	3248.77	6.18	10858.41	0.00	0.23
Total	26	78.37	0.75	0.28	3449.59	16276.10	38.67	221815.04	0.21	76.23
CV		3.05	5.07	6.47	-96.61	504.2	10.34	27.76	7.91	0.68

\*, \*\* significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. ns =no significativo.

HN: humedad de nixtamal; TPA: elongación tortilla; PS: pérdida de sólidos; RM: rendimiento de masa; PP: pérdida de peso; RTF: rendimiento tortilla fría; L\* tortilla: luminosidad

En la Tabla 18, comparación de medias (DMS), mostro que el genotipo que obtuvo mayor porcentaje en humedad para nixtamal fue Gorrión con 39.67%, seguido de Cobra (37.60%) mientras que CML264 x CML311 obtuvo el porcentaje más bajo (34.02%); Salinas *et al.* (2010) reportaron valores de 49.9% y 43.9%, basándose en valores establecidos por la industria con un rango ideal de 44 a 48% de humedad; sin embargo, la norma mexicana (NMX-FF-034/2002) establece que los niveles de humedad de nixtamal deben estar entre 36 a 42%, los genotipos de esta investigación presentaron valores entre 18.32 y 18.69. Gorrión tuvo 2.32% de pérdida de sólidos comparado con CML264 x CML311 que obtuvo el nivel más alto con 2.37%, seguido de Cobra con 1.94%, siendo este el de menor porcentaje y el más

adecuado debido a esto. Sierra-Macías *et al.* (2010) obtuvieron porcentajes de pérdida de sólidos en híbridos de los 3.0% a 3.6%, y para variedades amarillas 2.9% aproximadamente; el valor establecido por la norma NMX-FF-034 del 2002 es de <5.0%, lo que indica que los genotipos cumplen con esta condición. CML264 X CML311 fue el que obtuvo mayor rendimiento de masa con 1.79, seguido de Gorrión con 1.54, comparado con Cobra que obtuvo el rendimiento más bajo con 1.51. El valor establecido por la industria en mayor o igual a 1.8, sin embargo, Salinas *et al.* (2010) reportaron variedades con valores de hasta 1.7, dejando a los genotipos de esta investigación con rendimientos bajos.

Para cohesividad, el genotipo con promedios mayores se presentó en CML264 x CML311 con 33.24 g, seguido de Gorrión (0.38 g); en cuanto adhesividad, todos los genotipos obtuvieron resultados negativos, encontrando al más cercano al testigo CML264 x CML311 con un valor de -0.74 g, mientras que el más lejano fue Gorrión con -36.18 g, sin embargo, no hay un dato preciso que pueda explicar el porqué de las variaciones dentro de estas variables analizadas, según Jiménez *et al.* (2012), las propiedades de textura, así como la cohesividad y adhesividad, varían según los diferentes genotipos de maíz. Por otra parte, Rodríguez (2018), comentaron que la cohesividad es el efecto de la fuerza de los enlaces internos que mantiene la estructura entre las moléculas que conforman la masa, teniendo valores de cohesividad para nixtamal de un mínimo de 0.07 y un valor máximo de 0.2; en cuanto a la adhesividad se destaca que es la propiedad que hace que se unan todos los componentes del grano en la masa y para obtener un buen nivel de esta variable, el almidón durante la nixtamalización se debe gelatinizar parcialmente. También Gaytán-Martínez *et al.* (2011) reportaron valores de 0.2 para cohesividad y para adhesividad valores entre 0.21 a 0.31, añadiendo que un factor importante para la alteración de esta variable radica en el tiempo de cocción y en la humedad. El genotipo con mayor pérdida fue Cobra con 25.25 %, seguido de Gorrión con 24.56 %, mientras que CML262 x CML311 fue el genotipo con menos pérdida con valor de 22.32%. Rodríguez (2018), valores que oscilaban entre los 20.86 y 17.65%,

concluyendo que una masa con un alto porcentaje de materia seca contendrá mayor cantidad de agua y la pérdida de esta será menor durante el cocimiento, esto en comparación con una masa de menor porcentaje en materia seca. (Figuroa, 2016) sugirió que el porcentaje de la pérdida de agua durante el cocimiento de la tortilla se ve reflejado en el rendimiento total. CML264 X CML311 fue el genotipo que obtuvo mayor rendimiento en tortilla con un valor de 1.39%, seguido de Gorrión con 1.16%, dejando a Cobra con 1.12% como el genotipo con menor rendimiento. Salinas *et al.* (2010) obtuvieron rendimientos contrastantes que oscilaban entre 1.3 a 1.6%, por otra parte, Sierra *et al.* (2010) obtuvieron resultados de 1.43 a 1.55%; dado esto a que la NMX-FF-034/1 (2002) refiere que los valores deben ser mayor o igual a 1.5%, por lo cual se comprobó que los genotipos de esta investigación tuvieron rendimientos ligeramente bajos.

En la prueba de elongación de tortilla TPA, CML264 x CML311 ocupó más gramos fuerza para romper la tortilla con 455.02 g seguido por Cobra con 447.86 g, mientras que la tortilla más resistente fue la elaborada con Gorrión 24.56g, esto concordó con lo referido por Rodríguez (2018), quien demostró que a menor fuerza de rompimiento mayor suavidad en la tortilla, debido a que la fuerza de corte está relacionada con el grado de dureza de la tortilla, así como los cambios físicos y químicos que el grano presenta durante su procesamiento; también comentó que entre más suave y blanda sea la tortilla, se requiere menos trabajo para su masticación y por lo tanto el producto será de mejor calidad. Por otra parte, la tortilla con mayor luminosidad, es decir, con mayor blancura, fue la elaborada con CML264 x CML311 con 74.92, siendo evidente esto debido a que el testigo es un genotipo blanco, seguido de Cobra con 70.16, y el menos blanquizco fue Gorrión con 69.73. CIMMYT (2016) maneja niveles de 69.5 en L\*, mientras que Sierra-Macías *et al.* (2010) luminosidad en sus materiales a 2 h de elaborada la tortilla, para genotipos blancos, niveles de 90.6 a 91.4, y en genotipos amarillos valores de 80.8; cabe destacar que no hay un valor establecido por alguna norma para esta característica.



**Tabla 18.** Comparación de medias de perfil de textura de masa-tortilla.

Genotipo	HN (%)	PS (%)	RM	Adhesividad (g)	Cohesividad (g)	PP (%)	RTF (%)	TPA (gfza)	L* Tortilla
<b>Cobra</b>	37.60 b	1.94 b	1.51 b	-16.91 b	0.29 a	25.25 a	1.12 b	447.86 a	70.16 b
<b>Gorrión</b>	39.67 a	2.32 a	1.54 b	-36.18 c	0.38 a	24.56 a	1.16 b	222.97 b	69.73 c
<b>CML264 x CML311</b>	34.02 c	2.37 a	1.79 a	-0.74 a	33.24 a	22.32 b	1.39 a	455.02 a	74.92 a
<b>DMS (0.05)</b>	1.13	0.11	0.10	17.32	56.96	2.48	0.09	104.13	0.48

Medidas con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa. HN: humedad de nixtamal; TPA: elongación tortilla; PS: pérdida de sólidos; RM: rendimiento de masa; PP: pérdida de peso; RTF: rendimiento tortilla fría; L\* tortilla: luminosidad

En la Tabla 19 se muestran la comparación de densidades, 80 mil plantas no hubo significancia en las variables evaluadas, sin embargo, solo hubo diferencias en TPA en las densidades de 90 y 100 mil plantas. Estos resultados sugieren que para perfil de textura es indiferente considerar este parámetro de densidades, lo cual, en la parte de establecimiento de campo, pudiera ser más factible considerar diferentes densidades de población debido a las competencias entre plantas, por lo que la utilización de granos no puede ser alternativa favorable para este factor.

**Tabla 19.** Comparación de medias en tres densidades de plantas en el perfil de textura.

Genotipo	Adhesivida			Cohesivida		PP (%)	RTF (%)	TPA (gza)	L* Tortilla
	HN (%)	PS (%)	RM	d (g)	d (g)				
<b>80 mil plantas</b>	18.63 a	1.11 a	0.82 a	-8.98 a	16.65 a	12.24 a	0.62 a	223.83 a	35.82 a
<b>90 mil plantas</b>	18.69 a	1.12 a	0.83 a	-7.03 a	0.16 a	12.30 a	0.62 a	180.97 ab	35.73 a
<b>100 mil plantas</b>	18.32 a	1.08 a	0.77 b	-10.89 a	0.15 a	11.52 a	0.59 a	158.12 b	35.85 a
<b>DMS (0.05)</b>	0.52	0.05	0.04	8.13	27.3	1.16	0.04	49.23	0.23

Medidas con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa.

HN: Humedad de nixtamal; TPA: elongación tortilla; PS: Perdida de solidos; RM: Rendimiento de masa; PP: Pérdida de peso; RTF: Rendimiento tortilla fría; L\* tortilla: Luminosidad

La tabla 20 muestra la interacción genotipo-densidad en la evaluación de perfil de textura en masa y tortilla, donde se observa que las mejores densidades para Cobra fueron 80 mil y 90 mil, Gorrión no presento diferencia entre sus densidades, mientras que para CML264 x CML311, las densidades que obtuvieron mejores promedios en las variables analizadas fueron 80 mil y 90 mil.

**Tabla 20.** Interacción genotipo-densidad en perfil de textura en masa-tortilla.

Genotipo	Densidad	HN (%)	PS (%)	RM	Cohes. (g)	Adhes. (g)	PP (%)	Fuerza		L* Tortilla
								TPA (gfza)	RTF (%)	
<b>Cobra</b>	1	38.53	1.97	1.47	0.27	-22.41	25.89	486.32	1.09	70.09
	2	38.14	2.28	1.55	0.28	-7.24	26.06	502.98	1.15	70.67
	3	36.12	1.57	1.50	0.30	-21.07	23.80	354.25	1.14	69.72
<b>Gorrión</b>	1	39.19	2.21	1.61	0.40	-31.44	25.00	325.67	1.20	69.75
	2	40.09	2.25	1.62	0.42	-34.69	24.06	165.54	1.23	69.29
	3	39.73	2.25	1.40	0.31	-42.43	24.61	177.70	1.05	70.16
<b>CML264 X CML 311</b>	1	34.07	2.48	1.85	99.20	-0.07	22.55	530.98	1.43	75.08
	2	33.92	2.23	1.82	0.26	-0.30	23.67	417.27	1.39	74.42
	3	34.08	2.41	1.71	0.27	-1.85	20.73	416.78	1.36	75.27

HN: Humedad de nixtamal; TPA: elongación tortilla; PS: Perdida de solidos; RM: Rendimiento de masa; PP: Pérdida de peso; RTF: Rendimiento tortilla fría; L\* tortilla: Luminosidad

## VI. CONCLUSIONES

1. Los genotipos que obtuvieron mejores resultados de calidad fisicoquímica fueron Cobra y Gorrión, presentando los mejores promedios en la mayoría de las pruebas realizadas, comparándose con CML264 x CML311 quien fue el testigo.
2. En el perfil de textura, Gorrión fue el genotipo que destacó, siendo más sobresaliente en humedad de nixtamal, pérdida de sólidos y rendimiento de tortilla, mientras que Cobra tuvo mayor pérdida de sólidos y obtuvo mayor nivel de luminosidad.
3. En densidades, 80 mil plantas fue la que obtuvo mayor calidad física, mientras que, para la calidad química, la densidad sobresaliente fue 90 mil plantas; tanto 80 mil y 90 mil fueron mejores en todas las variables de perfil de textura.

**VII. LITERATURA CITADA**

- Agama-Acevedo, E., Juárez-García, E., Evangelista-Lozano, S., Rosales-Reynoso, O., Bello-Perez, L. (2013). Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Agrociencia*, 47(1), pp. 1-12.
- Agrosintesis. (2016). Demanda de maíz amarillo. Recuperado el 20 de agosto 2017, <https://www.agrosintesis.com/la-demanda-esta-maiz-amarillo/#.XXFMWihKhac>
- Aguiluz, A. (1998). Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en ambientes de Centroamérica, Panamá y el Caribe en 1996. *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), pp. 28-37.
- Amigón Juárez, J. (2018). Calidad de Semilla y Comportamiento de Mestizos de Maíz en Diferentes Ambientes. Instituto Tecnológico de Roque, 21-26.
- Antuna, O., Rodríguez, S., Arámbula, G., Palomo, A., Gutiérrez, E., Espinoza, E., Andrio, E. (2008). Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Fitotecnia mexicana*, 31(1), pp. 23-27.
- Barbieri, P., Echeverría, H., Sainz, H. (2003). Respuesta del cultivo de Maíz bajo siembra directa de la fuente y al método de la aplicación de nitrógeno. *Asociación Argentina de la Ciencia del suelo*, 21(1), pp. 18-23.
- Bello, A., Osorio, P., Agama, E., Núñez, C., Paredes, O. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masa y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36(1), pp.319-328.
- Bergvinson, D., Ramírez, A., Flores, D., García-Lara, S. (2007). Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos. México, D.F.: CIMMYT, pp.2-14.
- Billeb, A., Bressani, R. (2001). Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(1), pp.86-94.
- Bush, G. (2005). Fertilización nitrogenada en maíz en la región chaqueña. Análisis de respuesta del cultivo mediante un balance de nitrógeno. Argentina: IPNI, pp.12-23.

- Cabrera-Toledo, J. M., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., García-De los Santos, G., Vauera-Huerta, H. (2016). Calidad de grano de los maíces criollos sobresalientes de la raza Zapalote Chico. *Colegio de Posgraduados*, 61 (1), pp. 63-72.
- Castillo, V., Ochoa, M., Figueroa, C., Delgado, L., Gallegos, I., Morales, C. (2009). Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59 (1), pp. 425-432.
- Castro, E. (2007). *Parámetros mecánicos y textura de los alimentos*. Chile: Universidad de Chile: Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas, pp. 110-157.
- Cervantes-Ortíz, F., Covarrubias-Prieto, J., Rangel-Lucio, J., Terrón-Ibarra, A., Mendoza-Elos, M., Preciado-Ortíz, R. (2013). Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía mesoamericana*. 24(1), pp. 101-110.
- Chura, J., Tejada, J. (2014). Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de la Molina, Perú. *Idesia (Arica)*. 32(1), pp. 113-118.
- CIMMYT. (2016). *Calidad de grano para técnicos postcosecha*. Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo, pp. 1-52.
- CONACYT. (2014). *Maíz*. México, CONACYT. Recuperado el 14 de septiembre del 2017, de <http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- Coutiño, B., Vázquez, G., Torres, B., Salinas, Y. (2008). Calidad del grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. *Fitotecnia mexicana*, 31(3), pp. 9-14.
- Cruz-Lázaro, E., Córdoba-Orellana, H., Estrada-Botello, M., Mendoza-Palacios, J., Gómez-Vázquez, A., Brito-Manzano, N. (2009). Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y ciencia*, 25(1), pp. 93-98.

- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P., Barrón-Hoyos, J. M., Figueroa-Cárdenas, J. d., López-Cervantes, J. (2013). La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados, una revisión. *Fitotecnia mexicana*, 36(4), pp. 429-437.
- Espinoza, A., Tadeo, M., Gómez, N., Sierra, M., Virgen, J., Palafox, A., Caballero, F., Vázquez, G., Rodríguez, F., Valdivia, R., Arteaga, I., González, I. (2011). `V-55 A´ Variedad de maíz de grano amarillo para los valles altos de México. *Fitotecnia mexicana*. 34(2), pp. 149-150.
- FAO. (2008). El maíz en la nutrición humana. México. FAO, Recuperado el 18 de septiembre del 2017, de <http://www.fao.org>
- Figueroa, F. (2016). Harinas de maíz nixtamalizadas y modificadas para la elaboración de masa y tortillas. México: Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional, pp. 13-28.
- FIRA. (2016). Panorama Agroalimentario. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. FIRA, pp. 14-27.
- Fuentes, L. (2012). Comparación de cualidades nutricionales de once variedades de maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 9, pp. 50-52.
- García, A., Mandujano, M. (2016). Evaluación agronómica y de rendimiento de híbridos dobles experimentales en el Instituto Tecnológico de Roque. Instituto Tecnológico de Roque, pp. 7-14.
- García, A., Vázquez, L. (2016). Masa y harina de maíz nixtamalizado. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), pp. 78 - 82.
- Gaytán-Martínez, M., Figueroa, J., Vázquez-Landaverde, P., Morales-Sánchez, E., Martínez-Flores, H., Reyes-Vega, M. (2012). Caracterización fisicoquímica, funcional y química de harinas nixtamalizadas de maíz obtenidas por calentamiento óhmico y proceso tradicional. *CyTA Journal of Food*, 10(3), pp. 182-195.

- Gaytán-Martínez, M., Martínez-Bustos, F., Morales, S. (2011). Aplicación de un proceso de cocimiento dieléctrico en la elaboración de harinas instantaneas de maíz amarillo para preparación de frituras de masa y tortillas. Archivos latinoamericanos de nutrición, 50(4), pp.366-375.
- González, M. (2010). Manual de prácticas de Tecnología de Cereales. México: Universidad Autónoma Chapingo, pp. 14-32.
- Gutiérrez, J. R., Luna, M. (2002). Riego, densidad de plantas y fertilización nitrogenada en producción de maíz híbrido en Zacatecas. Agricultura Técnica en México, 28(2), pp. 95-103.
- Gutiérrez-Coronado, M., Coronado-Amaya, E., Vázquez-Ortíz, F., López-Franco, Y., Ortega-Corona, A. (2010). Caracterización física y química de maíz de calidad proteínica mejorada. Journal of food, 7(2), pp. 111 - 118.
- Ibérica, P. (2015). Instrucciones de uso de la balanza para medición de humedad. PCE Ibérica, pp. 3-32.
- Imbachí, P. (2011). Evaluación de la calidad de recetas típicas del departamento de Cauca-Colombia elaboradas con maíz común y con maíz biofortificado con mas lisina y triptófano. Universidad de Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias, p. 75.
- ISTA. (2015). Validated Seed Health Testing 2015. International Rules for Sees Testing , pp. 1-14.
- Jiménez-Juárez, J., Arámbula-Villa, G., Cruz-Lázaro, E., Aparicio-Trapala, M. (2012). Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del tropico mexicano. Universidad y ciencia, 7(2), pp.145-152.
- Luchsinger, A., Camilo, F. (2008). Rendimiento de maíz dulce y contenido de sólidos solubles. IDESIA, 26(3), pp. 21-29.
- Mathias, A. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. Agrosur. 42(2), pp. 39-48.
- Méndez, J., Sandoval, A.(2006). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Venezuela: Equinoccio. Pp. 42-57.



- Mendoza-Elos, M., Mosqueda-Villagómez, C., Rangel-Lucio, J. A., López-Benítez, A., Rodríguez-Herrera, S., Latournerie-Moreno, L., Moreno-Martinez, E. (2006). Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de Maíz normal y QPM. *Agricultura Técnica en México*, 32(1), pp. 89-99.
- NM-F-089-S-1978. (1978). Determinación de extracto etéreo (método soxhlet) en alimentos. Normas mexicanas. Dirección general de normas, pp. 1-3.
- NMX-F-066-S-1978. (1978). Determinación de cenizas en alimentos. Dirección general de normas, pp. 1-2.
- NMX-F-068-S-1980. (1980). NMX-F-068-S-1980. Alimentos. Determinación de proteínas. Normas Mexicanas, pp. 1-3.
- NMX-F-103-1982. (1982). Norma Mexicana de alimentos, frutas y derivados. Determinación de grados Brix. Normas mexicanas. Dirección general de normas, p. 2.
- NMX-FF-034/1-2002. (2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano, cereales. Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado, especificaciones y métodos de prueba. Normas mexicanas oficiales, pp. 1-16.
- Oropesa, J. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento y calidad en trigo y cebada. Pontificia Universidad católica Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias, p. 30.
- Pagani, A., Sainz, H., Barberi, P. (2008). Dosis óptima económica de nitrógeno en Maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*, 39, pp.183-193.
- Palacios-Rojas. (2018). Calidad nutricional e industrial de Maíz: Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz "Evangelina Villegas". CIMMYT, pp. 35-56.
- Rodriguez, S. (2018). Determinación de la calidad de nixtamalización de una cruz simple y sus progenitores en maíz QPM. Instituto Tecnológico de Roque, pp. 13 - 14.

- Roque-Maciel, L., Arámbula-Villa, G., López-Espíndola, M., Ortiz-Laurel, H., Carballo-Carballo, A., Herrera-Corredor, A. (2016). Nixtamalización de cinco variedades de maíz con diferente dureza de grano: impacto en consumo de combustible y cambios fisicoquímicos. *Agrociencia*, 50(6), pp. 727-745.
- SAGARPA. (2006). Informe de la calidad de trigo. *Oeidrus*, pp.1-5.
- SAGARPA. (2006). Informe de la calidad del trigo (ciclo otoño/invierno 2005/2006). México: Sagarpa, pp.1-4.
- Salazar-Martínez, J., Rivera-Figueroa, C. H., Arévalo-Gallegos, S., Guevara-Escobar, A., Malda-Barrera, G., Racón-Cruz, Q. (2015). Calidad del nixtamal y su relación con el ambiente de cultivo de maíz. *Fitotecnia mexicana*, 38(1), pp.67-73.
- Salinas, Y., Gómez, N., Cervantes, J., Sierra, M., Palafox, A., Betanzos, E., Coutiño, B. (2010). Calidad Nixtamalera y Tortillera en Maíces del Trópico Húmedo y Sub-Húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), pp. 509-523.
- Salinas, M., Vázquez, C. (2006). Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto técnico no. 23. Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias, p. 91.
- Salinas-Moreno, Y., Aguilar-Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 2(1), pp. 5-11.
- Salinas-Moreno, Y., López-Reynoso, J., González-Flores, G., Vázquez-Carrillo, G. (2006). Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia*, 41(3), pp. 295-305.
- Salvagiotti, F., Castellarin, J., Ferragut, F., Pedrol, H. (2011). Dosis óptima económica de nitrógeno en la región pampeana norte. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*, 29(2), pp. 199-212.
- SIAP. (2019). Producción agrícola. Recuperado el 15 de octubre del 2019, de <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/producción-agricola-33119>.

- Sierra-Macías, M., Palafox-Caballero, A., Vázquez-Carrillo, G., Rodríguez-Montalvo, F., Espinosa-Calderon, A. (2010). Caracterización agronomica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía Mesoamericana*, 21(1), pp. 21-29.
- SNICS. (2018). ¿El contenido de humedad afecta la calidad de la semilla? Recuperado el 16 de abril del 2019, de [www.gob.mx/snics/articulos/el-contenido-de-humedad-afecta-la-calidad-de-la-semilla?idiom=es](http://www.gob.mx/snics/articulos/el-contenido-de-humedad-afecta-la-calidad-de-la-semilla?idiom=es)
- Tirso, F. (2017). Evaluación de tres densidades de población en hembra de maíz para la producción y calidad de la semilla de un híbrido simple. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Division de Agronomía. Dpto. Fitomejoramiento, pp. 9-25.
- UNAM. (2008). Fundamentos y Tecnicas de Analisis de Alimentos; Facultad de Química. UNAM, pp. 6-58.
- Vazquez, M., Mejía, H., Tut, C., Gómez, N. (2012). Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los valles altos centrales de México. *Fitotecnia Mexicana*, 35(1), pp. 23-31.
- Vázquez, M., Mejía, H., Salinas, Y., Santiago, D. (2013). Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteica. *Fitotecnia Mexicana*, 36(3), pp. 225-232.
- Vázquez, M., Santiago, D., Salinas, Y., Rojas, I., Arellano, J., Velázquez, G., Espinosa, A. (2012). Interacción genotipo - ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en valles altos de Tlaxcala, México. *Fitotecnia Mexicana*, 35(3), pp. 229-237.
- Vázquez-Carrillo, M., Arellano-Vázquez, J., Santiago-Ramos, D. (2014). Rendimiento y calidad de grano y tortilla de maíces híbridos de Valles Altos de México crecidos en riego y temporal. *Fitotecnia Mexicana*, 38(1), pp. 75-83.
- Vázquez-Carrillo, M., Preciado-Ortíz, R., Santiago-Ramos, D., Palacios-Rojas, N., Terrón-Ibarra, A., Hernández-Calette, A. (2018). Estabilidad del rendimiento y calidad de grano y tortilla de nuevos híbridos de maíz con valor agregado para el subtrópico de México. *Fitotecnia Mexicana*, 41(4), pp. 509-518.

Vivek, B., Krivanek, A., Palacios-Rojas, N., Twumasi-Afriyie, S., Diallo, A. (2008).  
Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM). Centro Internacional de  
Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1(2), pp. 3-14.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**FERTILIZACIÓN Y PRE-ACONDICIONAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO EN LA  
CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE CHILE HABANERO**

**QUE PRESENTA**

**JOSE LUIS CASTRO ALVARADO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: Dr. JUAN CARLOS RAYA PEREZ  
CO-DIRECTOR: M.C. FRANCISCO CHABLÉ MORENO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ABRIL DE 2019**

La tesis **FERTILIZACIÓN Y PRE-ACONDICIONAMIENTO FÍSICO – QUÍMICO EN LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA DE CHILE HABANERO**, fue realizada por el alumno **Jose Luis Castro Alvarado**, bajo la dirección del Dr. Juan Carlos Raya Pérez y asesoría de M.C. Francisco Chablé Moreno, M.C. Jorge Covarrubias Prieto, bajo la línea de investigación de biotecnología de semillas y sistema de producción agrícola sustentable, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan Carlos Raya Pérez**  
**Cédula: 4798249**

**Asesor/Director:**

\_\_\_\_\_  
**M.C. Francisco Chablé Moreno**  
**Cédula: 3614215**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_  
**M.C. Jorge Covarrubias Prieto**  
**Cédula: 5007776**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y como más importante me gustaría agradecer al CONACYT por la beca recibida para realizar mis estudios. Segundo mi co-director de tesis M.C. Francisco Chablé Moreno, Por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos científicos, así como también haber tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis. Agradecer también a mi Director Dr. Juan Carlos Raya Pérez y Asesor M.C. Jorge Covarrubias Prieto por el apoyo brindado por la elaboración de la tesis.

También agradezco al Instituto Tecnológico de Roque y al Departamento de Posgrado por haberme aceptado y abierto las puertas para poder estudiar mi maestría, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

## DEDICATORIA

Les dedico esta tesis a mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, por proporcionar los recursos necesarios para realizar mis estudios. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Por la herencia más valiosa que pudiera recibir, fruto del inmenso apoyo y confianza que en mi se depositó, para que los esfuerzos y sacrificios hecho por mí no fueren en vano.



## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
SUMMARY .....	ix
I.INTRODUCCIÓN .....	10
II. OBJETIVOS .....	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
2.3. Hipótesis .....	12
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
3.1 Origen del cultivo de chile.....	13
3.2 Importancia del chile habanero.....	13
3.3 Descripción botánica .....	14
3.4 Floración y fructificación .....	15
3.5 Semilla .....	16
3.6 Suelo.....	16
3.7 Temperatura .....	16
3.8 Fertilización.....	17

3.8.1 Nitrógeno.....	17
3.8.2 Fósforo .....	18
3.8.2 Potasio .....	18
3.8.4 Micronutrientes.....	19
3.9 Densidad de siembra .....	19
3.10 Formación de semilla.....	20
3.11 Germinación .....	20
3.11.1 Latencia.....	21
3.11.2 Proceso de germinación.....	21
3.11.3 Pruebas de germinación .....	21
3.12 Calidad de la semilla.....	22
3.12.1 Calidad Genética .....	23
3.12.2 Calidad fisiológica .....	23
3.12.2.1 porcentaje de germinación .....	24
3.11.2.2 Vigor .....	24
3.11.3 Calidad Sanitaria .....	24
3.11.4 Calidad Física.....	25
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
4.1 Ubicación del sitio experimental .....	26
4.2 Características generales del suelo y clima.....	26
4.3 Descripción general de los genotipos de chile habanero.....	27
4.4 Ensayo 1 Trasplante de dos genotipos con diferentes niveles de fertilización	28
4.4.2 Siembra.....	28
4.4.3 Acondicionamiento del área experimental.....	28

4.4.4 Preparación del sustrato .....	28
4.4.5 Trasplante .....	28
4.4.6 Fertilización .....	29
4.4.7 Riego.....	29
4.4.8 Control de malezas .....	29
4.4.9 Control de plagas .....	30
4.4.10 Diseño experimental.....	30
4.4.11 Variables .....	30
4.5 Ensayo 2. Prueba de germinación .....	33
4.5.1 Preparación del papel germinador .....	33
4.5.2 Metodología de germinación estándar de técnica sobre papel .....	33
4.5.3 Selección de semilla.....	33
4.5.4 Establecimiento de la semilla .....	34
4.5.5 Incubación.....	34
4.5.6 Riego.....	34
4.5.7 Diseño experimental.....	34
4.5.8 Variables .....	35
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
5.1 Análisis de varianza de efecto de la fertilización química con macronutrientes en la producción de semillas de chile habanero .....	36
5.2 Reacondicionamiento de semillas para la germinación de chile habanero en laboratorio.....	42
VI. CONCLUSIONES .....	49
VII. LITERATURA CITADA.....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Genotipos evaluados en campo, genealogía y características.....	27
Tabla 2 Tratamientos de fertilización evaluados en campo y en la calidad de semilla de chile habanero (Roque, Guanajuato, 2017). .....	29
Tabla 3 Tratamientos evaluados para la prueba de germinación estándar de semilla de habanero en la técnica sobre papel. ....	34
Tabla 4 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza del efecto de macro elementos en variables fenológicas de dos genotipos de chile habanero evaluados bajo condiciones de invernadero. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2017. ....	36
Tabla 5 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza del efecto de macro elementos en la calidad física de fruto y semilla en dos genotipos de chile habanero evaluados bajo condiciones de invernadero. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2017.....	37
Tabla 6 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey en la fertilización con macroelementos en variables fenológicas de fruto y semilla de dos genotipos de chile habanero evaluados bajo condiciones de invernadero. Roque, Celaya, Guanajuato. (Ciclo P-V, 2017).....	38
Tabla 7 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la calidad física de fruto y semilla con diferentes fórmulas de fertilización con macroelementos. Roque, Celaya, Guanajuato. (Ciclo P-V, 2017). ....	39
Tabla 8 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la interacción de genotipo y fertilización en la calidad de fruto y semilla de chile habanero. Roque, Celaya, Guanajuato. (Ciclo P-V, 2017) .....	40
Tabla 9 Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza para la prueba de germinación de chile habanero bajo condiciones de laboratorio. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2017 .....	43

Tabla 10 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la germinación de chile habanero bajo condiciones de laboratorio de dosis de fertilización de macro elementos. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2018..... 44

Tabla 11 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la germinación de dos genotipos con acondicionamiento de semilla en chile habanero bajo condiciones de laboratorio. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2018. .... 45

Tabla 12 Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la interacción fertilización \* acondicionamiento y fertilización \* genotipo de germinación de chile habanero bajo condiciones de laboratorio. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2018..... 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del invernadero donde se estableció el experimento. .... 26

## RESUMEN

La germinación es un mecanismo que permite la reanudación de la actividad celular del embrión, inicia con la emisión de la radícula y continua con el desarrollo de las estructuras esenciales del embrión, que permite a una semilla de producir una planta normal. Al evitar deficiencias de nutrientes en las plantas madres especialmente durante la temporada de crecimiento final, es importante no solo para un mejor rendimiento sino también para mejorar la viabilidad y el vigor de la semilla. En general las semillas pueden clasificarse como ortodoxas y recalcitrantes. En este caso la semilla de chile habanero se considera ortodoxa, ya que puede conservarse en condiciones controladas; sin embargo, algunas especies presentan problemas de perder pronto su viabilidad, para mejorar esta condición se puede realizar tratamientos físicos y químicos, entre los cuales que se pueden realizar aplicaciones de  $\text{KNO}_3$ . En general las semillas del género *Capsicum* presentan un grado de latencia ocasionado por la presencia de una cera epicuticular que la hace impermeable la semilla al agua. Para la evaluación de las 6 dosis de fertilización de NPK en dos materiales de chile habanero se realizó en un diseño de bloques completos al azar. (Factor A constituida por 6 tratamientos de fertilización; B conformada por 2 genotipos) se consideró el establecimiento de dos repeticiones de 5 plantas cada una, la unidad experimental fue de 10 plantas por tratamiento bajo condiciones de invernadero. Para el reacondicionamiento de semilla se estableció bajo un experimento trifactorial con diseño completamente al azar, (Factor A constituida por 6 tratamientos de fertilización; B conformada por 3 tratamientos a la semilla; C conformada por el material biológico.) con 3 tratamientos y se consideró el establecimiento de dos repeticiones de 100 semillas cada una, la unidad experimental fue de 200 semillas por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: Altura de planta, Longitud de primer entrenudo, Longitud de segundo entrenudo, Longitud de tercer entrenudo, Longitud de hoja, Longitud de hoja 2, Número de flores, Número de frutos en el primer nudo, Número de frutos en el segundo nudo, Número de fruto en el tercer entrenudo, Longitud de fruto, Ancho de fruto, Peso de fruto, Número de semillas en el fruto y Germinación. para el factor fertilización, los tratamientos 2 y 3 que corresponde a las fórmulas de fertilización 200-30-10 y 160-90-40 presentaron mayor porcentaje de germinación que las demás dosis de fertilización. Las dosis de fertilización 2, 3, 4, 5 y 6 presentaron los valores mayores de PF con rangos de 4.5 a 5.25. En la variable NSF, las dosis 2, 4, 5 y 6 presentaron el mayor número de semillas por fruto, con rango de 17 a 21.25; parece que las dosis altas de N y P son las que tendieron a que el número de semillas fuera menor. En el factor acondicionamiento, el pre-acondicionamiento 2 ( $\text{KNO}_3$  1%) presentó un valor medio superior en la fecha de muestre 7 y 14 días con un 40.29 y 67.16 % de semillas germinadas, por otro lado el empleo del tratamiento 2 y 3 ( $\text{KNO}_3$  1% y Temperatura  $55^\circ\text{C}$  5 min) mostro los valores medios más altos de germinación de la fecha de muestreo a los 21 días con valores de 84.95 y 84.91%. en tanto el tratamiento 1 (Testigo), fue donde se logró los valores medios bajos de 74.62%. esto nos indica que

una buena nutrición a las plantas madres en conjunto con un pre-acondicionamiento de semillas se incrementa el porcentaje de germinación de chile habanero.



## SUMMARY

Germination is a mechanism that allows the resumption of the cellular activity of the embryo, starts with the emission of the radicle and continues with the development of the essential structures of the embryo, which allows a seed to produce a normal plant. By avoiding nutrient deficiencies in the mother plants especially during the final growing season, it is important not only for a better yield but also to improve the viability and vigor of the seed. In general, seeds can be classified as orthodox and recalcitrant. In this case the habanero chile seed is considered orthodox, since it can be conserved in controlled conditions; However, some species have problems of losing their viability soon, to improve this condition can be made physical and chemical treatments, among which KNO<sub>3</sub> applications can be made. In general, seeds of the genus *Capsicum* have a degree of latency caused by the presence of an epicuticular wax that makes the seed impermeable to water. For the evaluation of the 6 doses of fertilization of NPK in two materials of habanero pepper was carried out in a design of complete blocks at random. (Factor A consisting of 6 fertilization treatments, B consisting of 2 genotypes) was considered the establishment of two replications of 5 plants each, the experimental unit was 10 plants per treatment under greenhouse conditions. For seed reconditioning, it was established under a trifactorial experiment with completely random design, (Factor A constituted by 6 fertilization treatments, B conformed by 3 treatments to the seed, C formed by the biological material.) With 3 treatments and was considered the establishment of two repetitions of 100 seeds each, the experimental unit was 200 seeds per treatment. The variables evaluated were: Plant height, first internode length, internode second length, third internode length, leaf length, leaf length 2, number of flowers, number of fruits in the first node, number of fruits in the second knot, number of fruit in the third internode, length of fruit, width of fruit, weight of fruit, number of seeds in the fruit and germination. for the fertilization factor, treatments 2 and 3 corresponding to fertilization formulas 200-30-10 and 160-90-40 presented a higher percentage of germination than the other fertilization doses. Fertilization doses 2, 3, 4, 5 and 6 showed the highest values of FP with ranges from 4.5 to 5.25. In the NSF variable, doses 2, 4, 5 and 6 presented the highest number of seeds per fruit, with a range of 17 to 21.25; it seems that high doses of N and P are those that tended to lower the number of seeds. In the conditioning factor, pre-conditioning 2 (KNO<sub>3</sub> 1%) had a higher average value on the sample date of 7 and 14 days with 40.29 and 67.16% of germinated seeds, on the other hand the use of treatment 2 and 3 ( KNO<sub>3</sub> 1% and Temperature 55 ° C 5 min) showed the highest average values of germination of the sampling date at 21 days with values of 84.95 and 84.91%. while treatment 1 (Control), was where the low average values of 74.62% were achieved. This indicates that a good nutrition to mother plants together with a pre-conditioning of seeds increases the germination percentage of habanero pepper.

## I.INTRODUCCIÓN

El género *Capsicum* pertenece a la familia de las solanáceas que incluyen un promedio de 25 especies de las cuales 20 son silvestres y 5 domesticadas, siendo estos el *Capsicum annuum* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L., y *C. pubescens*. El chile habanero es una especie ampliamente cultivada en las áreas tropicales, donde presenta una amplia variabilidad, debido principalmente a su sistema de cultivo, tanto como sistema de milpa y en condiciones de traspatio. En el 2015 la producción nacional fue de 9,351 t, con un valor en el mercado de 166.9 millones de pesos. El chile habanero extrae del suelo comparativamente, pocas cantidades de minerales. No obstante, por tener un sistema radicular desarrollado y a causa de su rápido crecimiento y desarrollo, la planta se muestra muy exigente respecto al balance nutricional de N P K. El nitrógeno es un elemento esencial en la nutrición vegetal, ya que participa en numerosas funciones de la planta, en la que destaca la síntesis de proteínas, los aminoácidos, los ácidos nucleicos y la clorofila; es por esto que este elemento es asociado con el crecimiento vegetativo. El fósforo es el segundo nutrimento mineral en importancia en la agricultura nacional y mundial; la razón es porque el fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo y rápidamente pasa a formas más complejas que son de difícil absorción para las plantas. Al evitar deficiencias de nutrientes en las plantas madres especialmente durante la temporada de crecimiento final, es importante no solo para un mejor rendimiento sino también para mejorar la viabilidad y el vigor de la semilla; una buena nutrición proporcionada a las plantas progenitoras de semillas mejora los aspectos de la calidad de las semillas. La semilla es lisa, de forma ovalada, con tamaño de 2.5 a 3.5 mm, testa de color café claro a oscuro, esta especie presenta latencia durante su germinación además de perder rápidamente su viabilidad, La calidad de semilla comprende 4 aspectos los cuales son: genéticos, fitosanitarios, físicos y fisiológicos, para ello se requiere de cuidar desde la emergencia, desarrollo, cosecha del fruto, extracción y conservación de la semilla. Durante el desarrollo de la semilla se divide en tres fases: histodiferenciación,

acumulación de reservas y adquisición de tolerancia a la desecación. En la germinación de semillas de chile inciden diversos factores, destacando la necesidad de humedad y aireación, así como un rango térmico entre 20 y 30° C . Sin el uso de factores físicos y químicos para promover la germinación, la semilla de chile habanero en condición natural puede alcanzar un 25% de germinación, debido a la presencia de una cera epicuticular que rodea a la semilla, que la hace impermeable al agua, provocando un grado de latencia definida por su incapacidad de germinar como una semilla intacta. La latencia es una medida de supervivencia de las plantas ante la presencia de determinadas condiciones climáticas adversas. Las semillas de chile presentan un efecto de latencia que inicia durante la fase intermedia de su desarrollo; esta previene la germinación cuando aún estén contenida en el fruto y planta madre. En muchos casos, la latencia continúa por un largo periodo después de la cosecha y se requiere de condiciones específicas para eliminarla, el responsable del control de la formación del embrión en la semilla y de su latencia es el ácido abscísico, su mayor contenido es cuando la semilla tiene el mayor desarrollo, después declina hasta alcanzar bajos niveles en la madurez y así permite la germinación. Cuando la latencia en las semillas se debe a condiciones de la testa, esta puede eliminarse cuando se agrieta por acciones mecánicas, químicas o por efecto del ambiente. Una semilla de calidad, requiere del tiempo preciso de extracción de la semilla, su acondicionamiento, almacenamiento y en un adecuado sistema de siembra de semillas.

## II. OBJETIVOS

### **2.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de macronutrientes N P K y el pre- acondicionamiento físico-químico en la calidad fisiológica de semillas de chile habanero.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Comparar 6 dosis de fertilización de N P K requerida de macronutrientes en la calidad fisiológica de semilla.
- Evaluar el efecto de 6 dosis de fertilización de N P K seleccionadas en el rendimiento de semilla.
- Identificar la calidad fisiológica de las semillas de dos cultivares de chile habanero.
- Realizar métodos de pre- acondicionamiento Físicos y Químicos en semilla de chile habanero en la inducción a la germinación.

### **2.3. Hipótesis**

La fertilización con macronutrientes tiene efectos sobre la calidad fisiológica de la semilla de chile habanero.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Origen del cultivo de chile

El nombre del chile proviene del náhuatl chilli, un alimento primordial de los antiguos mesoamericanos quienes, a través de métodos de selección, lograron obtener los diversos tipos de chile junto con la calabaza, el maíz, el frijol, el amaranto, jitomate cascara y el jitomate, originado entre Perú y Bolivia, y domesticado por primera vez en México. (Gómez, 2010; FAO, 2008).

En México, el chile habanero (*Capsicum chinense*) se cultiva principalmente en la península de Yucatán característico por su sabor fuerte y picante (Navarrete *et al.*, 2002)

El centro de origen de *Capsicum chinense* proviene de las tierras bajas de la cuenca Amazónica y de ahí se dispersó a Perú durante la época prehispánica. La distribución también se dirigió hacia la cuenca del Orinoco (ubicada actualmente en territorios de Colombia y Venezuela) y de ahí llevado a Cuba de donde se cree que fue introducido a la península de Yucatán (Salaya, 2010; Ruíz-Lau *et al.*, 2011).

#### 3.2 Importancia del chile habanero

SIAP (2016) reporta que en el país se establecieron 130,971 ha de chile en el 2015. La especie *Capsicum chinense* Jacq ha sido de suma importancia en los últimos años, por su uso culinario, industrial y medicinal. En México se encuentra la mayor variabilidad genética de esta especie; sin embargo, no es el principal productor, ya que ocupa el segundo lugar después de China (Pérez, 2012). La Península de Yucatán que comprende los estados de Yucatán, Campeche, Tabasco y Chiapas son los estados con mayor superficie de cultivo con un 70% de la producción nacional; Chiapas, Guerrero, Veracruz, Sinaloa, Baja California Sur, Chihuahua, Colima, Jalisco,

Michoacán, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, San Luís Potosí, Tamaulipas y Zacatecas se cultiva menor superficie (SIAP, 2010).

El chile es una hortaliza que se cultiva en los dos ciclos agrícolas y forma parte del grupo de los principales productos hortofrutícolas que se exportan. Sin embargo, el 80% de la producción nacional se consume internamente. El chile verde sigue siendo, junto con el maíz y el frijol, una importante fuente de alimentación para la población (Ruiz, 2009).

El cultivo de chile habanero no sólo es comercializado en el mercado nacional, si no también es conocido y comercializado en el mercado internacional. La industria de botanas en México es la principal demandante de chile habanero, aunque este producto se comercializa también para su consumo en fresco o en salsas. Esto representa un mercado interesante e importante para la comercialización de chile; el 75% de las exportaciones de chile fresco de México se destina a este mercado principalmente a los estados de Atlanta, California (Los Ángeles, San Francisco), Texas (Dallas), Baltimore y Chicago (Pérez, 2012).

### **3.3 Descripción botánica**

Es una planta de hábito arbustivo de ciclo anual; puede presentar una altura variable de 75 a 120 cm; el cultivo bajo condiciones de invernadero pueden alcanzar una altura de 210 cm (Navarrete *et al.*, 2002); presenta una raíz pivotante que puede alcanzar una longitud de 2 m; presenta tallos gruesos, erectos, robustos con tendencia a trifurcarse en la primera ramificación; presenta un crecimiento semi-indeterminado (Tun, 2001); las hojas son simples, lisas, alternas y de forma lanceolada, de tamaño variable; las flores son de color blanco, presentándose de 1 a 7 flores por nudo, dando lugar en promedio de tres frutos por nudo; presentan de 5 a 7 pétalos y sépalos por

flor; esto varía dependiendo de la variedad; los estigmas pueden ser blancos y/o morados (Pérez, 2012; Tun, 2001).

EL fruto es una baya hueca con tres o cuatro lóculos incompletos, en forma de trompo o acampanulada con terminación en punta; el fruto es poco carnoso, el tamaño del fruto es variable de 2 a 6 cm y ancho promedio de 2.5 a 3.0 cm; son de color verde cuando están tiernos debido a la gran cantidad de clorofila presente en el y al madurar pueden ser rojos, naranjas, amarillos, o cafés ( Ruíz-Lau *et al.*, 2011). En la parte apical del fruto se forma una estructura membranosa comúnmente denominada venas y en la base de la placenta se encuentran dispuestas las semillas; el pericarpio es poco carnoso y de grosor de 1.5 a 2.0 mm; la epidermis está compuesta por una capa de células isodiamétricas de paredes externas engrosadas en una zona de 2 a 4 capas de colénquima, que junta con la epidermis forma una cáscara fina (Tun, 2001).

El color del fruto se debe a la presencia de carotenoides y antocianinas y los diferentes colores a la combinación de ambos; su color verde claro en su estado tierno y de tonos salmón, rojo, café, amarillo o naranja al madurar (Long-Solís, 1998). Los colores amarillo, naranja y rojo en frutos de *Capsicum* son originados por los carotenoides producidos durante la maduración, los cuales tienen un inmenso valor nutricional como provitamina A y antioxidantes. Los  $\beta$ -carotenos son precursores de los pigmentos naranja y rojo en chiles. Los chiles con altas concentración de  $\beta$ -carotenos demostraron ser ricos en carotenoides totales (Wall *et al.*, 2001).

### **3.4 Floración y fructificación**

Esta etapa varía de 60 a 90 días, aunque en algunas especies puede prolongarse hasta 120 días. Para que se produzca la floración se requiere ciertas condiciones ambientales y la madurez de la planta, la cual aparece cuando la planta ha desarrollado de 8 a 12 hojas. Las flores en condiciones óptimas permanecen abiertas entre 24 a 30

horas. Los estigmas de las flores permanecen receptivos por 3 días y el polen es viable 3 días después de la apertura de los pétalos (Castellanos y Muñoz, 2003).

### **3.5 Semilla**

La semilla de chile habanero es lisa, ovalada con un tamaño de 2.5 a 3.5 mm presenta una testa de color café claro a café oscuro con un periodo de germinación que varía de entre ocho y quince días (Reveles *et al.*, 2013).

### **3.6 Suelo**

EL chile habanero se adapta y desarrolla en suelos profundos y bien drenados contextura entre lo franco limoso y franco arcilloso, con un pH desde 6.5 a 7.0, con un buen nivel de fertilidad y con una leve pendiente, no menos de 8% para evitar áreas que se inundan o se estanque el agua después de una fuerte lluvia (Pacheco, 2005).

Los suelos con buen potencial son los Luvisoles, las Rendzinas y Cambisoles tienen un potencial mediano, pero pueden obtenerse altos rendimientos a pesar de su pedregosidad y poca profundidad mediante ciertas prácticas de manejo. Los suelos considerados de bajo potencial productivo son los Litosoles, Vertisoles y Regosoles (Laborde y Pozos, 1982). Se consideran superficies no aptas las formadas por los suelos gleysoles y solonchaks, debido a que sus características no permiten el desarrollo adecuado de las plantas (Tun, 2001).

### **3.7 Temperatura**

El chile habanero es una hortaliza de clima cálido, siendo los rangos óptimos para un desarrollo favorable entre 16 y 30 °C. Las temperaturas menores de 10°C y mayores a 35°C limitan el desarrollo del cultivo (Ramírez *et al.*, 2006).

El crecimiento es bastante lento cuando las temperaturas son de alrededor de 15 °C y el crecimiento se detiene por debajo de los 10-12 °C, provocando alteraciones que dan lugar a plantas compactas y entrenudos cortos formando rosetas; la temperatura



óptima varía de 20 a 25 °C durante el día y de 16 a 18 °C durante la noche. EL cuajado de los frutos no ocurre a temperaturas inferiores a 15 °C o sobre 32 °C; la germinación y crecimiento de las plantas de chile se da bien entre los 13 a 30 °C; la temperatura, igualmente desempeña un rol importante en la producción (Olivera, 2007).

### **3.8 Fertilización**

El chile habanero extrae del suelo comparativamente, pocas cantidades de minerales. No obstante, por tener un sistema radicular desarrollado y a causa de su rápido crecimiento y desarrollo, la planta se muestra muy exigente respecto al balance nutricional de N P K (250-250-250). Tucuch *et al.* (2012) mencionan que al usar fuentes nitrogenadas consiguieron mayores rendimientos y calidad de fruto. Borges 2008 al trabajar en la demanda de K (potasio) en el cultivo de chile habanero menciona que se debe dosificar el K en las etapas de adaptación, desarrollo y fructificación. En términos generales, este cultivo es exigente en potasio, nitrógeno, calcio, magnesio y fósforo (Prado, 2006).

#### **3.8.1 Nitrógeno**

El nitrógeno es un elemento esencial en la nutrición vegetal, ya que participa en numerosas funciones de la planta, en la que destaca la síntesis de proteínas, los aminoácidos, los ácidos nucleicos y la clorofila; es por esto que este elemento es asociado con el crecimiento vegetativo (Castellanos, 2011). Las plantas sólo son capaces de asimilar el nitrógeno en dos formas químicas, en forma de nitrato y en forma de amonio. El nitrato es la forma del nitrógeno preferida por los cultivos, a excepción del cultivo de arándanos que tiene preferencia por la forma amoniacal (INTAGRI, 2017a).

Los síntomas de deficiencia de este elemento se traducen en una clorosis general, pero por tratarse de un nutriente muy móvil, la deficiencia se hace más aparente en

las hojas viejas. Las plantas crecen más lentamente, las hojas se tornan de un color verde pálido y las flores se hacen anormalmente pequeñas (Castellanos, 2011).

### **3.8.2 Fósforo**

El fósforo es el segundo nutrimento mineral en importancia en la agricultura nacional y mundial; la razón es porque el fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo y rápidamente pasa a formas más complejas que son de difícil absorción para las plantas (INTAGRI. 2017b).

Este elemento es absorbido por las plantas en la forma de fosfato monovalente, aunque en condiciones de pH superior a 7.2, puede ser asimilado en la forma de fosfato divalente. El fósforo es un constituyente de enzimas y proteínas y un componente esencial de los ácidos nucleicos. Juega un papel fundamental en las funciones reproductivas, tales como la floración, la precocidad a la madurez y la calidad de fruto. En etapas tempranas de la planta está implicado en el desarrollo de raíz. Participa prácticamente en todos los procesos metabólicos de la planta y juega un papel regulatorio en la formación y translocación de azúcares y almidones (Castellanos, 2011).

Un suministro bajo de fósforo en la planta causa severos daños en: crecimiento vegetativo, expansión de las hojas, órganos reproductivos, iniciación floral y número de flores, formación de semillas y germinación de semillas. Típicamente, la deficiencia de fósforo en los cultivos se manifiesta en una coloración púrpura en las hojas maduras, debido a que es un nutrimento poco móvil (INTAGRI. 2017b).

### **3.8.2 Potasio**

Este es uno de los nutrimentos más importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas y que participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas.

La principal función del potasio se asoció con las relaciones hídricas y absorción de agua por las plantas. Mantiene la potencia osmótica de las células. Participa como activador de innumerables enzimas y juega un papel importante en casi todos los procesos metabólicos de las plantas. A menudo, el potasio es descrito como el elemento de la calidad debido a que las frutas y los vegetales que se producen con adecuados niveles de potasio presentan mejor calidad postcosecha y mayores niveles de azúcares (INTAGRI, 2017c).

Los síntomas de deficiencia se presentan en las hojas jóvenes; se tornan verde oscuro y se enrollan hacia el envés. Las hojas viejas se tornan cloróticas y bronceadas, los márgenes de las hojas se tornan café y el tejido puede presentar un necrosamiento entre las nervaduras (Castellanos, 2011).

#### **3.8.4 Micronutrientes**

Los micronutrientes son los elementos que se requieren en menores cantidades por el cultivo, pero esto no significa que son menos importantes que el resto de los elementos; llevan a cabo funciones trascendentales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas, y cualquier deficiencia, sin duda, ocasionan un decremento en la productividad del cultivo. El Mo y Fe están involucrados en la fijación de N, además, la presencia de Zn, Mn, Cu y B en cantidades balanceadas tiene un efecto positivo en la tolerancia de las plantas ante plagas y enfermedades; por tanto, se tiene una tendencia a incrementar los rendimientos cuando se cuenta con una adecuada aportación de los micronutrientes (Rodríguez, 2014).

#### **3.9 Densidad de siembra**

El marco de plantación que se recomienda en Chile habanero es de 1.2 m entre hileras y 0.35 m entre plantas con una densidad de población de 23000 a 24000 plantas por hectárea; esto se establece con base en los resultados de un estudio sobre

densidades de población y nutrición de plantas de chile habanero que se llevó a cabo en el CENID RASPA (Villa *et al.*, 2010).

### **3.10 Formación de semilla**

La semilla se forma mediante una embriogénesis cigótica que comprende los cambios morfológicos, estructurales y de expresión génica que tienen lugar desde la formación del cigoto hasta el final del desarrollo y maduración del embrión. Tras la fecundación, y una vez que ha crecido de forma unidireccional, el cigoto se divide transversalmente de forma asimétrica, originándose una célula pequeña que no aumenta de tamaño y que, tras sucesivas divisiones, dará origen al embrión; y otra célula alargada que originará el suspensor, una estructura que actúa como un conducto transportador de nutrientes desde el tejido materno hacia el embrión, sin descartar la síntesis de otros compuestos producidos por el propio suspensor. El desarrollo de la semilla se divide en 4 fases: histodiferenciación, expansión y maduración y desecación. La duración del desarrollo depende del tipo de semilla (Matilla 2008, Monsalve 2015).

### **3.11 Germinación**

La germinación es la reactivación de la maquinaria metabólica de la semilla y la emergencia de la radícula y la plúmula que permite obtener una plántula fisiológicamente, la germinación comienza con la etapa inicial de reactivación bioquímica y termina con la emergencia de la radícula, siendo este el primer signo visible de la germinación resultante de la división celular (Hartmann y Kester, 1997).

Moreno (1996) menciona que la germinación es la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras que provienen del embrión y que manifiestan la capacidad de la semilla

para producir una planta normal; para Ayala *et al.* (2014), el fenómeno de germinación la define como una cadena de cambios que empieza con la absorción de agua y conduce a la ruptura de la cubierta seminal por la planta. Sobre la germinación de semillas de chile inciden diversos factores, destacando la necesidad de humedad y aeración, así como un rango térmico entre 20 y 30° C (Ayala, 2012).

### **3.11.1 Latencia**

Las semillas de chile presentan un efecto de latencia que inicia durante la fase intermedia de su desarrollo; esta previene la germinación de las semillas cuando aún están en la planta madre. En muchos casos, la latencia continúa por un largo periodo después de la cosecha y se requiere de condiciones específicas para eliminarla, siendo el ácido abscísico el principal responsable de controlar el desarrollo de la semilla y la latencia (Ayala, 2012). En muchos casos el contenido de ácido abscísico es máximo cuando la semilla tiene el mayor crecimiento, después declina hasta alcanzar bajos niveles en la madurez y así permite la germinación (Abril *et al.*, 2017).

### **3.11.2 Proceso de germinación**

Para la iniciación de la germinación se requieren tres condiciones: a) la semilla debe ser viable: el embrión debe estar vivo y ser capaz de germinar, b) la semilla no debe estar en letargo ni el embrión quiescente y no debe existir barreras fisiológicas o físicas que induzcan letargo, ni barreras químicas para la germinación. Para que este fenómeno ocurra, la semilla debe estar expuesta a las condiciones ambientales apropiadas (Bidwell, 1979; Hartmann y Kester, 1997).

### **3.11.3 Pruebas de germinación**

Los ensayos de poder germinativo o pruebas de germinación proporcionan información sobre el valor de las semillas en relación a su comportamiento en campo en condiciones de siembra de diferentes lotes (Peretti, 1994). Las pruebas están

diseñadas para indicar tan cercanamente cómo es posible. La proporción que pueda esperarse que brote y se desarrolle a formar plantas fuertes en el campo, jardín y el bosque (Orville y Stefferud, 1961).

La Asociación Internacional de Ensayos de Semillas o sus siglas en inglés ISTA establece para cada especie las condiciones óptimas de germinación, considerando como variables: sustrato, humedad, aireación, temperatura, iluminación y tratamientos para romper la dormición (ISTA, 2017).

La mayor parte de las pruebas se hacen en sustratos no tóxicos tales como papel secante, toallas de papel o papel filtro, los cuales se usan solo o encerrados en cajas de Petri o en otros tipos de recipientes. Este tipo de prueba ahorra espacio y es fácil de ejecutar. La prueba de la arena o la tierra, deben esterilizarse antes de usarlos como medio de germinación, para destruir hongos, bacterias y semillas de malezas. En algunos laboratorios se usa mica expandida y musgo turboso granulado, bien sea solo o mezclado con arena o tierra, especialmente para pruebas que requieren periodos largos de enfriamiento previo, o que sean de larga duración (Orville y Steffereud, 1961).

### **3.12 Calidad de la semilla**

Una semilla de calidad es una semilla viable, es decir es una semilla susceptible de desarrollar una plántula normal aún bajo condiciones ambientales no ideales. Para ello debe contar con propiedades que le aseguren germinar bajo un amplio rango de condiciones agro-climáticas (Peretti, 1994).

Los principales parámetros que determinan la calidad de las semillas son: pureza físico-botánico, pureza genética, poder germinativo, vigor de las semillas, dormición, homogeneidad del lote, estado fitosanitario y contenido de humedad (Thomson, 1979).

La calidad de la semilla se puede ver afectada por un sin número de factores genéticos, fisiológicos y citológicos, así como patológicos y mecánicos. Por eso siempre que se habla de calidad de semillas se refiere a la calidad genética, física, fisiológica y fitosanitaria (Khan, 1977).

La calidad fisiológica es uno de los factores más importantes, puesto de que depende el éxito de las semillas en campo y es el tipo de calidad que con mayor frecuencia se pierde ya que incluye aspectos como viabilidad, poder germinativo y vigor (González, 1994).

### **3.12.1 Calidad Genética**

Certifica la presencia de un determinado cultivar, y no de otros, o de mezclas de diferentes cultivares. Representada por semillas de la misma variedad (pureza varietal), plantas provenientes de semillas de una misma variedad presentan las mismas características (uniformidad) que son transmitidas de una generación a la otra. La calidad genética define al potencial de rendimiento y calidad productivo (Moreno, 1996).

### **3.12.2 Calidad fisiológica**

Es la capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas, está referida al porcentaje de germinación y vigor de la semilla (Peretti, 1994).

### **3.12.2.1 porcentaje de germinación**

Es expresado por el porcentaje de semillas puras que pueden producir plántulas normales. Este parámetro indica el potencial máximo del lote para la implantación del cultivo en condiciones óptimas de siembra, y es el dato generalmente más aceptado del que dispone para conocer la capacidad germinativa de las semillas (Moreno, 1996).

### **3.11.2.2 Vigor**

es la vitalidad que tiene la semilla para emerger del suelo (velocidad de germinación) en forma uniforme y lograr un crecimiento normal de las plántulas bajo un amplio rango de condiciones de campo (Peretti, 1994). El objetivo básico de las pruebas de vigor de semillas es proporcionar una identificación precisa de las diferencias importantes en el potencial fisiológico entre lotes de semillas, principalmente aquellos con un porcentaje de germinación similar, con el objetivo de identificar lotes de mayor probabilidad de obtener buenos resultados después de la siembra y / o durante el almacenamiento.

### **3.11.3 Calidad Sanitaria**

La calidad sanitaria está representada por la ausencia de enfermedades transmisibles por la semilla. Para lo que la semilla no debe ser portadora de agentes patógenos causantes de enfermedades trasmisibles. Como las semillas son vehículos de transporte de agentes patógenos, el control de su sanidad es importante para evitar la dispersión de inóculos en el suelo e impedir el desarrollo de ciertas enfermedades de las plantas (Peretti, 1994).



#### **3.11.4 Calidad Física**

Es la apariencia general de las semillas. Se la asocia con la forma, tamaño, color, brillo, daños mecánicos, indicando el que grado la muestra está constituida por semillas intactas y sanas de la especie declarada, y por otros eventuales componentes como tierra, fragmentos seminales, restos vegetales y por semillas extrañas de especies que contaminan un lote de semillas (Moreno, 1996).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación del sitio experimental

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Semillas del Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Roque ubicado en el km 8 carr. Celaya-Juventino Rosas a una altura de 1659 msnm y temperatura media de 22 °C.



**Figura 1.** Ubicación del invernadero donde se estableció el experimento.

### 4.2 Características generales del suelo y clima

El 43% de la superficie del estado de Guanajuato está representado por un clima seco y semiseco localizado principalmente en la región norte; 33% de la superficie hacia la parte sureste y este, se presenta el clima cálido subhúmedo y 24% restante presenta clima templado subhúmedo. La temperatura media anual es de 18 °C, la temperatura promedio más alta es de 30 °C, se presenta en los meses de mayo y junio y la más

baja, alrededor de 5.2 °C, en el mes de enero. Aunque es importante señalar que estos últimos años las temperaturas más altas han logrado rebasar los 32 °C.

Las lluvias se presentan en verano, principalmente en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es de aproximadamente 650 mm anual. En el estado de Guanajuato se puede encontrar todo tipo de suelos: vertisoles, feosem y litosoles siendo los dos primeros de interés agrícola (Laborde y Pozos, 1982).

#### 4.3 Descripción general de los genotipos de chile habanero

El material genético utilizado fueron 2 poblaciones criollas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Obtenidas de colectas realizadas por el personal del Instituto Tecnológico de Conkal, en Yucatán, durante el periodo 1999 a 2003. Para elección de esta se tomaron en cuenta que hubiera suficiente semilla para el desarrollo del experimento. Las variedades son de color anaranjado y rojo en estado maduro, la colecta se basó seleccionar aquellos genotipos que son los cultivares más cultivados en los terrenos de traspatio de las áreas rurales y semiurbanas, de donde se extrae las semillas y posteriormente se realizan los semilleros y posteriormente se establecen en mayores superficies en el terrenos de los productores, además por sus características de preferencia en el mercado, como color, forma, tamaño, olor, grosor del pericarpio.

**Tabla 1** Genotipos evaluados en campo, genealogía y características.

No. Prog	Genotipo	Genealogía	Color de fruto
1	19	PC3-HBN14-1	Rojo
2	10	PYHBN10-05-C1-12-1	Naranja

#### **4.4 Ensayo 1 Trasplante de dos genotipos con diferentes niveles de fertilización**

##### **4.4.2 Siembra**

La siembra de la semilla se llevó a cabo el 20 de mayo del 2017 en charolas de unicel de 160 cavidades, empleando como sustrato vermiculita mezclado con sunshine en proporción 10:1, procurando colocar una semilla por cavidad.

##### **4.4.3 Acondicionamiento del área experimental.**

Para poder realizar el presente trabajo se construyó un invernadero rústico en las instalaciones del Tecnológico de Roque, procurando que este cubriera las necesidades mínimas para el establecimiento, crecimiento y desarrollo del cultivo de chile habanero. Con dimensiones de 4 m ancho por 6 m de largo.

##### **4.4.4 Preparación del sustrato**

El sustrato utilizado fue sunshine mezclado con vermiculita, arena y tezontle en una proporción (5:2:1:2) procurando que la mezcla fuera homogénea. Posteriormente se llenaron bolsas de 10 litros para el establecimiento del área experimental.

##### **4.4.5 Trasplante**

El trasplante se realizó el 17 de julio del 2017 procurando que la plántula presentara un sistema radicular sano para soportar el trasplante, colocando 5 plantas por tratamiento en dos repeticiones, dando un total de 10 plantas por tratamiento.

#### 4.4.6 Fertilización

\*

La utilización de fertilizantes fue 20-30-10 aplicando 2 g/l cada 10 días, con aplicaciones granuladas de Urea (46 – 00 - 00), DAP (18 – 46 - 00), Sulfato de amonio (21 - 00 - 00) cada 15 días, Cloruro de potasio (00-00-60)

**Tabla 2** Tratamientos de fertilización evaluados en campo y en la calidad de semilla de chile habanero (Roque, Guanajuato, 2017).

Fertilización	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
1	200	90	40
2	200	30	10
3	160	90	40
4	160	30	10
5	120	90	40
6	120	30	10

#### 4.4.7 Riego

El riego se utilizó bajo un sistema de riego por goteo, durante 15 min hasta tener capacidad de campo cada 5 días.

#### 4.4.8 Control de malezas

Las malezas que se presentaron fueron pasto grama (*Cynodon dactylon*); zacate Johnson (*Sorghum halepense*) y hermosa gloria de la mañana (*Ipomea purpurea*) su control fue manual utilizando azadones y hoces.

#### 4.4.9 Control de plagas

Las presencias de plagas fueron un ataque de mosquita blanca y pulgón controlado con Toreto (Sulfoxaflor (Isoclast™ Active) 21.8%) en dosis 1.5.

#### 4.4.10 Diseño experimental

Para el análisis de los datos se empleó un diseño de bloques completos al azar. (Factor A constituida por 6 tratamientos de fertilización; B conformada por 2 genotipos) (Cuadro 1) con 6 tratamientos y se consideró el establecimiento de dos repeticiones de 5 plantas cada una, la unidad experimental fue de 10 plantas por tratamiento.

El modelo lineal es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + A_i + B_j + A_i B_j + \varepsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Variable en estudio

$\mu$  = Efecto medio de la variable en estudio

$T_i$  = Efecto de bloque

$A_i$  = Efecto del factor A en el tratamiento fertilización

$B_j$  = Efecto del factor B en genotipo

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

#### 4.4.11 Variables

**Altura de planta (Ap).** Para la determinación de esta variable se seleccionaron 4 Plantas y se midieron del ras del suelo hasta el ápice de la planta (cm).

**Longitud de primer entrenudo (L1N).** Para evaluar esta variable se seleccionaron 4 plantas y se midieron de la cruz hasta la primera bifurcación (cm).

**Longitud de segundo entrenudo (L2N).** Para evaluar esta variable se seleccionaron 4 plantas y se midieron de la primera bifurcación hasta la segunda bifurcación (cm).

**Longitud de tercer entrenudo (L3N)** Para evaluar esta variable se seleccionaron 4 plantas y se midieron de la segunda bifurcación hasta la tercera bifurcación (cm).

**Longitud de hoja uno (LH1N).** para evaluar esta variable se tomaron 4 plantas seleccionando las hojas del primer entrenudo y se midieron desde la unión al tallo hasta la punta de la hoja (cm).

**Longitud de hoja 2 (LH2N)** para evaluar esta variable se tomaron 4 plantas seleccionando las hojas del segundo entrenudo y se midieron desde la unión al tallo hasta la punta de la hoja (cm).

**Número de flores (NFI).** Para la determinación de esta variable se seleccionaron 4 plantas y se tomaron los primeros 3 entrenudos para el conteo de flores sacando una media del total.

**Número de frutos en el primer nudo (NFr1N).** para la evaluación de esta variable se contaron los frutos cuajados del primer entrenudo.

**Número de frutos en el segundo nudo (NFr2N).** para la evaluación de esta variable se contaron los frutos cuajados del segundo entrenudo.

**Número de fruto en el tercer entrenudo (NFr3N).** para la evaluación de esta variable se contaron los frutos cuajados del tercero entrenudo.

**Longitud de fruto (AF).** Para evaluar esta variable se tomaron muestras de 10 frutos y midió la longitud en la parte más larga (cm).

**Ancho de fruto (AFr).** Para evaluar esta variable se tomaron muestras de 10 frutos por planta y se midieron en la parte ecuatorial más ancha del fruto (cm).

**Peso de fruto (PF).** Para la evaluación de esta variable se tomaron muestras de frutos maduro de 4 plantas (10 frutos por planta) y se pesaron en una balanza analítica (g)

**Número de semillas en el fruto (NSF).** Para evaluar esta variable se tomaron frutos secos y se extrajeron todas las semillas con una pinza de disección (semillas totales por fruto).

**Germinación (Ger).** Para evaluar esta variable se tomaron dos repeticiones de 100 semillas dando un total de 200 semillas por repetición y se evaluó la germinación hasta los 21 días.



## **4.5 Ensayo 2. Prueba de germinación**

### **4.5.1 Preparación del papel germinador**

Para la germinación estándar sobre papel se humedeció el papel con una solución de Captan (N-triclorometiltio-4-ciclohexano-1,2 dicarboximida) con  $8.0 \text{ gl}^{-1}$ , el cual una vez humedecido se procedió a colocar las plantas sobre la línea trazada en la parte central del papel germinador.

### **4.5.2 Metodología de germinación estándar de técnica sobre papel**

Se realizó el conteo de 100 semillas para el establecimiento de dos repeticiones de 50 cada una de ellas, para el desarrollo de la prueba de germinación se utilizó el método “sobre papel”. La semilla se colocó con el micrópilo orientado hacia la parte inferior (ISTA, 2017). La técnica consiste en extender un pliego de papel germinador sobre una caja Petri previamente humedecidas con agua destilada y Captan, sobre una superficie plana y sobre las cuales se colocan las semillas distribuidas uniformemente, posteriormente se tapa la caja Petri sellándolo con película plástica, acomodándolo en forma horizontal las cajas de Petri, se realizó la identificación de los tratamientos y se trasladó al área de incubación.

### **4.5.3 Selección de semilla**

La selección de semilla se tomó en consideración que el material biológico no presentará daños en el pericarpio, no presencia de hongos, completamente lisas y que el embrión externamente se observará completo, una semilla con sus partes completas, posteriormente se seleccionaron 100 semillas de cada tratamiento con dos repeticiones con un total de 200 semillas de cada tratamiento de fertilización a evaluar.

#### 4.5.4 Establecimiento de la semilla

Para el establecimiento de la siembra de la germinación estándar sobre papel, se establecieron 2 repeticiones de 100 semillas de cada diferente genotipo en evaluación, colocando cada semilla a 2 cm de distancia entre cada una.

#### 4.5.5 Incubación

Los tacos de papel se almacenaron en un anaquel, el cual se encontraba con una iluminación de 1600 watts y con 8 horas de luz y 16 horas de oscuridad, la temperatura durante la incubación fue de  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ .

#### 4.5.6 Riego

El riego se aplicó con un aspersor de 1 L a los 7, 14, 22, y 30 días. aplicando un riego hasta humedecer el papel germinador.

**Tabla 3** Tratamientos evaluados para la prueba de germinación estándar de semilla de habanero en la técnica sobre papel.

No. Prog.	Tratamiento	Descripción (semillas a tratamiento)
1	T1	Sin tratar
2	T2	Con Nitrato de potasio al 1%
3	T3	Con temperatura a $55^\circ\text{C}$ durante 5 min.

#### 4.5.7 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un experimento trifactorial con diseño completamente al azar, (Factor A constituida por 6 tratamientos de fertilización; B conformada por 3 tratamientos a la semilla; C conformada por el material biológico.) (Tabla 2) con 3 tratamientos y se consideró el establecimiento de dos repeticiones de 100 semillas cada una, la unidad experimental fue de 200 semillas por tratamiento.

El modelo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + A_iB_j + A_iC_k + B_jC_k + A_iB_jC_k + \epsilon_{ij}$$

Donde

$Y_{ij}$  = Variable en estudio

$\mu$  = Efecto medio de la variable en estudio

$A_i$  = Efecto del factor A en el tratamiento fertilización

$B_j$  = Efecto del factor B en el Tratamiento de semilla

$C_j$  = Efecto del factor C en el material biológico

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

#### 4.5.8 Variables

**Germinación (Ger).** Para evaluar esta variable se establecieron dos repeticiones de 100 semillas y se evaluó la germinación a los 7, 14 y 21 días (%).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Análisis de varianza de efecto de la fertilización química con macroelementos en la producción de semillas de chile habanero

Los resultados del análisis de varianza de las variables fenológicas del efecto de los macro elementos realizado en invernadero, se observa en la Tabla 4, donde se muestran que para el factor genotipos, presentó diferencias significativa ( $P \leq 0.05$ ), en las variables número de fruto en el primero, segundo y tercer entrenudo, lo cual indica que uno de los dos genotipos mostró mayor número de frutos en los entrenudos, pero en el resto de las variables evaluadas, los genotipos se comportaron en forma similar. Las fórmulas de fertilización no mostraron ningún efecto entre las variables evaluadas; posiblemente si se hubiesen evaluado niveles de los tres elementos pudiera haber efectos individuales. No hubo diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas en esta investigación. Los coeficientes de variación (CV %) no fueron buenos, pero los resultados se consideran confiables, ya que las variables evaluadas fueron afectadas por el ambiente y por tener una muestra pequeña de plantas, pues el número de semillas no era suficiente para realizar una prueba más amplia.

**Tabla 4** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza del efecto de macro elementos en variables fenológicas de dos genotipos de chile habanero evaluados bajo condiciones de invernadero. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2017.

F.V.	Gl	AP	L1N	L2N	L3N	LH1N	LH2N	NFI	NFr1N	NFr2N	NFr3N
Genotipos	1	70.04ns	0.04ns	4.16ns	0.66ns	10.66ns	8.16ns	0.66ns	0.16*	5.04*	7.04*
Fertilización	5	28.94ns	0.87ns	0.66ns	0.60ns	1.70ns	0.3 ns	0.1 ns	6 ns	0.07 ns	0.17 ns
Gen*Fer	5	26.34ns	1.94ns	1.46ns	1.86ns	2.66ns	0.46 ns	0.36 ns	0.06 ns	0.14 ns	0.04 ns
Error	12	37.92	2.22	0.93	0.62	3.93	2.48	0.25	0.1	0.13	0.1
CV (%)		19.11	10.02	19.71	15.76	17.64	15.01	16.91	11.38	15.33	13.46

\*, \*\* = Diferencia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns = no significativo; F.V. = Fuente de variación; gl = grados de libertad; CV (%) = Coeficiente de variación; AP = Altura de planta; L1N = Longitud de primer entrenudo; L2N = Longitud de segundo entrenudo; L3N = Longitud de tercer entrenudo; LH1N = Longitud de hoja uno; LH2N = Longitud de hoja 2; NFI = Número de flores; NFr1N = Número de frutos en el primer nudo; NFr2N = Número de frutos en el segundo nudo; NFr3N = Número de fruto en el tercer entrenudo.

En los análisis de varianza para las variables de la calidad física de fruto y semilla en la aplicación de macro elementos realizado en el invernadero, se observa en la Tabla 5, que hubo diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos en las variables peso de fruto, número de semilla en fruto y germinación, lo cual indica que uno de los genotipos resultó superior al otro; los CV fueron buenos, lo cual nos indica el grado de precisión en la comparación de estos tratamientos; es también un índice de la confiabilidad de los resultados (Gomez y Gomez, 1984). También se presentaron diferencias significativas entre las fórmulas de fertilización evaluadas para las mismas variables que entre genotipos, por lo que al menos una de las fórmulas evaluadas también tuvo efectos significativos sobre estas variables. El factor fertilización presentó diferencias estadísticas altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ), en las variables peso de fruto, número de semillas por fruto y germinación, lo cual indica que por lo menos uno de los tratamientos del empleo de la fertilización con macro elementos fue superior a los demás. Hubo diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la interacción genotipo x fertilización en las variables número de semillas por fruto y germinación, lo cual nos indica que los genotipos tuvieron respuestas diferentes a las fórmulas de fertilización evaluadas en estas dos variables.

**Tabla 5** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza del efecto de macro elementos en la calidad física de fruto y semilla en dos genotipos de chile habanero evaluados bajo condiciones de invernadero. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2017.

F.V.	gl.	LF	AF	PF	NSF	Ger
Genotipos	1	0.66ns	0.39ns	30.37**	580.16**	166.16*
Fertilización	5	0.46ns	0.04ns	1.54*	25.40**	1255.06**
Gen*Fer	5	0.56ns	0.37ns	0.87ns	77.96**	232.06**
Error	12	0.18	0.19	0.49	2.21	29.63
CV (%)		13.82	19.14	14.70	8.03	7.30

\*, \*\* = Diferencia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns = no significativo; F.V. = Fuente de variación; gl = grados de libertad; CV (%) = Coeficiente de variación; LF = Longitud de fruto; AF = Ancho de fruto; PF = Peso de fruto; NSF = Número de semilla en fruto; Ger = Germinación.

En la prueba de medias (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) para el factor genotipos, se observa en la Tabla 6, que el genotipo 1 que corresponde al material biológico PC3-HBN14-1 de fruto de color rojo, resultó superior al genotipo 2 en las características donde hubo diferencias significativas. al genotipo 2 PYHBN10-05-C1-12-1 de fruto de color naranja.

**Tabla 6** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey en la fertilización con macroelementos en variables fenológicas de fruto y semilla de dos genotipos de chile habanero evaluados bajo condiciones de invernadero. Roque, Celaya, Guanajuato. (Ciclo P-V, 2017).

Genotipo	NFr1N	NFr2N	NFr3N	PF	NSF	Ger
1	2.92 a	2.83 a	2.92 a	5.91 a	23.41 a	77.08 a
2	1.92 b	1.92 b	1.83 b	3.66 b	13.58 b	71.91 b

Medias o valores con letra diferente en cada variable no son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); NFr1N = Número de frutos en el primer nudo; NFr2N = Número de frutos en el segundo nudo; NFr3N = Número de fruto en el tercer entrenudo; PF = Peso de fruto; NSF = Número de semilla en fruto; Ger = Germinación.

En la prueba de comparación de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) para el factor fertilización, se observa (Tabla 7) que los tratamientos 2 y 3 que corresponde a las fórmulas de fertilización 200-30-10 y 160-90-40 presentaron mayor porcentaje de germinación que las demás dosis de fertilización. Las dosis de fertilización 2, 3, 4, 5 y 6 presentaron los valores mayores de PF con rangos de 4.5 a 5.25; prácticamente no hubo resultados diferentes entre dosis, es decir no hubo efectos de éstas; no es posible determinar qué elementos fueron los que influyeron en el peso del fruto. En la variable NSF, las dosis 2, 4, 5 y 6 presentaron el mayor número de semillas por fruto, con rango de 17 a 21.25; parece que las dosis altas de N y P son las que tendieron a que el número de semillas fuera menor.

**Tabla 7** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la calidad física de fruto y semilla con diferentes fórmulas de fertilización con macroelementos. Roque, Celaya, Guanajuato. (Ciclo P-V, 2017).

Fertilización	PF	NSF	Ger
1	3.75 b	15.75 c	47.75 d
2	5 ab	20.25 a	86.50 ab
3	4.75 ab	16.00 bc	98.75 a
4	5.25 ab	20.75 a	75.50 bc
5	4.5 ab	17.00 ab	75.00 bc
6	5.5 a	21.25 a	63.50 c

Medias con la misma letra dentro de cada columna en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); PF = Peso de fruto; NSF = Número de semilla en fruto; Ger = Germinación.

En las pruebas de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) para la interacción genotipo\*fertilización, que resultó significativa en el ANVA, se observa (Tabla 8) que la combinación de los tratamientos 1\*6 (genotipo de fruto rojo \* 120-30-10) presentó un valor medio superior a las demás interacciones en la variable NSF. En tanto en las interacciones de los tratamientos (1\*3) y (2\*3) presentaron valores promedios estadísticamente similares en el porcentaje de germinación con valores de 99 y 98.5 respectivamente. En cuanto a la interacción del tratamiento 2 (naranja) \*1 (200-90-40) y 2\*6(120-30-10) fue en donde se encontraron los valores medios más bajos, en la fuente número de semilla con 8 semillas por fruto y germinación con 46.5 a 47%.

**Tabla 8** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la interacción de genotipo y fertilización en la calidad de fruto y semilla de chile habanero. Roque, Celaya, Guanajuato. (Ciclo P-V, 2017)

Genotipos	Fertilización	NSF	Ger (%)
1 (Rojo)	6 (120-30-10)	30.50 a	80 d
1 (Rojo)	2 (200-30-10)	26.50 b	84 c
1 (Rojo)	5 (120-90-40)	24.50 b	70 e
1 (Rojo)	1 (200-90-40)	23.50 b	49 f
2 (Naranja)	4 (160-30-10)	22 b	70.5 e
1 (Rojo)	4 (160-30-10)	19.50 b	80.5 d
1 (Rojo)	3 (160-90-40)	16 c	99.0 a
2 (Naranja)	3 (160-90-40)	16 c	98.5 a
2 (Naranja)	2 (200-30-10)	14 c	89 b
2 (Naranja)	6 (120-30-10)	12 dc	47 f
2 (Naranja)	5 (120-90-40)	9.5 ed	80d
2 (Naranja)	1 (200-90-40)	8e	46.5 f

Medias o valores con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); NSF = Número de semilla en fruto; Ger = Germinación en porcentaje.

En trabajos de investigación realizados por Zhao *et al.* (1993) al utilizar N y S en el cultivo de canola su empleo provocó un aumento en el rendimiento de semilla y su contenido de reservas debido principalmente a través de una formación más adecuada de la vaina. Shiraii y Hashinawa (1995) señala que el contenido de nitrógeno en la semilla aumenta linealmente con el paso de los días posteriores al llenado, resultados que se han obtenido en esta investigación, en donde se puede observar que el número de semillas de cada fruto se incrementó con los niveles de nitrógeno empleado (200 y 160 unidades de N), ya que fue donde se obtuvieron porcentajes 86 y 98 por ciento de germinación.

En resultados obtenidos por López *et al.* (2017), al realizar investigaciones enfocadas a la calidad y rendimiento de fruto de chile habanero encontraron que en la aplicación de  $\text{NO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$  y  $\text{NO}_3\text{K}$  determinaron que se presentó un incremento en el número de frutos y en rendimiento total por unidad de superficie. Borges *et al.* (2008) al aplicar diferentes niveles de fertilización utilizando como fuente fósforo mencionan que en



suelos con deficiencia de este nutrimento se tuvieron los mayores aumentos en el rendimiento de chile habanero.

En investigaciones realizadas por Castellanos (2011) menciona que el fósforo juega un papel fundamental en las funciones reproductivas, tales como la floración, la precocidad a la madurez y la calidad del fruto; en esta investigación se validan los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones por diversos autores, donde se observaron que las respuestas similares del empleo de fertilización con el empleo de Fósforo donde se obtuvieron frutos con buen desarrollo y además fue en el mismo tratamiento donde se registraron la mayor cantidad de semilla.

Borges *et al.* (2006) menciona que existen evidencias de que el K es afectado por factores ambientales y genéticos de la planta, lo cual se observa en los resultados de este trabajo en la interacción de los dos materiales con respecto a la fertilización de este nutrimento. En tanto Castellanos (2011) menciona que el potasio es descrito como el elemento de la calidad debido a que la frutas y vegetales que se producen con adecuados niveles de potasio presenta mejor calidad postcosecha y mayores niveles de azúcares. En tanto en trabajos realizados por Borges *et al.* (2008), mencionan que la demanda de K por la planta de chile habanero aumenta, a medida que el cultivo crece hasta alcanzar la demanda máxima de  $78 \text{ kg ha}^{-1}$  a los 140 días; posteriormente, la demanda disminuye ligeramente al finalizar el ciclo del cultivo a los 160 días.

INTAGRI (2018) menciona que al evitar deficiencias de nutrientes en las plantas madres especialmente durante la temporada de crecimiento final, es importante no solo para un mejor rendimiento sino también para mejorar la viabilidad y el vigor de la semilla; una buena nutrición proporcionada a las plantas progenitoras de semillas mejora los aspectos de la calidad de las semillas en chile habanero.

## 5.2 Reacondicionamiento de semillas para la germinación de chile habanero en laboratorio

Los resultados del análisis de varianza de la germinación de semillas por efecto del empleo de macro elementos y pre-acondicionamiento de semilla realizado en el laboratorio, se observa en la Tabla 9; para el factor fertilización y acondicionamiento, presentó diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) a los 7, 14 y 21 días. Para genotipos, sólo se presentaron diferencias significativas hasta los 21 días; pudiera deberse al efecto de dormancia que puede estar presente en estos cultivares. Las dosis de fertilización y el acondicionamiento presentaron diferencias significativas en los tres muestreos realizados; estos factores fueron los que mayor efecto tuvieron en la variación total en los ANAVA. A los 7 días, las dosis de fertilización representaron el 52% de la variación total; el acondicionamiento, con el 21.3% y la interacción Fer\*Acon, 21%; estos tres factores representaron el 94.3 % de la variación total en el muestreo a los 7 días. El resto de los factores sólo representaron el 5% de la variación. Para los otros dos muestreos, los mismo tres factores fueron los que mayor variación representaron en los ANAVA. Los genotipos no fueron afectados por el acondicionamiento. Los genotipos si tuvieron diferencias en las respuestas a las dosis de fertilización. El acondicionamiento si tuvo efectos positivos en la germinación, ya que hubo diferencias significativas en cada uno de los muestreos; lo mismo ocurrió con las dosis de fertilización. El acondicionamiento no tuvo las mismas respuestas a las dosis de fertilización.

Para el factor genotipos solo mostro diferencia altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) a los 21 días del establecimiento de las semillas en laboratorio, lo cual indica que al menos un tratamiento es superior a los demás. En cuanto a la interacción genotipo x fertilización (Gen\*Fer) y genotipo x acondicionamiento (Fer\* Acon) mostraron diferencias significativas en las 7, 14 y 21 días; en tanto que la triple interacción Fertilización, genotipo y acondicionamiento (Fer\* Gen\* Acon) mostraron diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) solo en la fecha muestreo a los 21 días lo cual indica que la germinación está influenciada por los factores evaluados. Mientras que

la interacción genotipo y acondicionamiento (Gen\* Acon) no presentaron diferencias estadísticas. El valor de los coeficientes de variación mostró valores altos sólo en el primer muestreo; los otros dos fueron buenos (Gomez y Gomez, 1984) en las dos fechas de muestreo iniciales (7 y 14 Ger), de acuerdo con la norma de la ISTA (2017) solamente la tercera fecha de muestreo se encuentra entre los parámetros establecidos por la norma.

**Tabla 9** Cuadrados medios, grados de libertad y significancia estadística del análisis de varianza para la prueba de germinación de chile habanero bajo condiciones de laboratorio. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2017

F.V.	Gl	7 Ger	14 Ger	21 GER
Genotipos	1	38.28ns	93.38ns	174.22**
Fertilización	5	2485.83**	3198.32**	1283.10**
Acondicionamiento	2	2545.87**	3257.18**	850.79**
Gen*Fer	5	62.26*	78.58*	129.58**
Gen*Acon	2	3.19ns	1.84ns	29.59ns
Fer* Acon	10	502.22**	1211.68**	592.89**
Fer* Gen* Acon	10	22.63ns	52.94ns	105.16**
Error	36	22.38	31.15	18.27
CV (%)		16.58	10.29	5.24

\*, \*\* = Diferencia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; ns = no significativo; F.V. = Fuente de variación; gl = grados de libertad; CV (%) = Coeficiente de variación Ger7 = Germinación a los 7 días; Ger14 = Germinación a los 14 días; Ger21 = Germinación a los 21 días.

En las pruebas de comparación de medias (Tukey  $\alpha = 0.05$ ) para el factor fertilización, se observa en la Tabla 10 donde el tratamiento 2 de fertilización (200-30-10) presentó un valor medio superior en la primer fecha de muestreo (7 días) con un 52.75% de semillas germinadas, mientras tanto la fertilización 1 (200-90-40) se presentó los valores medios más bajos de la prueba de germinación de las 3 fechas de muestreo (7, 14 y 21 días). En cuanto los tratamientos con mayor respuesta fueron el tratamiento 3 y 2 con un valor medio de 70.08 y 73.33 por ciento a los 14 días, mientras que a los 21 días, el tratamiento 3 de fertilización (160-90-40) presentó un valor medio de 96.33 %. En todas las dosis se requirió el conteo hasta los 21 días, ya que se observan

incrementos en la germinación en todas las dosis probadas. A los 21 días, en la dosis 3 se obtuvo el mayor porcentaje de germinación, estadísticamente superior a las otras dosis. La dosis 5, alta en P y K e intermedia en N fue la que menor germinación obtuvo; no es posible determinar cuál de los tres elementos fue el que afectó esta respuesta.

**Tabla 10** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la germinación de chile habanero bajo condiciones de laboratorio de dosis de fertilización de macro elementos. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2018

Fertilización	7 Ger	14 Ger	21 Ger
1	9.75 e	32.33 c	77.58 c
2	52.75 a	76.33 a	87 b
3	25.95 cd	70.08 a	96.33 a
4	20.41 d	51.25 b	86.5 b
5	28.91 bc	44.75 b	68.08 d
6	33.41 b	50.41 b	73.5 c
Error	22.38	31.15	18.27

Medias o valores con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ). Ger7 = Germinación a los 7 días; Ger14 = Germinación a los 14 días; Ger21 = Germinación a los 21 días.

En las pruebas de medias (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) para el factor acondicionamiento, se observa en la Tabla 11 donde el pre-acondicionamiento 2 ( $\text{KNO}_3$  1%) presentó un valor medio superior en la fecha de muestre 7 y 14 días con un 40.29 y 67.16 % de semillas germinadas, por otro lado el empleo del tratamiento 2 y 3 ( $\text{KNO}_3$  1% y Temperatura  $55^\circ\text{C}$  5 min) mostro los valores medios más altos de germinación de la fecha de muestreo a los 21 días con valores de 84.95 y 84.91%. en tanto el tratamiento 1 (Testigo), fue donde se logró los valores medios bajos de 74.62%. En cuanto a las pruebas de comparación de medas (Tukey  $\alpha = 0.05$ ) en el factor genotipo, se observa que el material biológico 1 (color rojo) fue el que presentó el mayor valor medio en las tres fechas de muestreo evaluadas de la prueba de germinación.

**Tabla 11** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la germinación de dos genotipos con acondicionamiento de semilla en chile habanero bajo condiciones de laboratorio. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2018.

Acondicionamiento	7 das	14 días	21 días	Genotipos	7 días	14 días	21 días
1	24.2 b	50.79 b	74.62 b	1	29.26 a	55.33 a	83.05 a
2	40.29 a	67.16 a	84.95 a	2	27.8 a	53.05 a	79.94 b
3	21.1 b	44.62 c	84.91 a	Error	22.38	31.15	18.27
Error	22.38	31.15	18.27				

Medias o valores con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ) ;Ger7 = Germinación a los 7 días; Ger14 = Germinación a los 14 días; Ger21 = Germinación a los 21 días.

En las prueba de medias (Tukey  $\alpha = 0.05$ ) para la interacción Fer\* Acon, se observa en la Tabla 12 donde la interacción 2\*3 (200-30-10\* temperatura 55°C 5 min), 2\*1 (200-30-10\* testigo) y 6\*2(120-30-10\*testigo) mostraron los valores medios más con 60 a 54.25% en la fecha de muestreo a los 7 días, por otro lado en la interacciones más afectadas fueron 1\*1 (200-90-40\*testigo) y 1\*3(160-90-30\* temperatura 55°C 5 min) en donde se presentaron los valores medios más bajos con 6 y 4.3% respectivamente a los 7 días. En tanto a los 14 días se presentaron valores de 84.5 que corresponde a la interacción 2\*3 (200-30-10\*temperatura 55°C 5 min) y valores de 10 correspondiente de la interacción 1\*3 (200-90-40\* temperatura 55°C 5 min). En cuanto a los 21 días se encontraron valores medios que van desde 98.75 a 94.75 %. Por otro lado para la interacción Fer\*Gen se observa que la interacción 2\*1 (200-30-10\* rojo) mostro los valores medios más altos a los 7 y 14 días con valores de 52.82 y 77 % respectivamente. En tanto a los 21 días la interacción 3\*1 (160-90-40\* rojo) mostro valor medio de 97.33%. mientras la interacción 1\*2 y 1\*1 presentaron los valores medios más bajos en valores más a los 7, 14 y 21 días.

**Tabla 12** Comparación de medias mediante la prueba de Tukey para la interacción fertilización \* acondicionamiento y fertilización \* genotipo de germinación de chile habanero bajo condiciones de laboratorio. Roque, Celaya, Gto. Ciclo P-V 2018.

Fer	Acon	7 Ger	14 Ger	21 Ger	Fer	Gen	7 Ger	14 Ger	21 Ger
2	3	60 a	84.5 a	91.5 b	2	1	52.83 a	77 a	86.16 d
2	1	57.25 ab	79.25 b	86.5 bc	2	2	52.66 a	75.66 b	87.83 d
6	2	54.75 ab	61.75 d	70 e	6	2	34.5 b	49.5 e	67.66 h
3	2	48.75 c	75.5 c	98.75 a	6	1	32.33 b	51.33 e	79.33 e
5	2	46.75 c	62.25 d	66.56 f	5	1	29 c	43.5 f	66 h
2	2	41 d	65.25 d	83.5 bc	5	2	28.83 c	46 f	70.16 g
4	2	31.5 e	62.25 d	96.5 a	3	1	26.41 c	70.83 c	97.33 a
5	1	23 f	32.5 h	75 d	4	1	25.66 cd	57.33 d	91.83 c
6	1	22.75 f	46.75 e	63 f	3	2	25.5 cd	69.33 c	95.33 b
6	3	22.75 f	42.75 ef	87.5 c	4	2	15.16 e	45.16 f	81.16 e
1	2	19 f	76 b	94.75 a	1	2	10.16 f	32.66 g	77.5 f
4	1	18.5 fg	49.75 e	75.25 d	1	1	9.33 f	32 g	77.66 f
3	1	17.75 g	85.5 a	98.75 a					
5	3	17 g	39.5 g	62.75 f					
3	3	11.37 h	49.25 e	91.75 b					
4	3	11.25 h	41.75 f	87.75 c					
1	1	6 i	11 h	49.25 g					
1	3	4.25 i	10 h	88.75 c					

Medias o valores con la misma letra en cada variable son estadísticamente iguales (Tukey,  $\alpha = 0.05$ ); Ger7 = Germinación a los 7 días; Ger14 = Germinación a los 14 días; Ger21 = Germinación a los 21 días.

En general se puede considerar que la germinación comienza con la imbibición de agua por las semillas (fase I de la germinación), lo cual provoca un incremento del peso de la semilla, promovido por la absorción de agua, como se observa en la mayoría de las semillas que someten a germinación (Hartmann *et al.*, 1997). Como consecuencia de lo anterior las células del embrión se alargan e incrementaron el tamaño del embrión, lo cual suscita que por el orificio en el pericarpio (parte del micrópilo); en general se observa que de 6 a 9 días da inicio a la germinación en el

género *Capsicum* pero existen especies que pueden prolongarse desde los 8 hasta los 30 días en genotipos más retardados. En la fase II se observa después de un proceso de síntesis enzimática y desdoblamiento de las sustancias de reserva, es cuando más se incrementa la división celular. La emergencia de la plántula es el resultado de la acelerada división de la zona meristemática del brote y la radícula proveniente del embrión de la semilla, dado que algunas pueden ser un poco más acelerada y otras más lentas en función del genotipo y su cantidad de latencia propia del origen de material genético. La latencia de las semillas es el resultado de bloqueos metabólicos en el embrión, lo cual se relaciona con la baja producción de enzimas, coenzimas y ácidos nucleicos (Camacho, 2011). Garuña *et al.*, (2014) al trabajar en el acondicionamiento de semillas de chile habanero y al evaluar tratamientos con diferentes concentraciones de ácido giberélico, aumento en un 21 y 36% la germinación, en cambio De la Rosa *et al.*, (2012) menciona que al exponer semillas de *Capsicum annuum L.* con NaCl a 0.5 M y posteriormente expuestas a diferentes concentraciones ácido giberélico de 0 a 500 ppm obtuvo que a 350 ppm aumenta la germinación en un 44% y a mayor concentración de AG, se reduce la germinación en un 12.75%, datos que son similares a los obtenidos en este trabajo con el empleo de nitrato de potasio. En cuanto a la utilización de temperatura en semilla de chile habanero se lograron datos similares a los obtenidos por otros investigadores, lo que indica que es un método factible para la implementación de la germinación de la semilla de chile habanero en campo por los agricultores que presenten este problema en el cultivo evaluado. Camacho (2011) señala que en semillas de *Tithonia diversifolia*, al sumergirlas en agua caliente a una temperatura de 80 a 100° C durante un periodo de 30 hasta 60 segundos logró la estimulación de la semilla para inducirla a germinar, por lo contrario, también señala que este método puede causar daño a la semilla produciendo inviabilidad de la misma. En trabajos realizados por Sánchez en el 2007 al acondicionar semillas de tomate cascara con KNO<sub>3</sub>, KCl y polietilén glicol-8000 a -5, -10, -15 y -20 atm durante 48, 72 y 96 h y posteriormente almacenado durante 0, 7, 90 y 180 días. Obtuvo que al utilizar KNO<sub>3</sub> durante 48 de inmersión incremento la tasa de germinación en un 22%, resultados similares obtenidos en esta investigación

cuando se aplicó los tratamientos de temperatura y nitrato de potasio en donde se obtuvo los mayores porcentajes de germinación en el acondicionamiento de semillas de chile habanero. Andueza *et al.* (2017) al evaluar semillas de chile habanero en diferentes fechas de almacenamiento que fueron a periodos de 3, 6 y 9 meses menciona que se reduce la germinación significativamente. A su vez Pérez (2014) que al evaluar la calidad fisiológica de la semilla se obtuvo que la máxima calidad de semilla de chile habanero es en frutos cosechados a los 44 y 52 días después del cuajado del fruto, para lograr una mayor cantidad de semilla germinada de chile habanero se debe considerar el tiempo de cosecha de la semilla y el periodo de almacenamiento para aplicar un método adecuado para inducir la germinación en este cultivo.

Bidwell R 1979 menciona que la sobreabundancia de nitrógeno causa con frecuencia una gran proliferación de tallos y hojas, pero determina una reducción de frutos en las plantas. un suministro de nitrógeno ligeramente reducido, en relación al suministro de potasio y fósforo da generalmente una producción mayor de semillas y fruto de cultivos agrícolas esto se comprueba con lo obtenido en esta investigación en donde a niveles alto de nitrógeno y fosforo, se observo poca semilla en fruto, lo cual nos indica que una relación de adecuada de los macroelementos en las plantas madres en conjunto de un prea condicionamiento de semilla incrementa los niveles de germinación en semillas de chile habanero.



## VI. CONCLUSIONES

La aplicación adecuada de nutrientes en las plantas madres ayuda a incrementar la calidad fisiológica de las semillas, presentando efectos adversos en el rendimiento de semilla al trabajar con altos niveles de N y P donde se presentó poca semilla en el fruto. Al trabajar con niveles reducidos de nitrógeno en relación con los de fósforo y potasio es donde se obtuvo porcentaje de germinación altos en semillas de habanero. En el pre- acondicionamiento de semillas se mostró que el empleo de temperatura y aplicación de  $\text{KNO}_3$  presentaron porcentajes altos de germinación. Siendo una alternativa eficaz y de bajo costo en la utilización de temperatura para inducir la germinación en semillas de chile habanero.

## VII. LITERATURA CITADA

- Abril R; Ruiz T; Alonso J; Cabrera G. (2017). Germinación, diámetro de semilla y tratamientos pregerminativos en especies con diferentes finalidades de uso. Agron. Mesoam. 28. Pp 703-717
- Andueza R; Latournerie L; Moran N; Cervantes F; Mendoza M; Antonio Rangel L. (2017). Respuesta fisiológica de la semilla de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) al almacenamiento. Revista acta universitaria. 27(6). Pp 10.
- Ayala M.(2012). Análisis del crecimiento y calidad de semillas de tres tipos de chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis Maestro en ciencias. Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. 92p.
- Ayala M; Ayala O; Aguilar V; Corona T.(2014). Evaluación de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto, 1DuPont Pioneer NRSP-Puerto Vallarta. pp.1
- Bidwell R (1979). Plant Physiology. Macmillan Publishing Co., Inc. 2a. edición. pp 804
- Borges L.; Chuc J.; Escamilla A.; Medina f. 2006. Cinética de la absorción de potasio por las raíces de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). agrobiología. 40(4). p 431-440.
- Borges-Gómez, Lizette; Soria-Fregoso, Manuel; Casanova-Villarreal, Víctor; Villanueva-Cohuo, Eduardo; Pereyda-Pérez, Gaspar (2008). Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero *Agrobiología*, 42(1), pp. 21-27
- Camacho F. (2011). Dormición de semillas causas y tratamientos. Segunda edición. Editorial Trillas. P.128-153. México.
- Castellanos, J; Muñoz, J. (2003). Curso Internacional de producción de hortalizas en invernadero. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Pecuarias y Forestales. Celaya, Guanajuato.
- Castellanos J. (2011). Manual de producción de tomate en invernadero INTAGRI. pp 131-148

- De la Rosa M, L Arce, JA Villarreal, L Ibarra, J Lozano. (2012). Germinación de semillas de chile simojovel (*Capsicum annuum* L.) previamente expuestas a NaCl y ácido giberélico. *Revista Internacional de Botánica*.pp.4
- F.A.O, (2008). Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del codex sobre frutas y hortalizas frescas. Mexico .p 1-29
- Garruña R; Latournerie L; Ayala O; Santamaria J; Pinzon L. (2014). Acondicionamiento pre-siembra una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq), IT de Conkal, Yucatán. pp 2.
- González H. (1994). Influencia del tamaño de semilla sobre la calidad fisiológica de la simiente del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de licenciatura. Departamento de fitotecnia. Universidad autónoma Chapingo. Chapingo, México. 56p.
- Gómez B.; J.G. (2010). Semillas hortícolas. Tomo II. Edit. CD. México, D.F. pp. 20.
- Gómez K. A. and A. A. Gomez 1984, statistical procedures for agricultural research (2 ed) John Wiley and Sons. New York. 680p.
- Hartmann HT; Kester DE; Davies Jr; Geneve RL (1997). Plant propagation-principles and practices. 6<sup>th</sup> edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. USA.
- ISTA (International Seed Testing Association) 2017. International rules for seed testing. Rules (2017). ISTA Editions. Bassersdorf, ch-switzerland. 243 p.
- INTAGRI. (2017a). Guía de fertilizantes nitrogenados para cultivos. Serie Nutrición Vegetal Núm. 106. Artículos técnicos de INTAGRI. México. 8 p.
- INTAGRI. (2017b). Uso eficiente del fósforo en la agricultura. Seria Nutrición Vegetal Núm. 105. Artículos técnicos de intagri. México. 5 p.
- INTAGRI. (2017c). Las Funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal Núm. 100. Artículos Técnicos de Intagri. México.4p
- INTAGRI. (2018). Los nutrientes y la calidad de las semillas. Agricultura moderna. 40. P 64-65
- Khan, A. (1977). The physiology and biochemistry os seed dormancy and germination. North-holland biomedical. Amsterdam. The Netherlands.pp.7-225.

- Laborde C., J.; Pozo C. (1982). Presente y pasado del chile en México. INIA-SARH; México, D.F. 80 p.
- Long-Solís J (1998). *Capsicum* y cultura: La historia del chile. México, Fondo de Cultura Económica. Pp 10
- López J.; Villegas O.; Sotelo H.; Andrade M. ; Juárez P.; Martínez E. (2017) Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(8): 1747-1758
- Monsalve J; Escobar R; Acevedo M; Sanchez M; Coopman R.(2015) seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*. 72(4). pp 363 373
- Matilla AJ (2008). Desarrollo y germinación de semillas. University of santigo de Compostela. P.1-19
- Moreno ME. (1996). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. UNAM. 383 p.
- Navarrete J; Soria M; Trejo J; Tuna J; Terán R. (2002). Paquete tecnológico para la producción de chile habanero. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2 Conkal, Yucatán. P.1-4.
- Nieves F.; Alejo G.; Luna G.; Lemus C.; Juárez P.; Salcedo E. (2015). EXTRACCIÓN Y REQUERIMIENTO DE FÓSFORO EN CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* JACQ.) 'BIG BROTHER. *Interciencias*. 40(4). P 282-286
- Olivera M. 2007. MANUAL DE PRODUCCION DE CHLILE EN INVERNADERO. Tesis en ingeniería de invernaderos. Universidad autónoma de Querétaro. 111 pp.
- Orville L; Stefferud A. (1961). semillas. Editorial Continental. Tercera edición. Estados Unidos. pp. 771-778
- Pacheco M. J. A. (2005). Proceso de producción de chile habanero en salsa, a desarrollarse en el departamento del Petén. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial,
- Prado U., G. (2006). Tecnología de producción comercial del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, 43 p.

- Peretti A.(1994). Manual para análisis de semillas. Editorial Hemisferio Sur. Primera edición. Instituto nacional de tecnología agropecuaria. P.1-14.
- Pérez A (2012) Evaluación de un proyecto de inversión para determinar hasta cuándo debe invertir los productores para diferenciar el chile habanero. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. 104 p.
- Pérez C. (2014). Cinética de la maduración de semilla de *Capsicum chinense Jacq.* Relacionada al desarrollo del fruto. Tesis de Maestría. Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. Texcoco, México, 78p.
- Ramírez, J. G., B. W, Avilés., E. R. Dzip. (2006). Áreas con potencial productivo para chile habanero (*Capsicum chinense*, Jacq) en el Estado de Yucatán. En: Primera Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. INIFAP, COFUPRO, CICY, AMEAS y otras Instituciones. Mérida, Yucatán, México. 66 p.
- Reveles M; Velásquez R; Reveles L; Mena J. (2013). Selección y conservación de semillas de chile: primer paso para una buena cosecha. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. P.1-6.
- Rodríguez, N. F. (2014). Micronutrientes en la agricultura de alto rendimiento. Curso Manejo de los Micronutrientes en cultivos de alto rendimiento. Integra. Gto, México.
- Ruíz-Lau N; Medina LF; Martínez EM (2011). El chile habanero: Su origen y sus usos. Ciencia. 70-77.
- Ruiz R. (2009). Potencial productivo y limitantes para la producción de chile habanero (*Capsicum chinense jacq*) en la zona centro del estado de Veracruz. Tesis doctoral. Campus Veracruz. Colegio de posgraduados. 143p.
- Salaya D. J. (2010). Elaboración artesanal de dos abonos líquidos fermentados y su efectividad en la producción de plántula de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq*).Tesis Maestro en Ciencias. Campus Tabasco. Colegio de Postgraduados, Cárdenas, Tabasco. pp. 11-1.
- Shiraii T. and Hashinawa M. (1995). Relación entre la acumulación y distribución de nitrógeno y la producción de grano durante la hipertrofia de grano en variedades nuevas y viejas de soja. El diario de la sociedad japonesa de la ciencia de la cosecha. 64(4). pp 754-759
- SIAP (2010). Panorama del cultivo de chile. Sistema de Información Agropecuaria. México, D.F. p. 1-20.

- SNICS. (2015). Manual gráfico para la descripción varietal de chile habanero. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, pesca y alimentación. Pp 65
- SIAP (2016). Producción nacional de chile alcanza 2.3 millones de toneladas. Sistema de Información Agropecuaria. México, ciudad de México. p 2.
- Tucuch C; Alcantar G; Ordaz V; Santizo J; Larque A. (2012). Producción y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con diferentes relaciones  $NH_4^+/NO_3^-$  y tamaño de partícula de sustratos. *Terra Latinoamerica* 30(1): pp 9-15.
- Tun DJC (2001). Chile habanero características y tecnología de producción, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.79 p.
- Thomson, J.R. (1979). An introduction to seed technology. Leonard Hill, London.252p.
- Villa C; Catalán V; Inzunza I; Román L; H. Macías R. (2010). Población de plantas y manejo de la solución nutrimental del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero. XXII Semana Internacional de Agronomía. pp. 569-573.
- Wall, M. M.; Waddell, C. A. and Bosland, P. W. (2001). Variation in  $\beta$ -carotene and total carotenoid content in fruits of *Capsicum*. *Hort. Sci.* 36(4):746-749.
- Zhao F.; Evans E.; Bilsborrow P.; Keith J.(1993). Influence of sulphur and nitrogen on seed yield and quality of low glucosinolate oilseed rape (*Brassica napus* L), *science of food and agriculture*. 63(1). Pp 29- 30

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS EN SEMILLA DE JICAMA  
(*Pachyrhizus erosus*) POR EFECTO DEL DETERIORO NATURAL**

**QUE PRESENTA**

**EDUARDO MENDOZA RAMOS**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: DR. RAMIRO RICO MARTÍNEZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.**

**JUNIO, 2018**

La tesis “Cambios fisiológicos y bioquímicos en semilla de jícama (*Pachyrhizus erosus*) por efecto del deterioro natural”, fue realizada por el alumno **Eduardo Mendoza Ramos**, bajo la dirección del Dr. Mariano Mendoza Elos y Dr. Ramiro Rico Martínez y asesoría del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y Dr. José Enrique Botello Álvarez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

Director:

---

Dr. Mariano Mendoza Elos  
Cédula: 3998828

Co-Director:

---

Dr. Ramiro Rico Martínez  
Cédula: 1623929

Asesor:

---

Dr. Francisco Cervantes Ortiz  
Cedula: 6758831

Asesor:

---

Dr. José Enrique Botello Álvarez  
Cédula: 3119544



## **DEDICATORIAS**

A Dios, por ser mi guía, mi camino, por permitirme consolidar un logro más, por tantas bendiciones día a día.

A Diana por su amor, su apoyo y comprensión, por estar a mi lado en todo momento.

A Esteban mi hijo, por su sonrisa, su energía, su amor por ser mi motor para seguir adelante, mi fuerza, mi todo.

A mis padres, por su amor, su ejemplo, su apoyo constante e incondicional, por sus sabios consejos.

A mis compañeros que se han vuelto verdaderos amigos, gracias por cada inolvidable momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme alcanzar una meta más en la vida y por otorgarme la gracia de vivir.

Al Instituto Tecnológico de Roque por ofrecerme la oportunidad de lograr mi formación académica y por las facilidades otorgadas para realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento con la beca otorgada, que me ha permitido concluir satisfactoriamente mis estudios de posgrado.

Al Dr. Francisco Cervantes Ortiz y Dr. José E. Botello; por su apoyo, su dirección, sus consejos, motivación y paciencia para llevar mi trabajo a buen término y durante mi estancia en el Instituto.

Al Dr. Ramiro Rico Martínez, por su valiosa participación como asesor, por sus sugerencias, consejos, recomendaciones y aportaciones que contribuyeron a mi preparación y la finalización de mi trabajo de tesis.

Al Dr. Mariano Mendoza Elos, por las asesorías brindadas y por contribuir en este trabajo y ser guía en mi preparación como profesional.

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
RESUMEN.....	v
SUMMARY.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 Origen del cultivo de Jícama.....	5
3.2 Importancia de la Jícama.....	6
3.3 Producción de Jícama en México.....	6
3.3.1 Producción de jícama a nivel nacional.....	6
3.3.2 Producción de jícama en el Estado de Guanajuato.....	9
3.4 Morfología de la jícama.....	10
3.4.1 Raíz.....	10
3.4.2 Hojas.....	11
3.4.3 Tallo.....	11
3.4.4 Flores.....	11
3.4.5 Semilla.....	12
3.5 Calidad de semilla.....	12
3.6 Componentes de calidad.....	15
3.6.1 Componente genético.....	15
3.6.2 Componente sanitario.....	16
3.6.3 Componente físico.....	16
3.6.4 Componente fisiológico.....	17
3.7 Factores que afectan la calidad de la semilla.....	18
3.7.1 Proceso de germinación.....	20
3.7.2 Absorción de agua o imbibición.....	21
3.8 Pruebas fisiológicas de calidad de semilla.....	23
3.8.1 Prueba de germinación estándar.....	23
3.8.2 Vigor.....	24
3.8.3 Vigor a través de la prueba de envejecimiento acelerado.....	25

3.9 Deterioro de semillas.....	26
3.9.1 Deterioro natural de las semillas .....	26
3.9.2 Alteraciones en membranas.....	28
3.9.3 Respiración.....	29
3.9.4 Humedad de la semilla .....	30
3.9.5 Predicción del deterioro de las semillas .....	30
3.10 Cambios que ocurren por efecto del deterioro .....	31
3.10.1 Factores que afectan la longevidad de la semilla .....	31
3.10.2 Factores genéticos.....	32
3.11 Factores de producción .....	32
3.12 Efecto del ambiente de almacén.....	33
3.13 Manifestación del deterioro.....	33
3.14 Cambios fisiológicos y bioquímicos .....	34
3.14.1 Cambios genéticos.....	35
3.15 Métodos para evaluar el deterioro.....	35
3.16. Composición química de las semillas .....	40
3.16.1. Función de las proteínas en las semillas.....	42
3.16.2. Movilización de reservas .....	42
3.16.3. Metabolismo de los hidratos de carbono .....	43
3.16.4. Metabolismo de las proteínas en las leguminosas .....	43
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	45
4.1 Ubicación del terreno experimental .....	45
4.2 Genotipo de Jícama evaluado.....	45
4.2.1 Descripción fenológica.....	45
4.3 Factores de estudio.....	45
4.3.1 Diseño de tratamientos .....	46
4.4 Caracteres de calidad fisiológica y vigor inicial de plántula.....	46
4.5 Caracteres registrados en laboratorio .....	47
4.5.1 Prueba de germinación Estándar (G.E) .....	47
4.6 Vigor en cama de arena bajo condiciones de invernadero.....	47
4.7 de Clorofila (Unidades SPAD).....	48
4.8 Caracteres bioquímicos .....	49
4.8.1 Contenido de humedad .....	49
4.8.2 Cenizas .....	49

4.8.3 Proteínas .....	49
4.8.4 Ácidos grasos.....	49
4.8.5 Carbohidratos .....	50
4.9 Análisis estadístico.....	50
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
5.1 Calidad de semillas .....	51
5.2 Vigor de Plántula en vivero.....	52
5.3 Pruebas bioquímicas.....	56
VI. CONCLUSIONES .....	60
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 3.1 Producción en México del cultivo de la Jícama.....	7
Tabla 3.2 Principales Estados productores de México.....	8
Tabla 3.3 Producción en el Estado de Guanajuato en 2015.....	9
Tabla 3.4 Producción de los últimos 3 años en el Estado de Guanajuato.....	10
Tabla 3.5 Composición proximal y mineral de semillas de jícama y harina.....	44
Tabla 4.1 Diseño de tratamientos en semilla de jícama.....	46
Tabla 5.1 Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad de semilla en jícama.....	51
Tabla 5.2 Prueba de comparación de medias para calidad de semilla en jícama.....	52
Tabla 5.3 Cuadrados medios del análisis de varianza para peso verde y seco de vástago e índice de clorofila en plántulas de jícama.....	53
Tabla 5.4 Cuadrados medios del análisis de varianza para velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia y altura de plántula en jícama.....	54
Tabla 5.5 Prueba de comparación de medias para caracteres de vigor inicial de plántula e índice de clorofila en semilla de jícama.....	56
Tabla 5.6 Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres bioquímicos en semilla de jícama con cinco años de almacenamiento.....	57
Tabla 5.7 Comparación de medias para caracteres bioquímicos en semilla de jícama almacenada por cinco años.....	58
Tabla 5.8 Análisis de correlación entre caracteres fisiológicos y componentes bioquímicos en semilla de jícama.....	59

**RESUMEN**

El objetivo de la presente investigación fue determinar los índices morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que ocurren en la semilla de jícama por efectos del almacenamiento natural. El experimento se estableció en el Instituto Tecnológico de Roque ubicado en Celaya, Guanajuato. Se evaluó la variedad amarilla Vega de San Juan con cinco años de almacenamiento natural. La semilla para cada año se clasificó en chica y grande usando un tamiz oblongo N° H 10/64" x3/4". Se registró el porcentaje de germinación estándar y en cama de arena bajo condiciones de vivero se midió la velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso seco de vástago y raíz, los índices de vigor I y II y el índice de clorofila. Finalmente, se obtuvo la composición bioquímica de la semilla; proteínas, aceites, carbohidratos y porcentaje de humedad en la semilla. En Laboratorio, se usó un diseño completamente aleatorizado con 10 tratamientos y cuatro repeticiones, usando 50 semillas por repetición. En cama de arena, se empleó un diseño de Bloques completos al azar con 10 tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los años de almacenamiento para todos los caracteres registrados. En este sentido, se encontró que la calidad fisiológica de la semilla disminuyó de forma significativa con el tiempo de almacenamiento de la semilla. Por otro lado, el contenido de humedad y porcentaje de proteína presentó el mismo comportamiento; sin embargo, los lípidos y carbohidratos aumentaron significativamente con respecto al tiempo de almacenamiento de la semilla. Finalmente, las semillas de mayor tamaño fueron consistentes con la más alta calidad fisiológica y la semilla chica presentó valores superiores en lípidos y carbohidratos.

**Palabras clave:** *Pachyrhizus erosus*, deterioro natural, calidad de semilla y componentes bioquímicos.

## SUMMARY

The objective of this research was to determine the morphological, physiological and biochemical indices that occur in jicama seed for natural storage effects. The experiment was established at the Technological Institute of Roque located in Celaya, Guanajuato. The yellow variety Vega de San Juan was evaluated with five years of natural storage. The seed for each year was classified into small and large using an oblong sieve N ° H 10/64 "x3 / 4". The percentage of standard germination was recorded and in litter under nursery conditions the emergence speed, emergency percentage, stem and root dry weight, vigor indexes I and II and the chlorophyll index were measured. Finally, the biochemical composition of the seed was obtained; proteins, oils, carbohydrates and percentage of humidity in the seed. In Laboratory, a completely randomized design with 10 treatments and four repetitions was used, using 50 seeds per repetition. In bed of sand, a design of complete blocks was used at random with 10 treatments and four repetitions. The results showed significant differences between storage years for all registered characters. In this sense, it was found that the physiological quality of the seed decreased significantly with the storage time of the seed. On the other hand, the moisture content and percentage of protein presented the same behavior; however, the lipids and carbohydrates increased significantly with respect to the storage time of the seed. Finally, the larger seeds were consistent with the highest physiological quality and the small seeds showed higher values in lipids and carbohydrates.

**Key words:** *Pachyrhizus erosus*, natural deterioration, seed quality and biochemical components.



## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la jícama en México durante el año 2015 obtuvo una superficie sembrada de 7434.5 hectáreas ocupando el lugar 53 a nivel nacional de producción agrícola en este año. Donde destaca como principal zona productora el estado de Nayarit con 2358.5 hectáreas, Veracruz 1084 hectáreas, Guanajuato 985.5 hectáreas, Michoacán 863.5 hectáreas, Morelos 719.7 hectáreas siendo estos estados los 5 principales productores durante el año 2015. Teniendo un rendimiento de 27.01 toneladas por hectáreas y un precio por tonelada de 3491.14 (SIAP, 2015). El valor económico de la jícama está en la utilización del tubérculo como alimento por su contenido nutrimental, además de ser un cultivo, de bajo costo y buena rentabilidad, con una importancia socioeconómica para los agricultores de escasos recursos (Heredia, 1985). Los científicos consideran a la jícama como una planta integral, ya que el tubérculo puede ser destinado para el consumo humano y animal; el follaje, que contiene entre 20 y 24% de proteína cruda, puede ser destinado para la alimentación de los animales; y las semillas, las cuales presentan compuestos tóxicos como la rotenona, sirven de insecticidas naturales biodegradables que pueden ser utilizados por la agroindustria (Oquendo, 2015).

Este tubérculo contiene una buena cantidad de agua, vitamina C, potasio, hierro, fósforo y sodio; es una excelente alternativa para quienes siguen un menú bajo en carbohidratos, y resulta ideal para consumo de los diabéticos porque sus azúcares no los metaboliza el organismo humano. Generalmente se consume crudo, con sal, limón y picante o en ensaladas (Idrovo y Arrobo, 2015). En contraste con el tubérculo, el resto de la planta es tóxico, porque la semilla tiene alto contenido del insecticida natural rotenona, y una vez molida se puede usar para combatir plagas. Una vez retirada la rotenona, el aceite de las semillas se puede emplear para consumo humano. Guardado en lugares secos, a temperaturas entre 12 y 16° C, el tubérculo de la jícama puede conservarse en buen estado entre uno a dos meses. (Polanco, 2011). El comportamiento de las semillas en almacenamiento es el patrón de envejecimiento y disminución del porcentaje de germinación y de cómo estos

patrones son influenciados por el ambiente durante el almacenamiento. (Hampton, 1995).

Durante el almacenamiento de las semillas, diversos mecanismos de deterioro disminuyen la germinación, velocidad de crecimiento de la plántula y tolerancia a condiciones adversas. La deterioración de la semilla, es la pérdida de ese vigor, y los procesos detrimentales pueden ser acelerados por un mal manejo postcosecha. Los conceptos de 'vigor', atributo perteneciente a las semillas capaces de germinar, y 'deterioro' están fisiológicamente ligados y son aspectos recíprocos que inciden en la calidad de la semilla. (Bradford, 2004; Estrada *et al.*, 2005; Quinto *et al.*, 2009) El deterioro tiene una connotación negativa, mientras que el vigor tiene un significado extremadamente positivo: el vigor disminuye a medida que el deterioro aumenta por incremento de la temperatura y la humedad relativa (HR) en el almacenamiento. Estrictamente, deterioro se refiere al proceso de envejecimiento y muerte de las semillas y por lo tanto, el vigor es el principal componente de la calidad que se ve afectado por el proceso de deterioro (Carvalho y Nakagawa, 1998; Delouche, 2002; Teofilo *et al.*, 2004). La longevidad de las semillas está determinada por un balance entre factores intrínsecos y extrínsecos que afectan principalmente los procesos de reparación y los mecanismos deletéreos del metabolismo (Bajaj, 1976). Además, el período en el que las semillas permanecen viables es extremadamente variable y está determinado genéticamente, aunque los factores ambientales y las condiciones de almacenamiento tienen un efecto decisivo en la duración de la vida de una semilla (Carvalho y Nakagawa, 1998).

La viabilidad de las semillas, su capacidad germinativa o concretamente el vigor de ellas es influenciado por diversos factores, que actúan desde la cosecha hasta el momento de la siembra. Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (International Seed Testing Association, 2004).

Los aspectos del comportamiento asociados con el vigor de las semillas incluyen: a) tasa y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento de plántulas; b) comportamiento en el campo, incluyendo la tasa y uniformidad de la emergencia de

las plántulas y c) comportamiento después del almacenamiento y transporte, particularmente la disminución de la capacidad de germinación (Bradford, 2004).

El vigor de las semillas se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas, incluyéndose: 1) cambios en los procesos bioquímicos; 2) la tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas y 3) la germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés. Las alteraciones en los procesos bioquímicos son generalmente los primeros cambios detectables que ocurren durante el deterioro de un lote de semillas. La prueba de conductividad eléctrica es considerada una buena prueba de vigor que permite medir el nivel de integridad de las membranas celulares (Ferguson, 1995). Las semillas almacenadas a la intemperie se mantienen húmedas por la lluvia, pero es posible que haya que humedecer periódicamente las que están bajo techo (Otegui *et al.*, 2007).

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Determinar los cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que ocurren en la semilla de jícama almacenadas bajo condiciones naturales.

### 2.2 Objetivos Específicos

Determinar la calidad fisiológica de la semilla de jícama por efecto del deterioro ambiental natural y tamaño de semilla.

Evaluar los cambios en humedad, proteína, aceite y carbohidratos en la semilla de jícama sometida a almacenamiento natural durante cinco años.

Medir el vigor inicial de la plántula en cama de arena bajo condiciones de vivero en semillas de jícama con cinco años de almacenamiento natural.

### 2.3. Hipótesis

Las condiciones y tiempo de almacenamiento disminuyen la calidad de la semilla y el vigor inicial en Jícama.

Las condiciones y tiempo de almacenamiento disminuyen las propiedades bioquímicas (proteína, aceites y carbohidratos) en semilla de Jícama.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Origen del cultivo de Jícama

Se cultivan tres especies de jícama: *P. erosus* (jícama o jícama mexicana), *P. tuberosus* (jíquima, chuín o jícama del Amazonas) y *P. ahípa* (ahípa). Las tres especies tienen su origen en América Latina: *P. erosus* (México y América Central), *P. tuberosus* (tierras bajas tropicales a lo largo de los Andes) y *P. ahípa* (valles andinos orientales subtropicales en Bolivia y la Argentina, de donde se cree que procede). La especie *P. tuberosus* también se cultiva en muchos países de Asia sudoriental. *Pachyrhizus erosus* es una planta leguminosa originaria de México, Centroamérica y Ecuador, que es cultivada especialmente por sus raíces tuberosas, las cuales son comestibles (Sorensen, 1996).

La jícama pertenece al género *Pachyrhizus* es localizado taxonómicamente en la subtribu Dicotiledónea, tribu Phaseoleae, dentro de la familia leguminosas (Fabaceae), (Sorensen 1988). Su nombre científico es *Pachyrhizus erosus*, y el origen de la palabra jícama es de la lengua náhuatl Xicama o Xicamatl. También es conocida como Jícama de agua, chata de agua (Martínez, 1979), Cajtzot (náhuatl), guyati (lengua zapoteca), jícame (lengua cora), mehen-chikam (lengua maya), shigan (lengua popoluca), xata-té (lengua huichol), xicama (lengua náhuatl), cobem (lengua huasteca), cuyin (lengua totonaca), mechen, chikam, cájtzote, caltzotl (McVaugh, 1987; Martínez 1979), revisado por Sorensen (1996). En inglés se conoce como "Yam bean". En las islas del pacífico como Hikama, Sinkamas, Bakuwang, Bangkowan; Huivi - Hirís, etc., en China recibe los nombres de To suu, Ti cual, Sha k'o y Liang zuu. (McVaugh, 1987).

Desde de México su cultivo se extendió a Indonesia, a las islas del Pacífico, a China y al sudeste asiático. Pertenece a la familia Fabaceae, es una planta enredadera que llega a crecer hasta seis metros de largo, sus hojas no son comestibles y las semillas que aparecen en vainas son venenosas; lo que nosotros consumimos son

los tubérculos o bulbos que crecen debajo de la tierra y pueden alcanzar hasta decenas de kilos, aunque las que encontramos comúnmente en los mercados no pasan de los tres o cuatro kilos e inclusive se venden jicamitas chicas conocidas como "piñateras." (Heike, 2012).

### **3.2 Importancia de la Jícama**

El cultivo de jícama (*Pachyrhizus erosus*) es de gran importancia en la alimentación, sociedad, cultura y economía de México. En los últimos años, los cambios en la alimentación mundial se orientan a una conciencia por alimentos saludables y con valor nutricional. Sólo en Estados Unidos, este mercado representa más de 450 mil millones de dólares, con millones de latinos que demandan productos en fresco y procesados (Heredia, 1985; Díaz, 1978). La jícama es una hortaliza que no ha sido muy explotada, al ser considerada como un subproducto, lo cual representa una ventaja para introducirla en mercados internacionales en donde existan grandes comunidades asiáticas que demandan grandes volúmenes de este producto (FAO 1985).

### **3.3 Producción de Jícama en México**

#### **3.3.1 Producción de jícama a nivel nacional**

De acuerdo a los datos de producción del Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pecuaría (SIAP, 2016), se ha encontrado que (Tabla 3.1) ha existido un incremento en la superficie sembrada desde el 2013 al 2015 con 495.4 hectáreas y una ganancia en la producción enorme ya que en el año 2013 se obtuvo una ganancia de 475, 249,390.000 millones de pesos mientras que en el 2015 con menos superficie sembrada se obtuvo 674, 500,780.000 millones de pesos.

Tabla 3.1. Producción en México del cultivo de la Jícama

Año	Cultivo	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton ha <sup>-1</sup> )	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
2013	Jícama	6,939.10	6,851.10	179,453.34	26.19	2,648.32	475,249.39
2014	Jícama	8,321.63	7,295.63	187,188.19	25.66	3,172.96	593,941.35
2015	Jícama	7,434.50	7,153.98	193,203.44	27.01	3,491.14	674,500.78

De acuerdo con datos del SIAP (2016) el principal productor de esta hortaliza en México es Nayarit seguido de Veracruz, Guanajuato, Michoacán y Morelos siendo estos los principales productores del país, con una siembra de 6010.5 hectáreas (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Principales Estados productores de México.

	(ha)	(ha)	(ton)	(ton ha <sup>-1</sup> )	(\$/ton)	(Miles de Pesos)
Nayarit	2,358.50	2,173.71	68,923.71	31.71	2,989.21	206,027.34
Veracruz	1,084.00	1,004.00	22,154.40	22.07	2,929.72	64,906.24
<b>Guanajuato</b>	<b>985.5</b>	<b>985.5</b>	<b>28,755.30</b>	<b>29.18</b>	<b>2,902.11</b>	<b>83,450.92</b>
Michoacán	863.5	863.5	18,416.28	21.33	4,358.29	80,263.43
Morelos	719.7	719.7	26,062.20	36.21	5,324.10	138,757.89
Puebla	473	473	7,337.30	15.51	2,930.39	21,501.14
Guerrero	338.3	336.57	10,260.56	30.49	3,442.23	35,319.16
Querétaro	152	138	2,967.30	21.5	2,876.60	8,535.73
Jalisco	125.5	125.5	2,878.00	22.93	4,050.82	11,658.25
Campeche	78	78	792.2	10.16	7,212.44	5,713.70
Colima	72	72	1,822.64	25.31	3,013.80	5,493.08
Yucatán	63	63	635.5	10.09	7,971.88	5,066.13
Sinaloa	42	42	1,113.00	26.5	3,487.50	3,881.59
Baja	29	29	520.5	17.95	3,153.46	1,641.37
California Sur						
México	24.5	24.5	212.55	8.68	5,345.10	1,136.10
San Luis	18	18	324	18	3,240.74	1,050.00
Potosí						
Quintana	8	8	28	3.5	3,525.00	98.7
Roo						
	<b>7,434.50</b>	<b>7,153.98</b>	<b>193,203.44</b>	<b>27.01</b>	<b>3,491.14</b>	<b>674,500.78</b>

SIAP (2016)



### 3.3.2 Producción de jícama en el Estado de Guanajuato

En la Tabla 3.3 se presentan las estadísticas de producción del Estado de Guanajuato (SIAP, 2016).

Tabla 3.3. Producción en el Estado de Guanajuato en 2015.

Municipio	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton ha <sup>-1</sup> )	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Romita	300	300	9,500.00	31.67	2,481.05	23,570.00
Celaya	292	292	8,103.00	27.75	3,398.29	27,536.34
Silao de La Victoria	160	160	4,770.00	29.81	2,314.42	11,039.80
Comonfort	140	140	3,650.00	26.07	3,413.97	12,461.00
Santa Cruz de Juventino	60	60	1,650.00	27.5	3,288.64	5,426.26
Rosas						
León	16.5	16.5	570	34.54	2,583.33	1,472.50
Tarandacua	10	10	320	32	4,200.00	1,344.00
Apaseo El Alto	4	4	102	25.5	3,325.00	339.15
Dolores Hidalgo Cuna de la Independencia	3	3	90.3	30.1	2,900.00	261.87
	<b>985.5</b>	<b>985.5</b>	<b>28,755.30</b>	<b>29.18</b>	<b>2,902.11</b>	<b>83,450.92</b>

Por otro lado, en la Tabla 3.4 se presentan estadísticas de los años 2013, 2014 y 2015 de producción en el Estado de Guanajuato (SIAP, 2016).

Tabla 3.4. Producción de los últimos 3 años en el Estado de Guanajuato.

Año	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton ha <sup>-1</sup> )	PMR (\$/ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
2013	299	299	8,789.00	29.39	2,542.74	22,348.14
2014	559	559	15,750.00	28.18	2,453.44	38,641.63
2015	985.5	985.5	28,755.30	29.18	2,902.11	83,450.92

De acuerdo a los datos del SIAP la producción de jícama en el estado de Guanajuato ha incrementado un 33% desde el año 2013 hasta el año 2015. Convirtiéndolo en unos de los principales productores del país (Tabla 3.4).

### 3.4 Morfología de la jícama

En México, solamente *Pachyrhizus erosus* ha sido introducida, con alta producción y no se explican por qué los otros dos géneros carecen de características atractivas agrícolas para su explotación (Sorensen, 1996). Una revisión hecha por Clausen (1945) menciona que, el género *Pachyrhizus* morfológicamente está delimitado por la presencia de las siguientes características: Es una planta herbácea con un tallo débil, rastrero o trepador (enredadera) perenne con una o más raíces tuberosas y es una de las leguminosas de crecimiento más rápido y vigoroso, con tallos muy delgados y muy ramificados de color verde o negro azulados que pueden alcanzar hasta 6 metros de largo (Sorensen, 1996).

Trepadora con una raíz tuberosa, hojas trifoliadas (pero variables en forma), con estípulas y estipelas, flores en grupos (fascículos) sobre una inflorescencia larga (racimo), flores azules a violetas o blancas con la forma papilionácea típica, estilo con pelos en un lado ("barbado"), estigma globoso, legumbre recta con constricciones entre las semillas, pétalos sin pelos (Julio, 1993).

#### 3.4.1 Raíz

La raíz es la parte comercial de la planta, es tuberosa y está formada por uno (variedades mejoradas) o por varios pseudo tubérculos (variedades silvestres), los

cuales varían considerablemente de forma y tamaño, los hay ovales, periformes y achatados globosos, con un color externo café claro, puede llegar a alcanzar hasta 30 cm o más de diámetro a los 150 días post siembra, siendo más estimadas las achatadas y de mayor diámetro, estos parámetros están dados en base a la variedad, época, método y densidad de siembra. Las variedades mejoradas presentan altos rendimientos de producción (Córdova, 2006).

### **3.4.2 Hojas**

Con una gran variación en el contorno o perfil de las hojas desde dentadas a palmeadas, las cuales son alternas compuestas, de tres folíolos siendo el folíolo central el de mayor tamaño, por lo general los folíolos tienen de 3.0 a 15.5 cm de longitud y 2.0 a 16.0 cm de ancho y están unidos al tallo por peciolo estipulados. Frecuentemente simples o lobulados y enteras o toscamente enteras. La especie se define por la carencia de pelo en los pétalos, el número de flores (4 a 11) compuesto por un axis o inflorescencias lateral formando complejos racimos y una larga de 8 a 45 cm de un color violeta o blanquecino (Sorensen, 1996).

### **3.4.3 Tallo**

Según Seminario *et al.* (2003), si la planta proviene de una semilla, posee un solo tallo principal, a veces ramificado desde la base, otras veces, sólo con ramas pequeñas en la parte superior.

### **3.4.4 Flores**

El cáliz de la flor es de color grisáceo café, irregularmente con cuatro o cinco lóbulos profundamente alargados y escotados (Sorensen, 1988-1990). La corola es papilionácea, con estandarte muy ancho sub - orbicular, el cual mide entre 10 y 12 mm, de color morado hasta blanco, alas erectas o oblancoadas y con espolones. La quilla de la flor oblancoadas está unida en su totalidad, excepto en la base. Los estambres son diadelfos de 17 a 22 mm de longitud, el pistilo mide de 14 a 23 mm

de longitud y tiene estilo ciliado, encorvado y algo expandido en el ápice (Sorensen, 1996).

Todas las especies tienen flores bisexuales, son autopolinizables y la ocurrencia de cruza o multiplicación depende de la capacidad de los polinizadores, hay mucha diferencia entre las especies. La cruza se limita cuando el cultivo ésta en lugares de temporal (Sorensen, 1988,1990). La floración ocurre entre los 2 y 2.5 meses después de la germinación variando con la longitud del día. Se lleva a cabo durante todo el año excepto en Enero, alcanzando un 90 % en los meses de julio a octubre, finalizando en época de lluvia, las leguminosas maduras son recogidas desde agosto a febrero según la época de siembra (Sorensen, 1990).

#### **3.4.5 Semilla**

La vaina es oblonga y mide de 6 a 13 cm de longitud por 0.8 a 2 cm de ancho, pubescente y algo suave cuando está maduro; Cada inflorescencia llega a producir de 5 a 12 vainas con 8 a 10 semillas cada una, planas y lisas, vagamente cuadrangulares o redondeadas y miden de 6 a 10 mm de longitud y de 5 a 10 mm de ancho, con testa de color verde oliva café a café rojizo, con un peso de 0.2 g, La germinación se favorece a más de 15 °C tarda de 5 a 12 días con una viabilidad de 3 a 4 años (Sorensen, 1988,1999). Tiene una composición similar a las raíces pero más ricas en proteínas (15 a 20 %), contienen de un 20 a 30.5 % de aceites (palmítico, esteárico, oleico, linoleico), dado a su alta calidad podría ser usado con fines comestibles con una adecuada purificación antes de su consumo, contiene alto contenido de retonona sustancia insecticida (Casanueva, 1995).

#### **3.5 Calidad de semilla**

Thomson (1979), menciona que la calidad de la semilla es un concepto múltiple que comprende diversos componentes, los cuales se refieren a la aptitud de la semilla para sembrarse, como son: componente genético, fisiológico, sanitario y características físicas. Por su parte, Garay (1989) coincide con este autor y menciona además que la presencia de los cuatro componentes permite que la

semilla logre en su máxima calidad integral. Este concepto también coincide con lo mencionado por Bustamante (1995), quien además estableció la necesidad de identificar claramente los aspectos que requieren atención y definir los límites de tolerancia que garantice, en cada etapa, el logro de la máxima calidad genética, física, fisiológica y sanitaria de la semilla producida.

La calidad de semilla puede ser vista como un patrón de excelencia que van a determinar el desempeño de la semilla en la siembra o en el almacén; y que es utilizada para reflejar el valor de la semilla para propósitos específicos, como es la distribución y comercialización (Hampton, 2001).

De manera general se tiene que:

$$\textit{Calidad} = G + F + S + CF$$

Donde:

G = Componente genético

F = Componente fisiológico

S = Componente sanitario

CF = Características físicas

Es importante señalar que el vigor de la semilla se basa en el comportamiento físico o fisiológico de un lote de semillas, incluyéndose: 1) cambios en los procesos bioquímicos; 2) la tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de las plántulas y 3) la germinación o capacidad de emergencia de las semillas al ser expuestas a condiciones de estrés. Las alteraciones en los procesos bioquímicos son generalmente los primeros cambios detectables que ocurren durante el deterioro de un lote de semillas (Ferguson, 1995).

La alta calidad de una semilla se traduce en la uniformidad poblacional, ausencia de enfermedades, alto vigor de la planta y mayor productividad y está determinada por características genéticas, físicas, sanitarias y fisiológicas. La calidad genética se relaciona con el origen de la semilla, homogeneidad, resistencias a plagas y enfermedades, potencial productivo, precocidad y calidad del producto; la calidad física implica la ausencia de materiales inertes y de materiales ajenos a la semilla,

contenido de humedad, peso, tamaño, color y apariencia; la calidad sanitaria exige ausencia de problemas sanitarias que afecten a la semilla o que interfieran con la producción; la calidad fisiológica determina la capacidad de desempeño de funciones vitales y está determinada por la germinación, vigor y potencial de almacenamiento (Popinigis, 1985; Douglas, 1991).

Por su parte, Sánchez (2004) define la calidad de semilla "como el conjunto de sus atributos que involucran cuatro factores: genético, físico, fisiológico y sanitario (carencia de enfermedades transmisibles). Mientras que, Bernal (1996) señala que la calidad de semilla es su capacidad para germinar y producir una plántula normal en el menor tiempo posible.

La calidad de semilla es una de los factores que rige el potencial de rendimiento en una variedad. La buena semilla según pinchinat (1965), es físicamente sana, fisiológicamente viable y genéticamente adaptada a las condiciones locales.

Del mismo modo, Pollock (1961) considera que la expresión del potencial genético de una variedad está determinado por dos factores: 1) el complejo genético y 2) las condiciones ambientales durante el desarrollo y posterior manejo de la misma. El embrión dentro de la semilla recibe el potencial genético de sus padres, pero el grado en el cual puede expresar este potencial está determinado por todos los factores ambientales a los cuales está expuesto.

El CIAT (1980) señala que una semilla es de buena calidad presenta pureza tanto varietal como física, un alto porcentaje de germinación y está libre de organismos patógenos. Una semilla de buena calidad permite al agricultor obtener rendimientos significativamente mayores. Es un elemento básico en el trabajo de fitomejoradores, agrónomos y empresas productoras de semillas.

Poulsen (2000) menciona las siguientes ventajas de la semilla de buena calidad:

- Mejor condición para el almacenamiento
- Desperdicio mínimo de la semilla.
- Plantas uniformes en espacios acondicionados como los viveros
- Mayor acierto en la producción de plantas
- Posibilidades de desarrollar producción avanzada de plantas

- Mejora en técnicas y métodos de plantación

Por otro lado, Herrera *et al.* (2000) describen como ventaja de la semilla de alta calidad, el dar origen a cultivos uniformes, con semillas de color y forma propia de cada variedad, sin mezclas de otras variedades, lo cual también asegura una madurez uniforme. Al ser semilla de buena calidad estará libre de plagas y enfermedades. Por esta razón hay un buen desarrollo del cultivo, lo que significa mayor potencial de rendimiento, mejor calidad del producto y mejor aceptación en el comercio. La semilla de alta calidad produce plantas vigorosas, tallos fuertes y otras características que le confieren a la planta la capacidad de tolerar ataques de plagas y enfermedades entre otros factores adversos.

Muchos agricultores juzgan la calidad de la semilla por su apariencia física; es decir, tamaño, color y ausencia de materiales extraños, pero rara vez son capaces de identificar la variedad o de predecir el potencial de germinación de la semilla con sólo mirarla. En este sentido, se debe evaluar la calidad de las mismas con base a su alta pureza física (materia inerte y de semilla de malezas o de otros cultivos); alto porcentaje de germinación; ausencia de enfermedades, autenticidad en cuanto al tipo y la variedad y que provenga de una variedad mejorada y que de buenos resultados bajo condiciones para las que se ha seleccionado (Douglas y Monsalve, 1982).

### **3.6 Componentes de calidad**

#### **3.6.1 Componente genético**

Thomson (1979), menciona que la calidad se determina por el genotipo de la variedad o híbrido, llamando calidad genética a las características sobresalientes del material genético superior. Las cuales son obtenidas durante la etapa de mejoramiento genética (Garay, 1989); y para que no se pierdan, es necesario identificar los cultivares de potencial y valor comercial (De la Torre, 1992).

### 3.6.2 Componente sanitario

La sanidad de semillas es la ausencia de organismos causantes de enfermedades, tales como hongos, bacterias y virus, y plagas, como son nematodos o insectos, además condiciones fisiológicas como vestigios de deficiencia de elementos que pueden estar incluidos (ISTA, 1996). Por su parte, Garay (1989) menciona que la sanidad de la semilla es una de las cualidades básicas ya que influye en el potencial de productividad. Por otra parte, el concepto de sanidad se ha ampliado para considerar la presencia de toxinas producidas por los microorganismos que pueden contaminar un lote. Respecto a esto, Champeil *et al.* (2003) mencionan que el nivel de contaminación del grano por micotoxinas depende del clima y de los sistemas de siembra. Los mismos autores realizaron un estudio en cuatro sistemas de siembra, en tres ciclos de cultivo, con contaminación natural de *Fusarium*; la severidad de *Fusarium* y niveles de toxinas difirieron entre años, debido a efectos climáticos.

### 3.6.3 Componente físico

La pureza analítica, el contenido de humedad, peso de la semilla y el color, entre otras, son indicadores de la calidad de un lote de semillas como lo menciona Garay (1989) quien al mismo tiempo señala que todos los componentes juegan un papel importante en la aptitud de la semilla para la siembra, y que la calidad de ésta puede ser calificada a partir de ciertos atributos como: pureza genética, viabilidad, vigor, magnitud de daño mecánico, grado de sanidad, contenido de humedad, pureza física, uniformidad, apariencia, peso de la semilla y otros.

Respecto al tamaño de semilla, Thomson (1979), menciona dos componentes físicos esenciales, el tamaño y la uniformidad tiene su origen en las condiciones ambientales.

La calidad física de las semillas consiste en determinar el contenido de humedad, pureza física de la semilla y el peso por volumen (Hernández, 1985).

Uno de los aspectos más importantes del análisis de las semillas agrícolas es la pureza física y para su evaluación se han desarrollado métodos específicos para



ser utilizados en los programas de producción y comercialización de semilla certificada (Moreno, 1984).

### **3.6.4 Componente fisiológico**

La calidad fisiológica de la semilla incluye los atributos de viabilidad, capacidad de germinación y vigor; en este sentido, Bustamante (1995), menciona que siendo la semilla un insumo vivo, es importante que cuente con la capacidad de reproducir una planta para lograr su establecimiento en campo y obtener rendimientos aceptables de forraje y/o grano. La calidad fisiológica posee un valor comercial puesto que es el principal atributo a evaluar, este consiste en la capacidad de la semilla para germinar y producir una plántula normal (Moreno, 1996). Por su parte Thomson (1979), estableció que las características de la semilla son que fuera viable, que tuviera alta capacidad de germinación y vigor; así mismo, que la calidad fisiológica depende de muchos factores y puede ser muy fácilmente dañada en cualquiera de sus etapas: maduración, cosecha, trillado, secado, desgrane, acondicionamiento, almacenamiento, distribución, siembra y en el suelo mismo.

Moreno (1996) define a la germinación como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables, coincidiendo con las definiciones de la AOSA (1993) e ISTA (1996). Esta última añade que, la germinación de semillas en un ensayo de laboratorio es la emergencia y desarrollo de la plántula a un estado donde el aspecto de sus estructuras esenciales indican si son o no capaces de desarrollarse en una planta satisfactoria bajo condiciones favorables de suelo.

Otro de los atributos que actualmente se ha considerado dentro del manejo de semillas es el vigor, el cual, la ISTA en 1977 definió como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de plántula. Este concepto varió un poco a partir de 1980 cuando la AOSA definió el vigor como aquellas propiedades que determinan el potencial para una rápida, uniforme emergencia y

desarrollo de plántula, bajo una amplia variación de condiciones de campo (Moreno, 1996). El mismo autor menciona que, evaluar el vigor de las semillas es de gran utilidad para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas. Finalmente la ISTA (1996) menciona que, las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas de bajo vigor.

Evans y Turnbull (2004) consideran que semillas con buena calidad fisiológica en la industria, es aquella que tiene alto porcentaje de germinación y vigor. Además tiene ventajas como la mejora de vida de almacenamiento, un mínimo desperdicio de semilla y plantas uniformes en viveros y semilleros.

Para Elevitch (2004) la calidad fisiológica se refiere a las características de la semilla como la madurez, contenido de humedad y la habilidad para germinar. Por otro lado, Bewley *et al.* (2006), señalan que la calidad fisiológica se refiere a la habilidad para germinar, el vigor y algunos aspectos genéticos como la heterosis, dentro de los descriptores de calidad fisiológica de la semilla.

### **3.7 Factores que afectan la calidad de la semilla**

La calidad fisiológica depende de factores bióticos y abióticos que pueden fácilmente dañar la maduración, cosecha, secado, almacenamiento, acondicionamiento, distribución y durante la siembra; y añade que la semilla como una unidad biológica es susceptible a ser dañada en todo instante, por lo que su manejo desde la maduración hasta la siembra requiere de alto grado de especialización (Bustamante, 1995).

Según Ferguson (1995), uno de los componentes de la calidad que muestra señales de deterioro, es el vigor de las semillas, seguido por una reducción en la germinación o en la producción de plántulas normales y finalmente, la muerte de las semillas.

Otros aspectos que pueden influir en la calidad de las semillas, según Moreno (1996) son:

- a) **Genotipo.** La constitución genética determina el vigor sobre todo en la plántula.
- b) **Madurez de la semilla.** Según la madurez de la semilla, el potencial de germinación y vigor aumenta. Las semillas maduras dan su máxima expresión de vigor en contraste con las semillas inmaduras.
- c) **Condiciones ambientales.** La temperatura del aire y disponibilidad de humedad del suelo, afectan el tamaño de la semilla durante el desarrollo, el rendimiento posterior, la germinación y el vigor.
- d) **Tamaño de la semilla**
- e) **Daño mecánico.** Semillas dañadas mecánicamente pueden parecer normales, pero presentan un menor vigor que las semillas sin dañar. Este se puede presentar en la trilla, en la limpieza, en el tratamiento, en el envasado, en el transporte y/o durante la siembra.
- f) **Envejecimiento.** Disminuye el vigor, y es más susceptible a plagas y enfermedades.
- g) **El ataque de plagas y/o enfermedades.** Ya sean transmitidas por la misma semilla, o el suelo que está contaminado, afectan la germinación y el vigor.

Baud *et al.* (2002) describieron el desarrollo de la semilla en tres etapas. Durante la primera etapa se presenta la embriogénesis temprana (es decir, la morfogénesis), el peso de la semilla aumenta y el contenido de lípidos son bajos, mientras que las cantidades importantes de almidón se acumula transitoriamente. En la segunda etapa, o la fase de la maduración, se presenta un aumento rápido en peso seco de la semilla y la acumulación de grandes cantidades de aceites y proteínas, donde se tiene aproximadamente 40% de materia seca. Durante la tercera y última etapa (maduración incluyendo la adquisición de la tolerancia a la desecación), sigue siendo constante el peso seco, mientras exige una pérdida aguda de agua en la semilla la síntesis del almacenaje termina con la acumulación de sacarosa y rafinosa. Revelando la ocurrencia de actividades metabólicas, tales como la síntesis

de la proteína en la fase de la desecación del embrión, y una correlación llamativa entre los picos en hexosa al cociente de la sacarosa y las fases de la transición durante la embriogénesis.

D'Antonino (1993) reporta que, bajo condiciones de almacenamiento las semillas pueden tener calidades diferentes, que dependen de variables ocurridas en etapas anteriores. De este modo, no se puede esperar que un lote de semillas de calidad mediana se comporte igual que un lote de semillas de alta calidad. La calidad inicial de las semillas, según éste autor, depende de los siguientes factores: condiciones climáticas durante el período de maduración de la semilla, grado de maduración en el momento de la cosecha, daños mecánicos, impurezas, humedad, temperatura, microorganismos, insectos y roedores. Algunos de estos factores que afectan la calidad dependen en gran manera al tipo de almacén que se le dé a la semilla y el tratamiento químico que se le aplique, ya que este sirve como preventivo o como correctivo.

Dentro de los procesos que influyen en el comportamiento de la semilla sobre el vigor están: los procesos bioquímicos durante la germinación, las reacciones enzimáticas, la actividad respiratoria, la tasa y uniformidad de germinación de la semilla, el crecimiento de la plántula en el campo, y la habilidad de emergencia de la plántula bajo condiciones no favorables. De igual manera, los efectos del nivel del vigor pueden persistir para influir en el desarrollo de la planta, uniformidad del cultivo y el rendimiento (Perry, 1987).

### **3.7.1 Proceso de germinación**

El proceso de germinación visto desde un enfoque bioquímico, fue descrito por Weaver (1980) de la siguiente manera:

- a) El agua del medio entra en la semilla, mediante la diferencia entre el potencial hídrico del medio y potencial hídrico de la semilla; y tanto las células del embrión como del endospermo se hidratan y entra en actividad, por lo que la semilla se hincha. La absorción de agua es un proceso físico-químico y se lleva a cabo más rápido a temperaturas altas.

- b) El embrión empieza a producir ácido giberélico ( $GA_3$ ), que va a actuar en la capa de aleurona que rodea al endospermo y la induce a secretar enzimas hidrolíticas, como el alfa-amilasa, glucosinasa, fosforilasa, lipasa, etc.
- c) Por la acción de la alfa-amilasa y otras enzimas, el almidón se hidroliza liberando glucosa, quien proporciona al embrión energía para su desarrollo.
- d) El embrión empieza a producir citocininas, que junto con el ácido giberélico inducen las síntesis de otras enzimas que degradan las proteínas y lípidos en compuestos más simples.
- e) Por la acción de citocininas y contando con la energía producto de la oxidación de la glucosa y con proteínas solubles, las células del embrión se dividen activamente al romperse la radícula, la testa o pericarpio; y se da por terminado el proceso de germinación.
- f) Las células del endospermo y posteriormente las del embrión sintetizan auxinas, quienes inducen al alargamiento de los meristemas de la radícula primero y del talluelo después. Con un rápido crecimiento inducido por la acción de las auxinas, las citocininas inician el proceso de la diferenciación de los tejidos, así como el crecimiento direccional del talluelo hacia arriba y el de la raíz hacia abajo.

Por su parte, Copeland y McDonald (1985) describieron el proceso de germinación, como una secuencia de eventos físicos, fisiológicos y bioquímicos muy generales, agrupándolos como:

- Imbibición. Absorción física del agua.
- Hidratación y activación. Activación de las enzimas y formación de vacuolas.
- División celular y extensión. Iniciación del crecimiento del embrión.
- Resurgimiento. Ruptura de la cubierta de la semilla.
- Emergencia de la plántula. Emergencia física del embrión de la semilla.

### **3.7.2 Absorción de agua o imbibición**

Según Besnier (1989), la imbibición es una condición indispensable en las semillas secas para la activación del metabolismo y la subsiguiente germinación. Así mismo,

señala que la absorción de agua suele efectuarse en tres fases; en una fase inicial de rápida absorción, una fase intermedia, en la cual, el contenido de agua de la semilla permanece casi constante, y una fase final de intensa absorción que está relacionada con el alargamiento de las células y la aparición de la radícula.

La primera fase es denominada imbibición, está relacionada con la diferencia del potencial hídrico existente entre la semilla y el sustrato húmedo en el que éstas se encuentran. Constituye un fenómeno puramente físico que tiene también lugar en las semillas muertas o aletargadas y va acompañado por el desprendimiento de calor. Por su parte Bidwell (1979), define la imbibición como el mecanismo de actuación de procesos bioquímicos, la cual está aplicada en la absorción del agua mediante el movimiento de ésta, de un área de alto potencia hídrico a otra de bajo potencial.

En condiciones naturales, la uniformidad y la rapidez de imbibición dependen de la morfología y de la permeabilidad de las cubiertas, de las características del contacto de semillas con el sustrato húmedo y la diferencia de potencial hídrico. Popinigis (1985) coincide con lo anterior, mencionando que la velocidad de la imbibición de la semilla es afectada por la especie, permeabilidad de la cubierta, temperatura, área de contacto, composición química y condición fisiológica, cantidad de agua y presión hidrostática.

Besnier (1989) menciona que la rapidez de la imbibición, especialmente cuando existe un exceso de agua en el sustrato, tiene generalmente efectos desfavorables para la germinación y el crecimiento de las plántulas. Si la hidratación es muy rápida, el contenido celular se hace soluble, pero las paredes celulares no están aún lo suficientemente hidratadas para funcionar como membranas permeables e impedir la salida de solutos. Además, si las cubiertas están dañadas se produce una pérdida de solutos hacia el sustrato, lo que significa que no solo existe una disminución de las reservas, sino también, el enriquecimiento del sustrato con nutrientes, lo que favorece el desarrollo de hongos del suelo. También nos dice, que estos fenómenos son importantes y bien conocidos en el caso de las semillas de leguminosas y los daños se agravan cuando la imbibición es rápida y se hace a baja temperatura, todo

esto parece ser debido a una maduración imperfecta de las semillas a causa de temperaturas inadecuadas.

En muchos casos, la entrada inicial de agua tiene lugar por el micrópilo o por el callo, tras lo cual, al hincharse las semillas, las cubiertas se abren y se hacen permeables. En las semillas relativamente grandes de cereales, quienes tienen el embrión situado junto a las cubiertas, éste puede ser hidratado completamente, mientras que el resto de la semilla no lo está; esto es debido a causa de un mayor contenido de proteínas, el embrión absorbe mayor cantidad de agua proporcionalmente, que el endospermo rico en almidón.

### **3.8 Pruebas fisiológicas de calidad de semilla**

#### **3.8.1 Prueba de germinación estándar**

Esta es una de las más ampliamente usadas para estimar la germinación de las semillas. Usualmente la germinación se establece en papel, arena o en otro medio con condiciones cálido-húmedas. Estima el máximo porcentaje de semilla capaz de desarrollarse en plántulas sanas. Los procesos de germinación varían para diferentes cultivos y han sido estandarizados por la International Seed Testing Association (ISTA) y la Association of Official Seed Analysts (AOSA) (Mullen, 2003). La germinación es la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Moreno, 1984). Por otra parte, Sierra (2005) opina que germinación es la reanudación del crecimiento y desarrollo del embrión para originar una planta nueva.

Las semillas no germinan normalmente hasta que hayan sido objeto de un periodo considerable de crecimiento, desarrollo y acumulación de reservas. Se mantienen en quiescencia y pueden ser almacenadas por meses o años sin daño, pero una vez suplida la necesidad de agua se hidratarán de nuevo y comenzará otra fase de actividad, esta resulta en el crecimiento de la raíz y más adelante el lanzamiento a

expensas de los materiales de reservas. Se reconocen tres fases de desarrollo: imbibición, fase de retraso y germinación.

La germinación es una característica de calidad de la semilla y se determina mediante un análisis. La ISTA (2005) señala que la prueba de germinación en un laboratorio está dada por la emergencia y desarrollo de estructuras en etapa donde el aspecto de su estructura esencial indica si es o no es capaz de desarrollarse en una planta satisfactoria en condiciones favorables en el suelo. Esta prueba clasifica a las plántulas en normales, anormales y semillas sin germinar (semillas duras, muertas, frescas). Los resultados se expresarán en porcentaje de germinación con el número de plántulas normales que puede suponerse que se convertirían en plantas fuertes (FAO, 1985).

La prueba de germinación estándar, que se considera la prueba universal de calidad de la semilla, evalúa el máximo de potencial de un lote de semillas (ISTA, 2005). Sin embargo, dado que la prueba se lleva a cabo en condiciones ideales, no necesariamente refleja el potencial de rendimiento de ese lote de semillas en campo (Shah *et al.*, 2002).

Las causas de una pobre germinación según la FAO (1985) pueden ser:

- Semillas viejas
- Condiciones desfavorables para la germinación
- semilla dañada(en trilla limpiado, transporte)
- semilla dura (leguminosas de grano)
- Alto contenido de humedad de semilla almacenada
- Temperaturas altas en el secado (superiores a 40 C)
- Contaminación por enfermedades nocivas o plagas

### **3.8.2 Vigor**

El vigor de las semillas generalmente es evaluado por las siguientes pruebas: crecimiento de plántulas, velocidad de germinación, medición de solutos en semillas, consumo de oxígeno y liberación de dióxido de carbono (actividad



respiratoria), tetrazolio, prueba de la actividad del ácido glutámico descarboxilasa (GADA) y diferentes tipos de pruebas de estrés, entre otras (Doijode, 2001).

Isely (1957) lo definió como "la suma total de todos los atributos de la semilla por medio de los cuales se establece bajo condiciones favorables". Por otro lado, Delouche y Caldwell (1960) establecieron que el vigor de semilla es la suma de todos los atributos que favorecen un rápido y uniforme establecimiento". Mientras que, Woodstock (1965) propuso que el vigor era "esa condición de buena salud y robustez natural en la semilla, que una vez plantada, permite que la germinación proceda rápidamente y de fin bajo una amplia gama de condiciones ambientales"

Tiempo después, Perry (1973) lo definió como una "propiedad fisiológica determinada por el genotipo y modificada por el ambiente que rige la capacidad de una semilla para producir rápidamente una plántula en suelo y el grado en que la semilla tolera una amplia gama de factores ambientales. En 1977 la ISTA definió vigor como la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel potencial de actividad y el comportamiento de las semillas durante la germinación y la emergencia de las plántulas" (Copeland y McDonald, 2004).

### **3.8.3 Vigor a través de la prueba de envejecimiento acelerado**

La prueba estándar de germinación con frecuencia sobreestima la germinación que ocurre en el campo, porque las condiciones en este para la germinación son usualmente más estresantes que aquellas usadas para la prueba de germinación en laboratorio. Se han desarrollado diversas pruebas de vigor que estiman la calidad de un lote de semillas que será sembrado en campo.

La prueba de envejecimiento acelerado es una de las pruebas de vigor de semillas más comunes, y en esta las semillas son expuestas a altas temperaturas (42°C) y 100 % de humedad relativa por 3 a 5 días, seguida de una prueba de germinación en condiciones óptimas. Esta prueba es usada para estimar el potencial de germinación en las condiciones de estrés que la misma confiere (Mullen, 2003). Asimismo, permite estimar el deterioro que la semilla sufre en almacenes y el vigor

de la misma, y puede aplicarse a cualquier tipo de semilla ya que esta prueba puede producir información de calidad en forma constante (Delouche y Baskin, 1973; Copeland y McDonald, 2001).

Esta prueba frecuentemente se lleva a la par o se mide con un ensayo de velocidad de emergencia, la cual consiste en poner a germinar semillas en arena o en papel. Diariamente se cuenta el número de plántulas normales emergidas hasta alcanzar una población constante. Posteriormente, mediante una expresión matemática se calcula la velocidad de emergencia, según la cual el lote con mayor velocidad, será el más vigoroso (Copeland y McDonald, 2001).

### **3.9 Deterioro de semillas**

#### **3.9.1 Deterioro natural de las semillas**

Las semillas son capaces de sobrevivir como organismos viables regenerativos hasta que el tiempo y el lugar sean adecuados para empezar una nueva generación. Sin embargo, como cualquier otra forma de vida, ellas no pueden retener su viabilidad indefinidamente y eventualmente se deterioran y mueren (Copeland y McDonald, 2001; Doijode, 2001).

La semilla de cualquier especie presenta su más alto nivel de vigor y potencial germinativo en la madurez fisiológica, desde la cual se inicia un proceso continuo e irreversible de deterioro hasta perder su capacidad germinativa. Por lo que, el deterioro de una semilla se puede entender como una serie de cambios en el tiempo, que afectan funciones vitales y su desempeño, hasta causar la muerte (Bradford, 2004). La calidad de las semillas disminuye con el tiempo y la tasa de deterioro varía en diferentes especies que estas permanezcan almacenada (Doijode, 2001; Salinas *et al.*, 2001; Chiu *et al.*, 2002).

Existen diferentes mecanismos de deterioro de semilla en diferentes condiciones de almacenamiento; ya que mientras en temperaturas bajas existe daño por radicales libres que puede ser el evento primario del deterioro de la semilla; por otro lado, la

pérdida de viabilidad de las semillas en altas temperaturas está íntimamente relacionada a la inactivación de las proteínas térmicas (Sun *et al.*, 1998).

Un factor que influye en la conservación de la viabilidad de la semilla es la cantidad y calidad de las sustancias químicas contenidas en el embrión y en los tejidos (Niembro, 1990). Las causas que originan el deterioro de dichas sustancias y que conllevan a la pérdida de vigor y la germinación de las semillas son diversas y aún no se conoce. Sin embargo, como las estructuras subcelulares están compuestas por lípidos y proteínas, con el paso del tiempo la membrana celular gradualmente se va deteriorando perdiendo así su capacidad selectiva. Este deterioro se lleva a cabo a consecuencia de la autoxidación de los lípidos, en semillas con reservas de aceites, formando peróxidos que activan algunas enzimas y afectan la viabilidad y vigor de las semillas (Priestley, 1986; Niembro, 1991).

El proceso de deterioro es irreversible, el cual no puede prevenirse o revertirse, pero este puede ser lento en condiciones específicas. Es mayor en condiciones inapropiadas de almacenamiento, tales como alta temperatura y alto contenido de humedad de semilla. La evidencia del deterioro se relaciona con la decoloración de semillas, pobre germinación, pobre crecimiento de plántulas, producción de gran cantidad de plántulas anormales y pobre rendimiento. Los cambios fisiológicos que se registran en las semillas son reducción de la respiración, pérdida de la actividad enzimática y daño en las membranas (Doijode, 2001).

De manera práctica, el deterioro de semillas puede ser visto como un complejo de cambios que ocurren con el pasar del tiempo, causando perjuicios a sistemas y funciones vitales, resultando en la disminución en el grado de la capacidad de desempeño de la semilla. El deterioro empieza después que la semilla alcanza la maduración fisiológica y continua hasta perder su capacidad de germinar. La duración del proceso de deterioro es determinada principalmente por la interacción entre herencia genética, su contenido de humedad y la temperatura (Delouche, 2001).

- 1) El deterioro de la semilla es un proceso inexorable o inevitable;
- 2) El deterioro es irreversible;

- 3) Existen diferencias inherentes entre especies en cuanto a la longevidad de la semilla;
- 4) El deterioro es mínimo en la maduración de la semilla;
- 5) La velocidad de deterioro varía entre lotes de semillas de la misma variedad;
- 6) La velocidad de deterioro varía entre semillas individuales dentro de un lote.

Las tres primeras características pretendían definir las limitaciones biológicas en el control del deterioro de las semillas, dos de ellas pueden no ser consideradas tan válidas actualmente. Hay evidencias substanciales de que existen mecanismos de reparación activos con la finalidad de revertir algunos de los efectos del deterioro en semillas en el suelo y en aquellas sometidas a varios tipos de condicionamiento osmótico. Diferencias inherentes en la longevidad de semillas entre especies y mismo entre cultivares, son una realidad y esta limitación debe ser llevada en consideración en los sistemas de control de calidad. La cuarta característica establece la época de madurez de la semilla como el último punto de partida para la implementación de procedimientos de control de calidad. Las dos últimas características del deterioro de semillas son críticas para que podamos entender las relaciones entre el deterioro y la germinación, germinación y vigor, y, entre vigor y deterioro - el principal asunto en discusión en este artículo (Delouche, 2001).

### **3.9.2 Alteraciones en membranas**

El envejecimiento se produce entre otras cosas a causa de los daños que sufren las membranas (celulares y de orgánulos: mitocondrias, plastidios, etc.), las enzimas y la cromatina (ADN y ARN mensajero). Estos daños son, muy posiblemente, causados por la acción de radicales libres y productos derivados, originados por peroxidación de los lípidos de las membranas y de las sustancias de reserva, los cuales actúan directamente durante el envejecimiento en seco o interfieren en reacciones producidas en los primeros momentos de la imbibición, por ejemplo, en la respiración (Besnier, 1989). La pérdida en la integridad de las membranas es probablemente el primer cambio deteriorativo durante el envejecimiento de semillas de maíz. Dicha pérdida provoca: la reducción del nivel de fosfolípidos, de la actividad

de la peroxidasa y el ascorbato; incremento del nivel de ácidos grasos libres y malonaldehído; la formación de lípidos conjugados y la reducción en el contenido de sustancias de reserva como carbohidratos, proteínas y fosfolípidos (Basavarajappa *et al.*, 1991).

### 3.9.3 Respiración

El deterioro de la semilla también está asociado con cambios en su metabolismo; por ejemplo, la disminución de carbohidratos que ocurre con la edad de la semilla podría resultar en insuficiencia de sustratos respiratorios par la germinación o en la incapacidad para usarlos. Por lo que, un signo de deterioro de la semilla es la reducción significativa de la tasa respiratoria (Bernal-Lugo y Leopold, 1992; Cruz-Pérez *et al.*, 2003). La relación entre la actividad respiratoria de una semilla durante las primeras horas de germinación y su estado de deterioro es difícil de establecer, pero se aprecia más claramente después de la emergencia de la radícula (Cruz-Pérez *et al.*, 2003). La reducción de la actividad metabólica y de la respiración se asocian con el rompimiento de la estructura de la membrana, particularmente en la mitocondria (Copeland y McDonald, 2001).

Benamar *et al.* (2003) mencionan que en mitocondrias aisladas de semillas de chícharo (*Pisum sativum* L.) envejecidas artificialmente, a las 22 h de imbibición, son severamente afectadas en sus funciones, puesto que exhiben tasas reducidas de oxidación y controles respiratorios. Lo anterior puede deberse a que las membranas externas e internas pueden ser las primeras en sufrir lesiones resultado del envejecimiento son obstaculizadas para la producción de ATP, lo que se refleja en la baja velocidad y porcentaje de germinación de las semillas.

El envejecimiento natural de la semilla reduce el contenido total de carbohidratos y proteínas de reserva. Una causa importante de la muerte de una semilla es la pérdida severa de reservas en el embrión. Por lo tanto, el crecimiento y desarrollo de una nueva plántula son afectados a medida que avanza el proceso de deterioro de una semilla, expresándose en anormalidades y daños en sus estructuras principales (Basavarajappa *et al.*, 1991).

### **3.9.4 Humedad de la semilla**

El contenido de humedad de la semilla varía en función de la humedad relativa y en menor grado, de la temperatura del ambiente.

Las semillas son higroscópicas: absorben la humedad del ambiente o pierden humedad hasta que se establezca un equilibrio entre el contenido de humedad de la semilla y la humedad relativa de la atmosfera. Una guía simple para tener un buen almacenamiento por cinco años, es cuando en el almacén el porcentaje de humedad relativa y la temperatura en grados Fahrenheit suman 100; la condición será mejor en cuanto la porción correspondiente a la temperatura en la suma, sea mayor (Harrington, 1971).

### **3.9.5 Predicción del deterioro de las semillas**

La predicción del deterioro de semillas puede ser extraordinariamente valioso para compañías semilleras y bancos de germoplasma permitiendo tomar las medidas necesarias para evitar la pérdida de viabilidad de semillas por deterioro. Se ha sugerido que el deterioro de las semillas puede ser predicho por ecuaciones matemáticas si se conocen sus características morfológicas, anatómicas, su germinación, contenido de humedad inicial, la temperatura y humedad relativa del ambiente de almacenamiento (Roberts, 1973, 1986).

Ellis y Roberts (1980), desarrollaron un enfoque para la estimación potencial de la viabilidad de la semilla relacionando las condiciones de almacenamiento por medio de la ecuación de la viabilidad de la semilla, el cual es un método cuantitativo para medir y estimar la viabilidad en función del tiempo de almacenamiento a una temperatura y contenido de humedad dados. Este método puede ser aplicado en condiciones estandarizadas de almacenamiento y para controlar pruebas de deterioro (Bradford, 2004).

Esta ecuación contiene constantes que tienen que ser derivadas de experimentos para cada especie para predecir la almacenabilidad de semillas, con la aplicación de esta ecuación se pueden hacer ensayos controlados de deterioro en laboratorio

para usarse como prueba de vigor y para predecir el almacenamiento potencial de un lote de semillas (Bradford, 2004).

### **3.10 Cambios que ocurren por efecto del deterioro**

Después de haber alcanzado el máximo nivel de calidad. La semilla inicia un ceso de cambios degenerativos e irreversibles, que ocasionan pérdidas en la germinación y vigor; a esos cambios se les ha denominado “deterioro” (Anderson, 1973). Según burris (1983), el deterioro es un proceso que comprende dos etapas: el proceso que ocurre en la semilla relativamente seca y la expresión de este proceso durante la rehidratación de la semilla; el mismo autor ha sugerido tres teorías para describir los eventos que determinan este deterioro: 1) Acumulación de productos deletéreos relacionados con el rompimiento de macromoléculas que inactivan tanto a enzimas como a los ácidos nucleicos o bien, en la aparición de membranas no funcionales, y la acumulación de sustancias mutagénicas; 2) el deterioro causado por desgaste natural, en el cual se asume que un incremento en el uso de organelos, células, órganos, causan reducción general de la eficiencia; y 3) Mutaciones somáticas que aumenta en frecuencia con la edad de semilla.

#### **3.10.1 Factores que afectan la longevidad de la semilla**

La longevidad de la semilla, comprende el periodo que transcurre desde la formación hasta la muerte de la misma (Ellis y Roberts, 1981), la duración de este periodo dependerá de las condiciones que prevalezcan durante esa etapa vital de la semilla. Entre los factores que determinan la longevidad de la semilla se encuentran la madurez a la cosecha, el ambiente y nutrición de la planta madre (Bass, 1973; Perry, 1978; Bass, 1979; Van der Burg, 1986) el daño mecánico (Bass, 1973; Bass, 1979) tamaño de la semilla (Perry, 1978; Van der Burg, 1986) la constitución genética (Perry, 1978) entre otros. Según Hafenrichter *et al* (1965), la longevidad de la semilla es el resultado de la interacción entre las especies y las condiciones de almacenamiento.

### **3.10.2 Factores genéticos**

La longevidad de la semilla ha sido objeto de diversos estudios, buscando la explicación a las diferencias encontradas en la viabilidad de materiales genéticos que han sido sometidos al envejecimiento artificial (Haferkamp *et al.*, 1953), o almacenados en condiciones favorables (Neal and Davis, 1956), las diferencias encontradas entre semillas de la misma edad y dentro de la misma especie (James *et al.*, 1964), han sugerido que hay factores ajenos a las condiciones de almacenamiento que afectan considerablemente a la longevidad. En maíz se encontraron diferencias intrínsecas en los materiales cuando los distintos genotipos fueron sembrados, cosechados y manejados bajo las mismas condiciones ecológicas (Moreno *et al.*, 1978), de modo que la relación entre el vigor inicial y vigor final, depende de los genotipos considerados (Burris, 1978).

### **3.11 Factores de producción**

Los factores ambientales que prevalecen durante el desarrollo de la planta, como: temperatura y humedad relativa altas, lluvias, enfermedades, plagas, radiación, y otros, afectan la calidad de semilla (Harrington, 1972; Bass, 1973); y dado que la formación de la semilla es una de las etapas finales de ciclo de vida de las plantas (anuales principalmente), la semilla obtenida en diferente clima y épocas darán como resultado diversos niveles de calidad (Roberts, 1972a; Roberts, 1972b), consecuentemente, el vigor de las plántulas dependerá también de dichas condiciones de tal manera que habrá épocas o regiones en donde el vigor de la semilla se comprometa al máximo (Knittle and Burris, 1976). El momento o la oportunidad de la cosecha es probablemente el factor más importante en la producción de semillas, pues de ella dependerá en gran medida la esperanza de vida de la misma; es decir, el desarrollo de los individuos en una población no es uniforme y, consecuentemente, se cosecharan algunas semillas maduras e inmaduras y todo una gama entre esos dos extremos. Las semillas que después de madurar permanecen por algún tiempo en el campo, tal vez presenten algunos problemas de bajo vigor por haber sufrido deterioro.



Algunos estudios bioquímicos en semillas de maíz, han reportado correlación entre los niveles altos de poliaminas y la sobrevivencia, sugiriéndose una posible interacción del metabolismo de estas poliaminas y la fragmentación del ADN como una de las características genéticas y fisiológicas relacionadas con la capacidad de almacenamiento de semillas (Lozano and Leopold, 1988).

### **3.12 Efecto del ambiente de almacén**

Entre los factores que más influyen en el deterioro de la semilla durante el almacenamiento, se encuentran la humedad relativa, la temperatura del almacén (Ching *et al.*, 1959; Harrington, 1972; Bass, 1979; Likhatchev *et al.*, 1984; Agrawal, 1986), el tiempo de almacenamiento (Ching *et al.*, 1959; Harrison and Perry, 1976) y la composición gaseosa del ambiente (Roberts, 1981; Likhatchev *et al.*, 1984), de estos, el contenido de humedad es el de mayor importancia (Harrison and Perry 1976; Bass, 1979) y generalmente se asocia con un incremento en la contaminación por hongos (Harrison and Perry, 1976).

### **3.13 Manifestación del deterioro**

Los sistemas bioquímicos en la semilla (enzimas, proteínas, mitocondrias y ribosomas), parecen ser los sitios más susceptibles al envejecimiento causado por las condiciones desfavorables de almacenamiento (Ching, 1973). Los lotes de semilla con pobre germinación generalmente tuvieron reducido vigor de plántula, determinado por la velocidad de germinación e índice de elongación de plántulas (McKersie and Tomes, 1982), por otro lado, los materiales con plantas vigorosas se caracterizaron por un alto porcentaje e índice de emergencia rápido, alta tasa de acumulación de materia seca, floración precoz, floración y polinización rápida, pocas mazorcas estériles a la cosecha y alto rendimiento en grano (Fakorede and Agbana, 1983).

### **3.14 Cambios fisiológicos y bioquímicos**

En semillas envejecidas se ha encontrado una baja actividad de semilasa en comparación con las semillas sin envejecimiento (Anderson, 1970); en general, se han observado cambios en la actividad enzimática y respiratoria, en las membranas y los cromosomas, afectan los compuestos de reserva, estos cambios ocurren antes que disminuya el porcentaje de germinación. También, el metabolismo respiratorio causa una oxidación de las reservas alimenticias, producción de un gran número de sustancias precursoras en la construcción de bloques para la síntesis de componentes protoplásmicos (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos) y producción de energía en forma de ATP para esas reacciones (Abdul-Baki and Anderson, 1972). En la auto oxidación de los lípidos se producen radicales libres, que son muy reactivos aun en semillas de bajo contenido de humedad; estos pueden combinarse con proteínas, destruyendo enzimas, membranas lipoproteínas; con nucleótidos, destruyendo ADN y la capacidad de reproducción de células (Harrington, 1972).

Los cambios metabólicos que ocurren en el deterioro pueden ser más complejos una simple reducción de la actividad metabólica; aparentemente, los resultados dependen de la semilla o de la parte de la misma que se observe, el proceso que está midiendo condiciones bajo las cuales la semilla se deteriora (Anderson, 1973); por otra parte, el cociente respiratorio la actividad de deshidrogenasas y diastasas en la germinación de semillas deteriorada es menor comparada con la semilla no deterioradas, siendo el embrión el principal sitio de deterioro lo cual afecta al crecimiento de plántulas (Harrison and Perry, 1976). Asimismo, la pérdida de vigor, disminución de la actividad respiratoria y la pérdida de peso seco por efecto del envejecimiento acelerado, se interpreta que esto se debe al deterioro en las membranas (Parrish and Leopold, 1978); los cambios estructurales de mayor importancia ocurren durante la maduración de la semilla (deshidratación), al bajar el contenido de humedad de un 80% a un 10-12% en un tiempo corto como en la iniciación de la germinación (imbibición), donde la rehidratación tiene lugar pocas horas (Abdul-Baki, 1980); por su parte, Burris (1983) menciona que los lípidos poliinsaturados de membranas, pueden reaccionar en presencia de oxígeno para formar radicales libres intermediarios y peróxidos inestables, que pueden interferir

en la destrucción de lípidos, también en la formación de proteínas lipídicas insolubles por sustitución de enlaces y daños en aminoácidos.

### **3.14.1 Cambios genéticos**

En un almacenamiento prolongado, como en la conservación de germoplasma, presenta un incremento en la proporción de mutaciones (Harrington, 1972; Ross, 1980; Roberts, 1981), también ocurren cambios citológicos en la forma de aberraciones cromosómicas (Bass, 1980; Ross, 1980); sin embargo, Ross (1980) menciona que los cambios genéticos, los fisiológicos y bioquímicos en la semilla no son causados por el tiempo, sino más bien por las condiciones de almacenamiento.

### **3.15 Métodos para evaluar el deterioro**

La calidad de la semilla es comúnmente determinada con pruebas rutinarias de germinación, análisis de pureza (Justice, 1972; Delouche and Baskin, 1973) y sanidad (Perry, 1980). No obstante que hay diversas formas de evaluar el deterioro, en la actualidad no existe un método de uso universal que permita determinar con precisión la calidad de semilla. Se ha propuesto que la velocidad de germinación y la elongación de plántulas, pueden estimar el vigor (Qualls and Cooper, 1968). También se han mejorado los cambios fisiológicos y bioquímicos que ocurren en el deterioro al someter la semilla al envejecimiento acelerado, como el cociente respiratorio y la actividad de la amilasa (Abdul-Baki and Anderson, 1972), así como un índice de la actividad del ácido glutámico descarboxilasa (Abdul-Baki and Anderson, 1972). Algunas otras incluido la cantidad de ácidos grasos, la actividad enzimática, los exudados de semilla, la actividad de los procesos intracelulares, la actividad mitocondrial, la integridad de cromosomas, y la síntesis de los metabolitos (Woodstock, 1973).

Prueba de germinación (Gill, 1969; Ross, 1980). Esta se define como la emergencia y desarrollo del embrión de la semilla y de las estructuras esenciales (sistema radical, mesocotilo, coleoptilo), que son indicadores de la capacidad de la semilla para producir una planta normal en condiciones favorables; el resultado se expresa

como un porcentaje de plántulas con germinación normal (Justice, 1972; International Seed Testing Association, 1985); si un lote de semillas es homogéneo, la caída en la germinación puede ser precipitada; si es muy heterogéneo esta disminución puede ser gradual. Una pérdida rápida en la germinación dependerá de la historia previa de la semilla y las condiciones de almacenamiento prevalecientes (Harrington, 1972). Si la semilla está bien limpia, de alta calidad y de latencia, los resultados de esta prueba correlacionarán positivamente con la emergencia y condiciones óptimas de campo (Van Geffen, 1986), como lo mencionan McKersie y Tomes (1982) y Gerber (1983) por ello, este parámetro no se puede usar como único criterio de calidad (Van Geffen, 1986), pues proporciona información muy limitada para tomar decisiones acertadas para evaluar la calidad de semillas (Delouche and Baskin, 1973).

Envejecimiento artificial (Anfinrud and Schneiter, 1984; Agrawal, 1986a; Agrawal, 1986c). Esta prueba fue adaptada inicialmente para predecir el potencial de almacenamiento de algunas semillas (Delouche and Baskin, 1973), posteriormente se comprobó su eficiencia para pronosticar el comportamiento de las semillas de soya sembradas en el campo; es decir, se definió como una prueba de vigor. El principio fundamental consiste en la exposición de pequeñas muestras de semilla a condiciones adversas de temperaturas 30 – 42°C y humedad relativa de 85 a 100%, por un tiempo específico (Delouche and Baskin, 1973). Dado que la prueba tradicional requiere de una cámara especial, McDonald y Phaneendranath (1978), proponen una modificación en el sentido de simular las condiciones adversas en una caja de plástico tipo “sandwichera” de (11 x 11 x 3.5 cm), donde la semilla se expone sobre una plataforma de malla, prescindiendo de la cámara de envejecimiento artificial al usar un germinador normal calibrado para estas condiciones. Por su parte Baskin (1981), sugiere que para maíz se usen 96 horas de exposición a 42°C  $\pm$  1 y 100% de humedad relativa. Envejecimiento acelerado ha sido la prueba de vigor más importante para conocer los niveles de calidad de las semillas de soya; así, Kulik y Yaklich (1982), al evaluar diferentes pruebas de vigor, encontraron que el comportamiento de diversos materiales en la prueba de envejecimiento acelerado correlaciono significativamente con las estimaciones de

la emergencia en campo con valores de no mayores de 0.7, sin embargo, mencionan que no es recomendable para predecir la emergencia en campo, en el entendido que la estimación es diferente a la predicción. Por su parte, Huber y McDonald (1982), al comparar materiales genéticos de alto, medio y bajo vigor, mencionan que el envejecimiento acelerado disminuyó la generación en todos los niveles, siendo mayor su efecto en aquellos materiales con medio y bajo vigor, apareado a una reducción de la longitud de la plántula y la tasa de producción de peso seco. La similitud en los cambios metabólicos acompañados a la pérdida de viabilidad en semillas almacenadas bajo diferentes condiciones apoyan que el envejecimiento acelerado proporciona un modelo confiable para el estudio de estos procesos (Likhatchev *et al.*, 1984); en este sentido, Molina (1986), afirma que el envejecimiento acelerado es una prueba confiable ya que permitió hacer una mejor diferenciación de los niveles de calidad entre lotes de semilla de maíz. Singh (1986), sugiere que en maíz la prueba de envejecimiento acelerado artificial puede ser utilizada con método de selección para crear poblaciones con diferente capacidad para resistir el deterioro de la semilla.

La longitud de las plántulas se ha propuesto como una prueba de vigor (Everson, 1978), se ha encontrado que la longitud del coleoptilo correlaciona positivamente con el índice de emergencia; sin embargo, estos criterios pueden ser de utilidad parcial al usarse para predecir la emergencia (Allan *et al.*, 1962), debido a las diferencias intrínsecas entre los materiales (Webster and Dexter, 1961; Allan *et al.*, 1962); Gill (1969), menciona que la medición del crecimiento de la plántula fue muy sensible y consistente para reflejar el deterioro de la semilla; aunque también se ha observado que plántulas de semilla deterioradas no necesariamente son de pobre crecimiento (Anderson, 1970). El crecimiento de la parte radicular, de la parte aérea (plúmula) o ambos, se usa como una medida del deterioro de semillas, que junto con la prueba de germinación proporcionan una mejor cuantificación de la calidad de un lote de semilla (Abdul-Baki and Anderson, 1972); sin embargo, al estudiar el cociente respiratorio en puntos de crecimiento, se encontró una relación inversa con el tamaño de la plántula, a lo cual Cantrell *et al.*, (1972.), concluyen que el cociente respiratorio en la parte de la raíz es un pobre indicador del vigor. En semillas de

alto vigor se refleja una alta longitud de plántulas comparado con semilla de medio y bajo vigor Huber y McDonald (1982), sin embargo, Tomar y Singh (1986), mencionan que al prolongarse el periodo de almacenamiento, bajo temperatura y humedad relativa altas, existe una reducción en la longitud de la raíz; en el mismo sentido, esta prueba ha sido considerada poco consistente (Molina, 1986) por las variaciones que se han observado; por otro lado, es una prueba que requiere de mucho trabajo (Everson, 1978).

Velocidad de germinación (Everson, 1978; Agrawal, 1986a; Agrawal, 1986c). Este parámetro se puede usar como una herramienta para evaluar el vigor de la plántula, lo cual se obtiene con la sumatoria del número de plántulas de cada conteo entre el número de días Respectivo después de la siembra, obteniéndose así un índice de vigor (Maguire, 1962). Se ha encontrado que la velocidad de germinación correlaciona con los rendimientos de semilla por planta (Pinthus and Kimel 1979), así como con el establecimiento en el campo McKersie y Tomes (1982); por otro lado, la velocidad de emergencia permitió diferenciar bien a los materiales con diferente vigor, por lo que la selección para esta característica puede ser un buen criterio (Lafond and Baker, 1986); además, tal medición es muy sensible al deterioro de la semilla, comparado con la pérdida de viabilidad (Priestley, 1986).

Peso seco de la plántula (Abdul-Baki and Anderson, 1973; Everson, 1978; Agrawal, 1986c). Según Knitte y Burris (1976), esta característica fue la más confiable para predecir el vigor de plántulas debido posiblemente a que define la cantidad de reservas almacenadas en el grano; además el peso seco de los puntos de crecimiento no fue sensible a las interacciones parentales a través de localidades, lo hace suponer que sea una técnica con uso potencial como criterio de selección (Burris, 1977); por su parte, Everson (1978), menciona que puede usarse como una prueba de vigor de plántula, se ha encontrado que la semilla de alto vigor, tiende a producir mayor peso seco, así como mayor longitud de plántula al compararse con materiales de medio y bajo vigor Huber y McDonald (1982); el peso seco producido se consideró como el mejor indicador de vigor de la semilla al encontrarse buena correlación con otras variables estudiadas, mostrando además, mayor consistencia en los resultados (Villaseñor, 1984).

Emergencia. La prueba en cama de arena en invernadero, proporciona un mejor ambiente natural para la germinación de la semilla que aquella realizada en toallas de papel y esta podría ser una buena metodología para inferir acerca del comportamiento de las plántulas en el campo; los resultados obtenidos bajo estas condiciones, así como el total de las plantas vivas después del envejecimiento acelerado, la velocidad de germinación al cuarto día, fueron los mejores predictores de la emergencia en el campo, encontrándose valores mayores de 0.7 Kulik y Yaklich (1982), por su parte, Egli y Tekrony (1979), no encontraron relación alguna en el vigor de la semilla y la emergencia o el establecimiento final en el campo. Para probar validez de una prueba de vigor, se debe asociar con una característica de comportamiento como lo es la emergencia en una amplia gama de lotes de semilla y diferentes ambientes (Pinthus and Kimel, 1979).

Primer conteo, prescrito en las pruebas de germinación para muestras ISTA (1985), ha sido considerado como una medición del vigor. Este parámetro, en pastos y crucíferas, resultó ser un indicativo del crecimiento inicial y el establecimiento del cultivo en el campo (Nienhuis and Baltjes, 1985); por su parte, Molina (1986), indica que esta prueba no es un parámetro confiable para caracterizar el vigor de lotes de semilla de maíz, debido posiblemente a los efectos genéticos de los materiales evaluados, así como a diferencias metodológicas al existir una probable sobreestimación de los resultados en las mediciones.

Viabilidad, se refiere a la capacidad de una semilla de desarrollarse bajo condiciones que pueden ser no ideales totalmente como ocurre en el campo (Moore, 1972). La prueba de tetrazolium ha sido la prueba bioquímica más aceptable para estimar la viabilidad de la semilla (Abdul-Baki and Anderson 1972). Scott (1981), ha usado el número de plántulas normales más las anormales con un indicador de viabilidad; también Kulik y Yaklich (1982) indican que para la estimación de la emergencia final en un grupo de lotes de semilla, se puede usar la germinación total de plántulas vivas provenientes de la prueba de germinación, es decir, la sumatoria de plántulas normales y anormales.

### 3.16. Composición química de las semillas

La composición química de las semillas es variable. Se puede hablar por un lado de un conjunto de compuestos que está presente en todos los tejidos y por el otro de un conjunto de compuestos de almacenamiento de reservas que está presente en las semillas en grandes cantidades. Además, muchas semillas presentan distintos tipos de compuestos secundarios, cuya presencia y tipo son muy variables. En general se puede decir que las proteínas que se encuentran en las semillas difieren en composición química y propiedades con respecto a las proteínas presentes en otras partes de la planta; asimismo, hay gran cantidad de lípidos, lo cual no es frecuente en otros tejidos vegetales. (Buckeridge *et al.*, 2000).

Las semillas se pueden dividir en función del tipo de material que almacena reservas. En algunas son principalmente los carbohidratos y en otras son los lípidos o grasas, predominando estas últimas. Entre las especies en que los carbohidratos alcanzan valores altos están el maíz (*Zea mays* con 50-70% de carbohidratos en la semilla secada al aire contra 5% de lípidos), el chícharo (*Pisum sativum*, con 30-40 contra 2), el castaño (*Castanea vesca*, con 42 contra 3) y el encino (*Quercus pendunculata*, con 47 contra 3). Por otro lado, entre las especies con un mayor porcentaje de lípidos en materia secada al aire está el cacahuate (*Arachis hypogaea*, con cantidades entre 8-21% de carbohidratos y 40-50% de lípidos), el girasol (*Helianthus annuus*, que no presenta carbohidratos y en cambio tiene entre 4 y 50% de lípidos) y el ricino (*Ricinus communis*, con 64% de lípidos y 0 carbohidratos).

Son pocos los casos en que las proteínas funcionan como reservas. Esto sucede en el frijol de soya, por ejemplo, el cual tiene 40% de proteínas, 18% de lípidos y 7% de carbohidratos.

Como ya se ha mencionado, los materiales de reserva se pueden almacenar en el embrión o en tejidos extraembrionarios, como el endospermo. En muchas especies, como algunas leguminosas, las proteínas y carbohidratos se encuentran en los cotiledones, los cuales pueden permanecer bajo tierra durante el crecimiento de la



plántula (*Pisum sativum*, chícharo) o conforme crece el hipocótilo van siendo levantados sobre la superficie del suelo (*Phaseolus vulgaris*, frijol). Los cotiledones también funcionan como estructuras de almacenamiento para lípidos y proteínas de especies como la calabaza (*Cucurbita pepo*) y la mostaza (*Sinapis alba*). Sólo ocasionalmente el propio eje embrionario funciona como región de almacenamiento, como sucede con la nuez del Brasil (*Bertholletia excelsa*).

Los componentes de reserva de las semillas consisten en proteínas, carbohidratos y lípidos. La proporción relativa y localización de estos compuestos varía de acuerdo a la especie. Las semillas, en general, son fuente de compuestos lipídicos que incluyen ácidos grasos, tocoferoles, triglicéridos, fosfolípidos, y esteroides (Cumming y Lane, 1979).

Los lípidos son nutrientes importantes en la dieta tanto humana como animal, entre sus componentes, destacan los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPICL), los cuales son componentes dietarios que participan en múltiples procesos fisiológicos, cumpliendo un rol estructural en los fosfolípidos de las membranas celulares y son sustratos para la síntesis de diversos mediadores que modelan múltiples procesos como inmunidad, patologías infecciosas y enfermedades inflamatorias (Kucera *et al.*, 2005).

Entre los AGPICL encontramos dos grupos principales; los ácidos grasos omega-3 ( $\omega$ -3) y omega-6 ( $\omega$ -6), los cuales son ácidos grasos esenciales para el ser humano debido a que carecemos de la maquinaria enzimática necesaria para biosintetizarlos y por lo tanto son aportados por la dieta. El primer exponente de los ácidos grasos omega-3 es el ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3), el cual vía desaturasas y elongasas se puede transformar en el ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) y posteriormente en el ácido docosahexaenoico (C22:6, DHA). A su vez, el primer exponente de los ácidos grasos  $\omega$ -6 es el ácido linoleico (C18:2) y uno de sus derivados más importantes es el ácido araquidónico (C20:4, AA) (3, 4). El AA, el EPA y el DHA son importantes componentes estructurales de los fosfolípidos de las membranas y son el sustrato para la formación de una serie de derivados lipídicos llamados eicosanoides (Kucera *et al.*, 2005).

### **3.16.1. Función de las proteínas en las semillas**

La semilla seca absorbe agua y el contenido de humedad al principio aumenta rápidamente, estabilizándose después; al final de nuevo se incrementa el contenido de agua, lo que está relacionado con el alargamiento de las células y la aparición de la radícula.

La imbibición se produce por la diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el sustrato, siendo el agua absorbida por los coloides de la semilla. Es un fenómeno físico, por lo que se produce también en semillas latentes y en semillas muertas.

Las proteínas son los componentes de las semillas más importantes en la absorción de agua (el almidón no absorbe agua) (Cuming y Lane, 1979).

La hidratación no es uniforme en toda la semilla, iniciándose la actividad en las zonas hidratadas en primer lugar. Si una vez iniciada la hidratación se produce una desecación pueden producirse daños en la semilla, sobre todo si el embrión ya está hidratado; no obstante existe un tiempo, variable con las especies, en que la semilla puede desecarse sin que la germinación se vea afectada al ser rehidratada.

Cuando los mecanismos de respiración, síntesis de proteínas y ácidos nucleicos se han puesto en marcha de modo normal, lo que aproximadamente coincide con la rotura de la testa por parte de la radícula, comienza la segunda fase de la germinación, que engloba la movilización de reservas y el crecimiento de la plántula (Landry *et al.*, 1982).

Movilización de nutrientes: durante el proceso de germinación, en cereales por ejemplo, las reservas de nutrientes principalmente almidón y cuerpos proteicos son convertidos en compuestos básicos como azúcares simples y aminoácidos que son transportados y oxidados para suplir el crecimiento y la elongación del embrión (Taiz y Zeiger, 2006).

### **3.16.2. Movilización de reservas**

En la movilización de reservas de cualquier semilla pueden distinguirse los siguientes metabolismos:

– De los hidratos de carbono – De los lípidos – De las proteínas – De la Fitina

Dada la importancia del contenido en hidratos de carbono en las semillas de cereales y de proteínas en las semillas de leguminosas. (García, 1998).

### **3.16.3. Metabolismo de los hidratos de carbono**

Poco después de la hidratación se liberan giberelinas de sus ligamentos químicos. Algunas de estas giberelinas (GA3) liberadas, son transportadas desde el eje embrionario al escutelo (cotiledón) y desde allí liberadas al endospermo donde se difunden hasta la capa de aleurona. en la capa de aleurona las giberelinas promueven la síntesis de enzimas hidrolíticas, que a su vez pasan al endospermo harinoso. Las enzimas actúan sobre el almidón convirtiéndolo en glucosa, que finalmente es utilizada para la síntesis de sacarosa, que es transportada ala plántula en desarrollo (García, 1998).

### **3.16.4. Metabolismo de las proteínas en las leguminosas**

Las proteínas de reserva de las leguminosas (legumina y vicilina) son glucoproteínas (contienen pequeñas cantidades de carbohidratos, generalmente los azúcares, glucosa y manosa).En la degradación de estas proteínas intervienen las enzimas proteinasas, entre las que destacan las peptidasas, que rompen las cadenas de polipéptidos. Existen dos tipos de peptidasas, las endopeptidasas (que rompen los enlaces internos de los polipéptidos, dando lugar a péptidos pequeños) y las exopeptidasas (que liberan aminoácidos); a su vez los péptidos son degradados por las hidrolasas pépticas, liberando también aminoácidos (Moreira, 2008).

Las semillas secas contienen pequeñas catidades de exopeptidasas, que inician la degradación de las proteínas tras imbibición, pero esta degradación dura poco tiempo. Las endopeptidasa, que no existen en las semillas secas, son sintetizadas unas 48 horas después de la imbibición. La degradación real de las proteínas

comienza tras la síntesis y la consiguiente actuación de las endopeptidasas. (Basha y Beevers, 1975).

Algunas semillas de leguminosas contienen inhibidores de las proteinasas, cuya función parece ser la de proteger a las células contra la liberación accidental de proteinasas, bien sean endógenas o exógenas (proteínas digestivas de origen animal o microbiano, que podrían ejercer su acción en caso de ser ingeridas las semillas por animales o de ser afectadas por insectos o microorganismos) (Basha y Beevers, 1975)

En la Tabla 3.5 se muestra un análisis proximal y mineral de la semilla de jícama.

Tabla 3.5. Composición proximal y mineral de semillas de jícama y harina.

Componentes	Semilla (g/100 g)	Harina (g/100 g)	Composición mineral	
Humedad	7.30	3.45	Ca	356
Proteína Cruda (N*6.25)	28.27	51.20	Fe	16
Extracto de éter	26.80	1.51	K	992
Fibra cruda	6.20	4.42	P	286
Cenizas	4.58	3.64	Na	6.8
Carbohidratos crudo	26.85	35.78	Cu	1.2
			Zn	4.0

Fuente: Santos *et al.*, 1996.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación del terreno experimental

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Roque ubicado en Celaya, Guanajuato, México que de acuerdo con google Earth se encuentra ubicado a los 20° 34' N y 100° 40' O y 17775 m de altura, para la realización de las pruebas agronómicas, pruebas de calidad de semilla y vigor inicial de plántula.

Por otro lado, en el instituto Tecnológico de Celaya ubicado en Celaya, Guanajuato, México que de acuerdo con google Earth se encuentra ubicado a los 20° 34' N y 100° 40' O y 17775 m de altura, se realizaron las pruebas Bioquímicas de semillas.

### 4.2 Genotipo de Jícama evaluado

Se utilizó la variedad amarilla sin guía "Vega San Juan" con 5, 4, 3, 2 y 1 años de almacenamiento natural en la comunidad San Juan de la Vega, Celaya, Guanajuato, México y se hizo una separación por tamaño de semilla (grande y chica) para cada lote de semilla (año de almacenamiento), usando una criba oblonga de N° H 10/64" x 3/4".

#### 4.2.1 Descripción fenológica

La semilla de jícama es ovalada con un diámetro aproximado de entre 0.5 a 4 cm de diámetro, su color es normalmente amarilla o verde pálido, Este tipo de semilla una vez sembrada tiene un ciclo aproximado de 6 meses, dentro del cual se tienen 3 floraciones una al 3er mes, 4to mes y 5to mes de su ciclo de reproducción. Para tener una buena producción de este cultivo es recomendable el desflore de la misma.

### 4.3 Factores de estudio

Factor 1: años de almacenamiento (1, 2, 3, 4 y 5)

Factor 2: tamaño de semilla (grande y chica)

### 4.3.1 Diseño de tratamientos

En la Tabla 4.1 se presenta el diseño de tratamientos evaluados en la investigación.

Tabla 4.1. Diseño de tratamientos en semilla de jícama.

No. de tratamiento	Años de almacenamiento	Tamaño de semilla
T1	5	G
T2	5	CH
T3	4	G
T4	4	CH
T5	3	G
T6	3	CH
T7	2	G
T8	2	CH
T9	1	G
T10	1	CH

G=Grande, CH = Chica.

### 4.4 Caracteres de calidad fisiológica y vigor inicial de plántula

Se registró el porcentaje de germinación estándar y en cama de arena bajo condiciones de vivero se registró el vigor inicial considerando la velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso seco de vástago y raíz, los índices de vigor I y II, y el índice de clorofila. Finalmente, se obtuvo la composición química de la semilla; proteínas, aceites y carbohidratos. En Laboratorio, se usó un diseño completamente aleatorizado con 10 tratamientos y cuatro repeticiones, usando 50 semillas por repetición. En cama de arena, se empleó un diseño de Bloques completos al azar con 10 tratamientos y cuatro repeticiones.

## 4.5 Caracteres registrados en laboratorio

### 4.5.1 Prueba de germinación Estándar (G.E)

Esta prueba se realizó de acuerdo a la metodología de la (ISTA, 2015), que considera el porcentaje de plántulas normales en dos momentos; el conteo se realizó en el día 9 y día 14 donde se pudo hacer una evaluación correcta de plántulas normales. Se sembraron 4 repeticiones de 50 semillas por tratamiento. Se utilizó papel de germinación, se enrollaron e identificaron con fecha, tratamiento y repetición y se colocaron en bolsas de polietileno, finalmente fueron colocadas en la cámara de germinadora a 25 °C, 100 % Humedad relativa y bajo condiciones de luz.

La evaluación realizada en el primer conteo (día 9) de solo plántulas normales se consideró para la prueba de velocidad de germinación (V.G).

## 4.6 Vigor en cama de arena bajo condiciones de invernadero

En esta prueba se usó una muestra de 50 semillas por tratamiento con 4 repeticiones. Las semillas se colocaron a 2cm de profundidad y se registraron los siguientes caracteres; Velocidad de emergencia (V.E), realizando conteos diarios a partir del día 8 hasta el día 15 después de la siembra (DDS), el porcentaje de emergencia (P.E), Peso húmedo de vástago ( P.F.V) y Peso seco de vástago (PSV).

La velocidad de emergencia se determinó de acuerdo a Maguire (1962) con la siguiente formula:

$$V.E = \frac{N^{\circ} \text{ de plantulas normales}}{\text{Dia del primer conteo}} + \dots + \frac{N^{\circ} \text{ de plantulas normales}}{\text{Dia del conteo final}}$$

El porcentaje de emergencia se determinó contando el número de plántulas emergidas al 15vo día, utilizando la siguiente formula:

$$P.E = \left( \frac{N^{\circ} \text{ de plantulas emergidas al dia 15 DDS}}{N^{\circ} \text{ total de semillas sembradas}} \right) (100)$$

Al día 15 (DDS) se obtuvo el peso seco del vástago y peso fresco del vástago, utilizando una muestra de 10 plantas con competencia completa por unidad experimental. Peso seco de vástago (PSV). Se determinó esta variable pesando 10 plántulas deshidratadas en la estufa a 60° por 24 horas.

Altura de plántula (AP). Para esta variable se tomó la medición de la altura de 10 plantas con competencia completa, tomando la medición al ras del sustrato a la punta apical de la hoja más alta.

Con la variable de la altura de la plántula se calculó el índice de vigor I, con la siguiente formula:

$$IV I = (AP)(PE)$$

Con la variable del peso seco del vástago (PSV) se calculó el índice de vigor II (IV2), como lo describe Kharb et al (1994) con la siguiente formula:

$$IV II = (P.E)(PSV)$$

#### **4.7 de Clorofila (Unidades SPAD)**

Esta variable se tomó mediante el medidor de clorofila SPAD 502, que mide la concentración relativa de clorofila por medio de la luz transmitida a través de la hoja en 650 nm (longitud de onda fotosintéticamente activa) y 940 nm. La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, refleja el estado nutricional. Las lecturas fueron tomadas de una hoja por planta, en 3 plantas por tratamiento y por repetición. Se tomó una única lectura a los 19 después de la siembra.



## 4.8 Caracteres bioquímicos

### 4.8.1 Contenido de humedad

Para la determinación de humedad se realizó mediante horno de secado (Marca Felisa) a 50°C, por el método AOAC 984.20 y termobalanza (Santorius MA 35) (Kirk *et al.*, 2004).

### 4.8.2 Cenizas

Sólidos fijos

Esta determinación se basó en someter la muestra a combustión entre 550 –600° C, mediante el método 942.05 de la AOAC.

### 4.8.3 Proteínas

La determinación de proteína se realizó utilizando un micro Kjeldahl bajo el método 984.13 especificado por la AOAC. Utilizando 0.2 g y 25 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con 6 g de dióxido de titanio, sulfato de cobre y potasio (anhidros), en la proporción 0.3/0.3/6.0 respectivamente. Calentados a 320°C, hasta tener tonalidad verde ámbar. El tubo se colocó en un Sistema de destilador automático Kjeldahl; el destilado con una solución de ácido hidroclicórico 0.05 M (factor corrección = 0.14) y rojo de metilo como indicador hasta el vire de color.

$$\text{Proteína} = \frac{V \times 0.14 \times f}{w}$$

Donde V corresponde a V = volumen de HCl 0.05 M (multiplicado por su factor de corrección); w = gramos de muestra; y f = factor conversión de nitrógeno a proteína (6.25)

### 4.8.4 Ácidos grasos

La extracción de los ácidos grasos será mediante el método de extracción directa con hexano propuestos por Xu en 2007, mediante el método de Soxhlet.

% aceite extraído = g aceite extraído/g de semilla

#### 4.8.5 Carbohidratos

El total de carbohidratos en la harina de las semillas fue calculado por la diferencia (Lima et al., 2014), como se presenta en la ecuación 10, donde M = humedad (%); A = contenido de cenizas (%); L = contenido de lípidos (%); and P = contenido de proteína (%):

$$CH\%=100-(M+A+L+P) \quad e$$

#### 4.9 Análisis estadístico

Para todos los caracteres evaluados se realizó un análisis de varianza usando el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS (SAS, 1999). La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Calidad de semillas

Los resultados del análisis de varianza para calidad de semilla; velocidad de germinación (VE) y germinación estándar (GE) se muestra en el Cuadro 5.1, donde se observan diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para años de almacenamiento (ta) y tamaño de semilla (ts) en los caracteres registrados. Por otro lado, la interacción ta\*ts también modificó estadísticamente estos caracteres.

Los coeficiente de variación (C.V) mostrados para ambas características son bajos por lo que muestran alta confiabilidad de los resultados.

Tabla 5.1 Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad de semilla en jícama.

F.V	G.L	VG (%)	GE (%)
Años almacenamiento (ta)	4	1053.15**	422.00**
Tamaño semilla (ts)	1	739.60**	448.90**
ta*ts	4	222.85**	65.90**
Error	12	27.71	9.16
C.V (%)	-	6.45	3.29

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad. VG, GE; corresponden a la velocidad de germinación al primer conteo y la germinación estándar, respectivamente.

Con relación a la prueba de comparación de medias (Cuadro 5.2) de acuerdo con Tukey ( $\alpha=0.05$ ), se observa que a medida que se incrementa el tiempo de almacenamiento de la semilla esta reduce drásticamente su velocidad para germinar (hasta 30 %) con relación al lote de semilla del año 2015 (Figura 5.1). Sin embargo, el lote de semilla del año 2016 presentó un resultado no esperado, ya que mostró menor velocidad de germinación que los lotes de 2015, 2014 y 2013; lo cual se puede atribuir a errores de experimentación.

Por otro lado, la semilla grande mostró la mejor respuesta con 85.9 % de plántulas normales al primer conteo (día 9); mientras que la semilla chica únicamente alcanzó 77.3 % de emergencia.

En el porcentaje de germinación estándar (conteo final) al día 14, se observó la misma tendencia con respecto del tiempo de almacenamiento; donde los lotes de semilla reciente mostraron la mejor respuesta y aquellas semillas almacenadas por cuatro años ya no alcanzan a superar el porcentaje mínimo de calidad establecido por el SNICS (2017) que indica 90 % de plántulas normales. Con respecto al tamaño de la semilla, también la semilla grande expresó la mejor respuesta con 95.1 % de plántulas normales y las semillas chicas sólo generaron 88.40 % de germinación.

Tabla 5.2 Prueba de comparación de medias para calidad de semilla en jícama.

Años de almacenamiento	VG (%)	GE (%)
5	64.75 d	80.00 c
4	81.00 cb	90.25 b
3	88.00 ab	95.00 ab
2	95.50 a	99.00 a
1	78.75 c	94.50 ab
Tamaño de semilla		
Semilla grande	85.90 a	95.10 a
Semilla chica	77.30 b	88.40 b

VG, GE; corresponden a la velocidad de germinación al primer conteo y la germinación estándar, respectivamente.

## 5.2 Vigor de Plántula en vivero

En el Tabla 5.3, se presenta el análisis de varianza combinado para años de almacenamiento y tamaño de semilla en jícama para el peso verde de vástago (PVV), peso seco de vástago (PSV) e índice de clorofila (IC); en donde se puede observar que existen diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para los años de almacenamiento en todas las variables registradas. Por otro lado, el tamaño de la semilla modificó estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) el PVV y PSV pero este factor de estudio no afectó estadísticamente el índice de clorofila.

Finalmente, la interacción años de almacenamiento por tamaño de semilla (ts\*ta) solo modificó estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) El PVV.

Con respecto a los coeficientes de variación (C.V.) para estas características, se observa un rango de variación de 10.7 a 18.2 % y en este sentido, se puede decir que estos valores son considerados bajos y por lo tanto, aceptables; por lo que se concluye que esta investigación fue conducida de forma apropiada y estos resultados dan confiabilidad.

Tabla 5.3. Cuadrados medios del análisis de varianza para peso verde y seco de vástago e índice de clorofila en plántulas de jícama.

F.V	G.L	PVV (gr)	PSV (gr)	IC (unidades SPAD)
Bloque	3	6.76	0.16	47.62
Años almacenamiento (ta)	4	14.26**	0.37**	13.056**
Tamaño de semilla (ts)	1	9.55**	0.22**	0.256 <sup>ns</sup>
ta * ts	4	2.34*	0.06 <sup>ns</sup>	3.121 <sup>ns</sup>
Error	12	0.56	0.02	1.90
C.V (%)	-	13.46	18.20	10.79

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. ns= no significativo. PVV, PSV, APL e IC, corresponden al peso verde de vástago, peso seco de vástago, altura de plántula e índice de clorofila, respectivamente.

En el Tabla 5.4, se muestra el análisis de varianza combinado para años de almacenamiento (ta) y tamaño de semilla (ts) en jícama para velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE) y altura de plántula (APL); en donde se aprecia que existen diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para los años de almacenamiento en todas las variables registradas. Del mismo modo, el tamaño de la semilla modificó estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) la velocidad de emergencia y el porcentaje de emergencia y con efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) en APL. Finalmente, la interacción (ta\*ts) modificó estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) la VE y PE y significativo ( $P \leq 0.05$ ) para APL.

Con respecto a los coeficientes de variación (C.V), se observa un rango de variación de 3.2 a 13.3 %, valores que son considerados bajos y aceptables y por lo tanto generan confiabilidad de la conducción de la investigación.

Tabla 5.4. Cuadrados medios del análisis de varianza para velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia y altura de plántula en jícama.

F.V	G.L	VE (p dia <sup>-1</sup> )	PE (%)	APL (cm)
Bloque	3	32.35	43.46	10.72
Año almacenamiento (ta)	4	418.8**	6376.65**	11.660**
Tamaño de semilla (ts)	1	73.88**	409.60**	9.457*
ta * ts	4	28.97**	98.35**	4.09*
Error	12	4.66	14.28	1.258
C.V (%)	-	13.31	5.01	11.36

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad. VE, PE y APL, corresponden a la velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia y altura de plántula, respectivamente.

En el Tabla 5.5, se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para todos los caracteres registrados; peso verde de vástago (PVV), peso seco de vástago (PSV), altura de plántula (APL), índice de clorofila (IC), velocidad de emergencia (VE) y porcentaje de emergencia (PE); en donde se observa que para PVV, la mejor respuesta se generó en aquella semilla almacenadas solo por uno o dos años; sin embargo, cuando la semilla se almacenó por cinco años (lote 2012) disminuyo drásticamente la producción de biomasa verde hasta un (50%) .

Para PSV, al igual que la característica anterior, tuvieron una mejor respuesta aquellos lotes de semilla almacenada solo por uno o dos años y semilla almacenada por cuatro años (lote 2012) disminuyo su producción de materia seca disminuyó hasta un 60 %.

Para la APL, se observa una mayor altura en la semilla almacenada durante uno o dos años; sin embargo, cuando la semilla se almaceno durante cuatro años (lote 2012) disminuyó drásticamente la altura de la plántula.

Para el índice de clorofila, se observa una mayor cantidad de unidades SPAD en la semilla almacenada por uno o dos años; sin embargo, y cuando la semilla se almaceno por cuatro años (lote 2012) hubo una disminución de 3.2 unidades SPAD con respecto del lote de semilla de 2016.

Para VE, la mejor respuesta se generó en aquellas semillas almacenadas solo por uno o dos años; en este sentido, lotes de semilla de 2016, 2015 y 2014 presentaron de 20 a 22 plantas emergidas por día. Sin embargo, cuando la semilla se almaceno por cuatro años (lote 2012), este lote sólo generó 4 plantas emergidas por día.

Para PE, se observó una respuesta similar a la obtenida en la variable anterior, donde los lotes de semilla de 2016, 2015 y 2014 generaron la mejor respuesta con porcentajes superiores a 90; y cuando la semilla se almacenó por tres o cuatro años (lote 2012 y 2013) la respuesta fue menor de 70 % de plántulas emergidas.

Finalmente, el tamaño de semilla influyó en todos los caracteres registrados; donde la semilla grande favoreció la expresión de la calidad de la semilla y en la mayoría de los caracteres de vigor inicial de plántula bajo condiciones de invernadero en los diferentes años de almacenamiento de la semilla.

Tabla 5.5. Prueba de comparación de medias para caracteres de vigor inicial de plántula e índice de clorofila en semilla de jícama.

	PVV (gr)	PSV (gr)	APL (cm)	IC (unidades SPAD)	VE (p día <sup>-1</sup> )	PE (%)
<b>Años de almacenamiento</b>						
1	7.06 a	1.07 a	11.49 a	14.20 a	22.10 a	92.25 a
2	6.12 ab	0.87 ab	9.99 a	13.76 a	20.29 a	94.75 a
4	5.90 ab	0.84 ab	9.95 a	12.84 ab	20.53 a	91.50 a
3	5.28 b	0.75 b	9.81ab	12.10 ab	13.37 b	70.50 b
5	3.47 c	0.48 c	8.08 b	11.02 b	4.75 c	28.00 c
<b>Dmsh</b>	<b>1.19</b>	<b>0.23</b>	<b>1.78</b>	<b>2.2</b>	<b>3.44</b>	<b>6.02</b>
<b>Tamaño de semilla</b>						
Grande	6.05 a	0.88 a	10.35 a	12.86 a	17.57 a	78.60 a
Chica	5.08 b	0.73 b	9.38 b	12.70 a	14.85 b	72.20 b
Dmsh	0.51	0.10	0.77	0.95	1.48	2.60

PVV, PSV, APL, IC, VE, PE corresponden al peso verde de vástago, peso seco de vástago, altura de plántula e índice de clorofila, la velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia respectivamente.

### 5.3 Pruebas bioquímicas

Los resultados del análisis de varianza para caracteres bioquímicos; porcentaje de humedad (PH), porcentaje de proteína (PP), porcentaje de lípidos (PL), porcentaje de cenizas (PCE) y porcentaje de carbohidratos (PCA) en semillas de jicamas almacenadas por 5 años se presentan en la Tabla 5.6; donde se observa que existe efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.01$ ) entre los años de almacenamiento (AA). Del mismo modo, el tamaño de semilla (TS) solo modifico estadísticamente ( $P \leq 0.01$ ) el PH, PL y PCA y la interacción AA\*TS tuvo efecto estadístico significativo ( $P \leq 0.01$ ) en PL, PCE y PCA, y con significancia al 0.05 de probabilidad para PP, dicha interacción no modifico significativamente el PH.



Por otro lado, al analizar los valores de los cuadrados medios, se obtuvo que para todos los caracteres fue más importante el efecto del factor años de almacenamiento (AA); por su efecto en la composición bioquímica de la semilla. Finalmente, el coeficiente de variación (C.V) presentó un rango de 0.88 a 8.09 %; valores bajos y aceptables; lo que le da alta confiabilidad al experimento y además indica que este fue conducido de forma correcta.

Tabla 5.6. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres bioquímicos en semilla de jícama con cinco años de almacenamiento.

F.V	G.L	PH	PP	PL	PCE	PCA
AA	4	14.31**	98.68**	48.95**	0.41**	79.01**
TS	1	11.71**	2.4 <sup>ns</sup>	0.52**	0.003 <sup>ns</sup>	18.49**
AA * TS	4	0.81 <sup>ns</sup>	2.59*	6.20**	0.34**	18.38**
C.V (%)	----	8.09	3.00	1.27	0.88	2.92

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. ns=no significativo. FV, AA, TS, CV, corresponden a las fuentes de variación, años de almacenamiento, tamaño de semilla y coeficiente de variación, respectivamente. PH, PP, PL, PCE y PCA, corresponden al porcentaje de humedad, porcentaje de proteína, porcentaje de lípidos, porcentaje de cenizas y porcentaje de carbohidratos, respectivamente.

En la Tabla 5.7, se presenta los resultados de la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para caracteres bioquímicos; porcentaje de humedad (PH), porcentaje de proteína (PP), porcentaje de lípidos (PL), porcentaje de cenizas (PCE) y porcentaje de carbohidratos (PCA) en semillas de jicamas almacenadas por 5 años. Aquí se observa que el PH varió desde 7.5 a 11.56%, donde las semillas con mayor tiempo de almacenamiento (años) presentan los valores más bajos; es decir, el contenido de humedad disminuyó 36 % después de 5 años de almacenamiento. El PP varió de 21.85 a 30.62 %, donde el porcentaje más alto fue para semillas con sólo 1 año de almacenamiento y el valor más bajo fue para aquellas semillas con 5 años de almacenamiento; es decir, se presentó un decremento conforme avanza el tiempo de almacenamiento.

Por el contrario, el PL aumenta con los años de almacenamiento; de 17.87 a 23.99 % con cinco años. En este sentido, se presentó un incremento de lípidos de 34 %

después de cinco años de almacenamiento. Con respecto del PCE, este se presentó de 4.12 para un año de almacenamiento y de 4.76 % después de cinco años; es decir, hubo un incremento de 15 % para este componente. Finalmente, el PCA varió de 35.81 hasta 44.36 con cinco años de almacenamiento. En este caso se presentó una diferencia de 23.87 % entre semillas de uno y cinco años de almacenamiento.

Por otro lado, las semilla grandes fueron consistentes con el mayor porcentaje de humedad (10.40 %) y las semillas chicas con 9.15 %. Con respecto a las proteínas, estas no fueron afectadas por el tamaño de la semilla. Por otro lado, las semillas chicas presentan mayor cantidad lípidos y carbohidratos, con una diferencia 0.26 y 1.57 % con respecto de las semillas grandes, respectivamente

Tabla 5.7. Comparación de medias para caracteres bioquímicos en semilla de jícama almacenada por cinco años.

	PH	PP	PL	PCE	PCA
	(%)				
<b>Años de almacenamiento</b>					
1	11.56 a	30.62 a	17.87 c	4.12 e	35.81 c
2	10.06 bc	30.62 a	18.00 c	4.76 a	36.54 c
3	10.62 ab	26.18 b	16.59 d	4.50 b	42.08 b
4	9.16 c	23.32 c	23.11 a	4.19 d	40.18 b
5	7.50 d	21.85 d	21.99 b	4.29 c	44.36 a
dms	1.36	1.37	0.42	0.06	2.01
<b>Tamaño de semilla (TS)</b>					
Grande	10.40 a	26.80 a	19.38 b	4.38 a	39.01 b
Chica	9.15 b	26.23 a	19.64 a	4.36 a	40.58 a
dms	0.60	0.60	0.18	0.02	0.88

Medias con la misma letra en la columna son estadísticamente. PH, PP, PL, PCE y PCA, corresponden al porcentaje de humedad, porcentaje de proteína, porcentaje de lípidos, porcentaje de cenizas y porcentaje de carbohidratos, respectivamente.

Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación entre las características registradas (Tabla 5.8), donde se puede observar que el PH presentó correlación alta y positiva para PP, VG, GE, PVV, PSV, APL, VE y PE y negativa para PL y PCA. Por otro lado, el PP se correlacionó positivamente con VG, GE, PVV, PSV, APL, VE y PE y de forma negativa para PL y PCA.

Con respecto al PCE, no tuvo correlación con ninguna característica estudiada y el PL se correlacionó negativamente con todos los caracteres registrados, lo que indica que al aumentar los lípidos disminuyen las proteínas y la calidad de la semilla. Finalmente, los caracteres fisiológicos presentaron una alta correlación positiva entre ellos.

Tabla 5.8. Análisis de correlación entre caracteres fisiológicos y componentes bioquímicos en semilla de jícama.

	PH	PP	PL	PCE	PCA	VG	GE	PVV	PSV	APL	VE	PE
PH	1	0.83*	-0.77*	0.04	-0.74	0.89*	0.83*	0.97**	0.97**	0.95*	0.96**	0.91*
PP	-	1	-0.75	0.35	-0.90*	0.90*	0.84*	0.87*	0.87*	0.79*	0.86*	0.82*
PL	-	-	1	-0.47	0.42	-0.72	-0.71	-0.68	-0.66	-0.55	-0.81	-0.74
PCE	-	-	-	1	-0.10	0.38	0.49	0.07	-0.00	-0.15	0.28	0.34
PCA	-	-	-	-	1	-0.85*	-0.77	-0.86*	-0.86*	-0.84*	-0.76	-0.76
VG	-	-	-	-	-	1	0.98**	0.94*	0.91*	0.84*	0.96**	0.98**
GE	-	-	-	-	-	-	1	0.88*	0.83*	0.76	0.94*	0.97**
PVV	-	-	-	-	-	-	-	1	0.99**	0.97**	0.96**	0.94*
PSV	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.98**	0.94*	0.90*
APL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.88**	0.84**
VE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.98**
PE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad. PH, PP, PL, PCE, PCA, VG, GE, PVV, PSV, APL, VE, PE corresponden al porcentaje de humedad, porcentaje de proteína, porcentaje de lípidos, porcentaje de cenizas, porcentaje de carbohidratos, velocidad de germinación, germinación estándar, peso verde de vástago, peso seco de vástago, altura de plántula, velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, respectivamente.

## VI. CONCLUSIONES

- En germinación estándar, con 4 años de almacenamiento la semilla presentó valores superiores del 90 %; sin embargo, con 5 años de almacenamiento se reduce a un 80 % de plántulas normales. Con respecto al tamaño de semilla, la semilla grande expresó valores superiores del 95 % de germinación y la semilla chica sólo alcanzó 88 %.
- El tiempo de almacenamiento de la semilla influyó negativamente en la calidad y vigor inicial de la plántula; ya que después de tres años de almacenamiento la semilla reduce significativamente su vigor y formación de materia verde y seca.
- La semilla grande de jícama genera un mejor comportamiento en el vigor inicial de la plántula y es menos afectada por el deterioro natural.
- El porcentaje de humedad y proteína disminuyó significativamente conforme avanza el tiempo de almacenamiento de la semilla; por el contrario, los lípidos y carbohidratos incrementaron.
- En relación con el tamaño de la semilla, se encontró que la semilla chica evidenció mayor cantidad de lípidos y carbohidratos y no se encontró efecto significativo en proteínas y contenido de humedad.
- Finalmente, el contenido de humedad de la semilla presentó correlación alta y positiva para PP, VG, GE, PVV, PSV, APL, VE y PE y negativa para PL y PCA. Por otro lado, el PP se correlacionó positivamente con VG, GE, PVV, PSV, APL, VE y PE y de forma negativa para PL y PCA.
- Los lípidos se correlacionaron negativamente con todos los caracteres registrados, lo que indica que al aumentar las grasas disminuyen las proteínas y la calidad de la semilla.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Baki, A. A. 1980. Biochemical aspects of seed vigor. Hort Science. 15: 765-77.
- Abdul-Baki, A. A. and J. D. Anderson 1972. Physiological and biochemical determination of sedes. In: T. T. Kozlowski. Seed Biology, II. 283-315. New York.
- Abdul-Baki, A. A. and J. D. Anderson 1973. Vigor determination in soybean seed multiple criteria. Crop Sci. 13, 630-633.
- Agrawal, P. K. 1986a. Physiology of seed germination and dormancy. In: Srivastova J. P. and L. T. Simarski. Seed production technology, 156-159. ICARDA, Syria.
- Agrawal, P. K. 1986b. Seed storage. In: Srivastova, J. P. and L. T. Simarski. Seed production technology, 226-231. ICARDA, Syria.
- Agrawal, P. K. 1986c. Seed vigor: concepts and measurement. In: Srivastona, J. P. and L. T. Simarski. Seed production technology, 190-198. ICARDA, Syria.
- Allan, R. E., O. A Vogel and C. J. Peterson, Jr. 1962. Seedling emergence rate fall-sown wheat and its association with plant height and coleoptile length. Agronomic J. 54, 347-350.
- Anderson, J. D. 1970. Physiological and biochemical differences in deteriorating bar seed. Crop Sci. 10, 36-39.
- Anderson, J. D. 1973. Metabolic changes associated with senescece. Seed Sci. And Technol. 1, 401-416.
- Anfinrud, M. N. and A. A. Schneiter 1984. Relationship of sunflower germination and vigor tests to field performance. Crop Sci. 24, 341-344.
- AOSA 1993. Association of Official Seed Analysts. Journal of Seed Technology 16: 1-113.
- Arguelles. (1979). *El cultivo de la jícama en el estado de Guanajuato*. Mexico: Centro de Investigaciones Agrícolas de El Bajío.
- Bajaj, I.P.S. 1976. Gene preservation through freeze storage of plant cells, tissue and organ culture. Acta Hort. 63(1), 75-84

- Basavarajappa B. S., Shetty H. S., Prakash H. S. 1991. Membrane deterioration and other biochemical changes associated with accelerated ageing of maize seeds. *Seed Science and Technology*. 19: 279-286.
- Basha S. M., y Beevers, L. (1975). The development of proteolytic activity and protein degradation during the germination of *P. sativum* L. *Planta*, 124:77-87.
- Baskin, C. CH. 1981. Accelerated ageing test. In: *Handbook of vigor test methodology*. Pub. by The International seed testing association (Zurich).
- Bass, L. N. 1973. Controlled atmosphere and seed storage. *Seed Sci. And Technology* 1, 463-492.
- Bass, L. N. 1979. Physiological and other aspects of seed preservation. In: Rubenstein, I., R. L. Phillips, Ch. E. Green and B. G. Gengenbach. *The Plant seed development, preservation and germination*. 145-170. New York.
- Bass, L. N. 1980. Seed viability during long-term storage. *Horticultural review* 117-141.
- Baud S., Butin J. M. M., Lepiniec L., Rochat C. 2002. An integrated overview of seed development in *Arabidopsis thaliana* ecotype WS. *Plant Physiology and Biochemistry*. 40:2: 151-160.
- Benamar A., Tallon C., Macherel D. 2003. Membrane integrity and oxidative properties of mitochondria isolated from imbibing pea seeds after priming or accelerated ageing. *Seed Science Research*. 13: 35-45.
- Bernal, E. J. 1996 Producción manejo y calidad de semillas In: *pasturas Tropicales*. Memorias Correa, P. s. (ed) Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) Medellín, Colombia 196 p.
- Bernal-Lugo I., Leopold A. C. 1992. Changes in soluble carbohydrates during seed storage. *Plant Physiology*. 98: 1207-1210.
- Besnier R. F. 1989. *Semillas, biología y tecnología*. Ediciones Mundi-Prensa. 2da Edición. Madrid, España. 175-194 p.
- Bewley, D. J., M. Black and P. Halmer. 2006. *The encyclopedia of seeds, science, technology and uses*. CAB International. London, UK. 828 p.
- Bidwell R. 1979. *Fisiología Vegetal*. AGT. S. A. 2da Edición. México. 227-286 p.

- Bradford K J (2004) Seed Production and Quality. Department of Vegetable Crop and Weed Science. University of California. Davis CA, USA. 134 p.
- Bradford K. J. 2004. Seed Production and Quality. First edition. Department of Vegetable Crop and Weed Science. University of California. Davis CA. USA. 134 p.
- Bradford, K. and Nonogaki, H. 2007. Seed development, dormancy and germination. Blackwell Publishing. Iowa, USA. 367 p.
- Buckeridge MS, Pessoa dos Santos H, Tiné MAS (2000) Mobilisation of storage cell wall polysaccharides in seeds. *Plant Physiol Biochem* 38:141–156.
- Bukasov. (1981). Plantas cultivadas de México Guatemala y Colombia. Costa Rica: Bib. Orton.
- Burris, J. S. 1977. Effect of location of production and maternal parentage on seedling vigor in hybrid maize (*Zea mays*). *Seed Sci. And Technol.* 5, 703-708.
- Burris, J. S. 1978. Seedling vigor and its effect on field performance in corn and soybeans, In: Burris, J. S. Proceedings of first anual seed technology conference 56-66. Ames, Iowa. USA.
- Burris, J. S. 1983. Physiological aspects of seed storability. In: Burris, J. S. Proceedings of the sirth anual seed technology conference. 27-36. Ames, Iowa. USA.
- Bustamante G., L. A 1995. Pruebas de vigor en semillas y sus aplicaciones. VII Curso de actualización en tecnología de semillas. Memorias. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 26-27 Octubre. 10-20 p.
- Cantrell, R. P., H. F. Hodges, and W. F. Keim 1972. Relationship between plant respiration and seedling vigor in *Zea mays* L. *Crop. Sci.* 12, 214-216.
- Carvalho, N.M. y J. Nakagawa. 1998. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 3 ed. Fundação Cargill. Campinas (Brasil). 424 p.
- Champeil A., Fourbert J. F., Rossignol D. 2003. Influence of cropping system on *Fusarium* head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection*, December 2003, 10.1016/S0261-2194(03)00277-1.

- Ching, T. M. 1973. Biochemical aspects of seed vigor. *Seed Sci. And Technol.* 73-88.
- Ching, T. M., C. Parker and D. D. Hill 1959. Interaction of moisture and temperatura on viability of forage seeds stored in hermetically sealed cans. *Agron. J.* 5, 680-684.
- Chiu K. Y., Chen C. L., Sung J. M. 2002. Effect of priming temperaure on storability of primed sh-2 sweet corn seed. *Crop Science.* 42: 1996-2003.
- CIAT 1980. *Semilla de frijol de buena calidad 2 da edición* centro Internacional de Agricultura Tropical Cali, Colombia 37 p.
- Clausen, R.T. 1945a. A botanical study of the yam beans (*Pachyrrhizus*). *Memoir of the Cornell University Agricultural Experiment Station* 264: 1-38 p.
- Copeland L., McDonald M. B. 1985. *Principles of seed science and technology.* 2da Edition Macmillan Publishing Company.
- Copeland L., McDonald M. B. 2001. *Principles of Seed Science and Technology.* Fourth Edition. Kluwer Press, New York. USA. 467 p.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 2004. Seed vigor and vigor testing. *In: Principles of Seed Science and Technology.* 4<sup>th</sup>. ed. Kluwer Academic Publishers. USA. pp: 165- 185. Corpoica. 26 p.
- Córdova, A. G. (2006). Identificación y evaluación agronómica de los biotipos de Yacón (*smallanthus sochifolius*) en la microcuenca la. *Universalía*, 13 - 22.
- Cruz-Pérez A. B., González V. A., Mendoza M. A., Ortega M. L. 2003. Marcadores fisiológicos de la tolerancia al envejecimiento de semilla en maíz. *Agociencia* 37: 371-381.
- Cuming, A. C., y Lane, B.G (1979). Protein synthesis in imbibing wheat embryos. *European Journal of Biochemistry.* 42:398-406.
- D'Antonino F. L. R. 1993. *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural.* Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO. Editor, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile. Capítulo I.



- Delouche J. C. 1986. Physiological seed quality. Short course for seedsmen. Mississippi State University. Vol. 27. USA. 51-59 p.
- Delouche J. C., Baskin C. C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lost Seed Sci. Technol. P. 427-452 p.
- Delouche, J.C. 2002. Germinación, deterioro y vigor de semillas. Seeds News 6(6). En: [http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66a\\_esp.shtml](http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66a_esp.shtml); consulta: junio 2007.
- Díaz A., A. 1978. El cultivo de la jícama: Guanajuato estado productor de primera importancia. Panagfa (México) 6(53):32.
- Doijode S. D. 2001. Seed storage of horticultural crops food products press Binghamton, N.Y., USA. 339 p.
- Douglas J. 1991. Programa de semillas. Guía de planeación y manejo. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 357 p.
- Douglas, J E y Monsalve, E. 1982. Programas de semillas. Guía de planeación y manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, Colombia 357 p.
- Egli, D. B. and D. M. Tekrony 1979. Relationship between soybean seed vigor and yield. Agron. J. 71, 755-759.
- Elevitch, R. C. 2004. The overstory book. Cultivating connections with trees. Second edition. Permanent Agriculture Resources. Holualoa, Hawaii, USA. 526 p.
- Ellis R. H., Roberts E. H. 1980. Improved equations for the prediction of seed longevity. Annals of Botany. 45: 13-30.
- Ellis, R. H. and E. H. Roberts 1981. The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. Seed Sci. And Technol. 9, 373-409.
- Estrada, O. J.; Castillo, R. B.; López, D. M. T. y Díaz, F. V. 2005. Variación del peso de la semilla de nim y sus componentes durante su almacenamiento. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Cuyo. 37:81-86.
- Evans, J. and W. J. Turnbull. 2004. Plantation forestry in the tropics. Third edition. Oxford University Press. New York, United States. 467 p.
- Everson, L. E. 1978. Laboratory tests of seed quality. In: Burris, J. S. Proceeding the first annual seed technology conference. 51-55. Ames, Iowa. USA.

- Fakorede, M. A. B. and S. B. Agbana 1983. Heterotic effects and association seedling vigor with mature plant characteristics and grain yield some tropical maíz cultivars. *Maydica* XXVIII, 327-338.
- FAO. 1985. Procesamiento de semillas de cereales y leguminosas de grano, directrices técnicas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 173 p.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/traditional-crops/yambean/es/>
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/traditional-crops/yambean/es/>
- Ferguson J. An introduction to seed vigour testing. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, 1995, Copenhagen: International Seed Testing Association, 1995. 1-9 p.
- Garay E. A. 1989. La calidad de la semilla y sus componentes. Memorias del primer curso avanzado sobre sistemas de semillas para pequeños agricultores. CIAT. Mayo 15 – junio 23. Cali, Colombia. 2-11 p.
- García-Lara S (1998) Galactomanano como una fuente de carbono durante el desarrollo, germinación y postgerminación de la semilla *Ipomoea purpurea* (L.) Roth. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa.
- Gill, N. S. 1969. Deterioration of corn (*Zea mays* L.) seed during storage. Ph. Thesis, Mississippi State University, State, College.
- Hafenrichter, A. L., R. B. Foster and J. L. Schwendiman 1965. Effect of storage an four locations in the west on longevity of forage seeds. *Agron. J.* 57, 143-147.
- Haferkamp, M. E., L Smith and R. A. Nilan 1953. Studies on aged seeds I. Relation of age seed to germination and longevity. *Agron. J.* 45, 434-437.
- Hampton J. G. 2001. Revista Seed News Septiembre/Octubre volumen 5, número 5.
- Hampton J. G. 2002. What is seed quality? *Seed Sci. Technol.* 30(1): 1-10.

- HAMPTON, J. G. Conductivity test. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, 1995, Copenhagen. [Proceedings...] Zurich : International Seed Testing Association, 1995. p. 10-28
- Harrington, J. F. 1972. Seed storage and longevity. In: T. T. Kozlowski. Seed Biology. III, 145-245, New York.
- HARRINGTON, J. F. Drying, Storage, and packaging of seed. World 108(10):2-5. 1971.
- Harrison, J. G. and D. A. Perry 1976. Studies on the mechanisms of barley seed deterioration. Ann. Appl. Biol. 84, 57-62.
- Heike, B., 2012. *Pachyrhizus erosus* (L.) Urb. Jícama. En línea: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/pachyrhizuserosus/fichas/fic>
- Heredia Z.1985. Guía para cultivar jícama en el Bajío. Folleto para productores no.15.
- Hernández, L. A 1985. Efecto de la fertilización y densidad de población en el rendimiento y calidad de semilla de girasol Tesis de maestría en Ciencias Colegio de Postgraduados, Montecillo, México 103 p
- Herrera, H C. A L H Fierro G, y J. D. Moreno M 2000. Manejo integrado del cultivo de la papa Manual técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) Bogota, Colombia 197 p.
- Huber, T. A. and M. B. McDonald, Jr. 1982. Gibberellic acid influence on aged and unaged barley seed germination and vigor. A gron. J. 74, 386- 389.
- International Seed Testing Association (ISTA) 1996. Rules, Seed of vigor test methods. 2nd. Ed. Zurich. 117 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2014. International rules for seed testing. Seed Sci. Technol. 4:3-177.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (Zurich, Suíça). Handbook of vigor test methods. 2. ed. Zurich, 1995. 117 p.
- International Seed Testing Association 1985. International rules for seed testing. Seed Sci. And Technol. 13, 299-355.

- ISTA, International Seed Testing Association (2004) International Rules for Seed Testing. Rules 2004. ISTA Ed. Zurich, Switzerland. 243 p.
- ISTA. 2005. International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. 243 p.
- James, E., L. N. Bass and D.C. Clank 1964. Longevity of vegetable seeds stored to 30 years at Cheyenne, Wyoming. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84, 527-534.
- Julio E, A. R. (1993). Jicamas Silvestres y Cultivadas. Costa Rica: Bib, Orton IICA CATIE.
- Justice, O. L. 1972. Essentials of testing. In: T. T. Kozlowski. Seed Biology III. 301-370, New York.
- Kharb, R. P. S.; Lather, B. P. S. and Deswal, D. P. 1994. Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. Seed Sci. Technol. 22:461-466.
- Knittle, K. H. and J. S. Burris 1976. Effect of kernel maturation on subsequent seedling vigor in maize. Crop Sci. 16, 851-855.
- Kucera B, Cohn MA, Leubner-Metzger G (2005) Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. Seed Sci Res 15:281-307.
- Kulik, M. M. and R. W. Yaklich 1982. Evaluation of vigor tests in soybean seed Relationship of accelerated aging, cold, sand bench and speed of germination tests to field performance. Crop Sci. 22, 766-770.
- Lafond, G. P. and R. J. Baker 1986. Effects of genotype and seed size on speed on emergence and seedling vigor in nine spring wheat cultivars. Crop Sci. 26, 341-346.
- Laurena AC, Rodriguez FM, Sabino NG, Zamora AF, Mendoza EMT (1991) Amino acid composition, relative nutritive value and in vitro protein digestibility of several Philippine indigenous legumes. Plant Foods Hum Nutr 41: 59--68.
- Likhatchev, B. S., G. V. Zelenky, Y. G. Kiashko and Z. Shevchenko 1984. Modelling of seed ageing. Seed Sci. And Technol. 12, 385-393.
- Lozano, J. L. and A. C. Leopold 1988. The physiology and genetics of seed ageing Global maize germoplasm bank workshop. March 7-12. El Batán, México.

- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination- AID in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2, 176-177.
- Marisol Idrovo Avecillas, y José Arrobo Reyes. Jícama: Producto con Identidad Territorial. *Yachana revista científica*. Volúmen 4, Noviembre de 2015. pp. 197-204.
- Martínez, M., 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- McDonald M. B. Jr. 1980. Assessment of seed quality. *Hort Science*. 15(6): 784-788.
- McDonald, M. B. Jr. And B. R. Phaneendranath 1978. A modified accelerated aging seed vigor test for soybeans. *J. Seed Technol.* 3(1), 27-37.
- McKersie, B. D. and D. T. Tomes 1982. A comparison of seed quality and seedling vigor in birdsfoot trefoil. *Crop Sci.* 22, 1239-1241.
- McVaugh, R., 1987. Leguminosae. En: W. R. Anderson (ed.). *Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico*, Vol. 5. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan
- Molina M., J. C. 1986. Avaliação de testes de vigor em sementes de milho e suas relações com a emergência a campo. Tesis de Maestría. Universidad Federal de Pelotas, Pelotas-Rio Grande do Sul. Brasil.
- Moore, R. P. 1972. In: Roberts, E. H. (Ed) *Viability of Seeds*. 94-113. Chapman and Hall LTD.
- Moreira LRS, Filho EXF (2008) An overview of mannan structure and mannan-degrading enzyme systems. *Appl Microbiol Biotechnol* 79:165-178.
- Moreno M. E. 1996. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Tercera Ed. Instituto de Biología, UNAM. México. 393 p.
- Moreno M., E. 1984. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 383 p.
- Mullen R. C. 2003. *Crop Science. Principles and Practice*. Fourth Edition. Pearson Custom Publishing. USA. 353 p.
- Neal, N. P. and J. R. Davis 1956. Seed viability of corn inbred lines as influenced by age and conditions of storage. *Agron. J.* 48, 383-384.

- Niembro R. A. 1990. La composición química de las semillas y su efecto en la conservación. *In: Memoria del Seminario- Taller sobre investigaciones en semillas Forestales*. Octubre 1988. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif). Bogotá, Colombia. 111-118 p.
- Niembro R. A. 1991. Causas que originan el envejecimiento de las semillas de las plantas leñosas. Revisión Seminario. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. 16 p.
- Nienhuis, K. H. and H. J. Baltjes 1985. Seed storage and germination in testing varieties for distinctness, uniformity and stability. *Seed Sci. and Technol.* 13, 19-20.
- Oquendo J. 2015. "Jícama", una raíz sabrosa y medicina a su alcance. *Ficaya*.
- Otegui, M.; Sorol, C.; Fleck, A.; Klekailo, G. Madurez fisiológica, germinación y conservación de semillas de guayabito (*Psidium cuneatum*). *Revista Brasileira de Sementes [en línea]*, 2007, vol. 29, no. 3.
- Parrish, D. J. and A. C. Leopold 1978. On the mechanism of ageing in soybean seed plant. *Physiol.* 61, 365-368.
- Perry D. A. 1987. Introduction: methodology and application of vigour tests: Growth and evaluation tests: Topographical Tetrazolium test. *ISTA. Handbook of vigour tests methods*. 2a. Edición. Zurcú, Switzerland. 72 p.
- Perry, D. A. 1978. Report of the vigour test committee 1974-1977. *Seed Sci. and Technol.* 6, 159-181.
- Perry, D. A. 1980. The concept of seed vigour and relevance to seed production techniques. *In: Seed production* Ed. by P. D. Hebblethwaite. Butterworths and Hall LTD. London. 585-591.
- Perry, D. A. 1983. El concepto de vigor de la semilla y su relevancia con respecto a las técnicas de producción de semilla. *In: Producción Moderna de Semillas*. Hebblethwaite, P. D; (ed). Tomo II. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. pp: 693-702.
- PINCHINAT, A. M. Factores limitantes en el cultivo Del frijol en Centroamérica. *In Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el*

- Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 1<sup>a</sup> la, Panamá Marzo 17-19, 1965. Informe. Guatemala, Librería Indígena, s.f. pp. 79-73.
- Pinthus, M. J. and U. Kimel 1979. Speed of germination as a criterion of seed vigor in soybeans. *Crop Sci.* 19, 291-292.
- Polanco, M. (2011). Caracterización morfológica y molecular de materiales de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl). H. Robinson colectados en la eco región eje cafetero de Colombia [Tesis de maestría] Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://goo.gl/QdXc7m>
- Popinigis F. 1985. *Fisiología da Semente*. 2<sup>a</sup> Ed. Brasilia. 289 p.
- Priestley D. A. 1986. Seed aging: Implications for seed storage and persistence in the soil. Comstock Publishing Associates. Cornell University Press. Ithaca NY USA. 304 p.
- Qualls, M. and C. S. Cooper 1968. Germination, growth and respiration rates birdsfoot trefoil at three temperaturas during the early non-photosynthetic stage development. *Crop Sci.* 8, 758-760.
- Quinto, L.; Martínez, H. P. A.; Pimentel, B. L. y Rodríguez, T. D. A. 2009. Alternativas para mejorar la germinación de semillas de tres árboles tropicales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 15(1):23-28.
- Roberts E. H. 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology.* 1: 499-514.
- Roberts E. H. 1986. Quantifying seed deterioration. *In: McDonald M. B. and C. J. Nelson (Eds.). Physiology of Seed Deterioration.* Crop Science Society of America Special Publication 11. Madison WI. USA. 101-123 p.
- Roberts, E. H. 1972a. Cytological, genetical and metabolic changes associated with loss of viability. *In: Roberts, E. H. (Ed) Viability of Seeds.* 253-306, Chapman and Hall LTD.
- Roberts, E. H. 1972b. Storage environment and the control of viability. *In: Roberts E. H (Ed) Viability of Seeds.* 14-58, Chapman and Hall LTD.
- Roberts, E. H. 1981. Physiology of ageing and its application to drying and storage *Seed Sci. and Technol.* 9, 359-372.

- Ross, E. E. 1980. Physiological, Biochemical and genetic changes in seed quality during storage. *Hort Science* 15, 781-784.
- Santos, A.C.O., M.S.M. Cavalcanti & L.C.B.B. Coelho. Chemical composition and nutritional potential of yam bean seeds (*Pachyrhizus erosus* L. Urban). *Plant Foods for Human Nutrition* 49:35-41 (January 1996) © 1996 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Scott, G. E. 1981. Improvement for accelerated ageing response of seed in maíz population. *Crop Sci.* 21, 41-43.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro de Investigaciones Agrícolas del Bajío. Guanajuato, México. 11 p.
- Seminario, J., Valderrama, M., & Manrique, I. (2003). El Yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Lima, Peru. 60 pag.: Centro 88 Internacional de la Papa (CIP). Universidad Nacional de Cajamarca. Agencia Suisa para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).
- Shah, F. S., C. E. Watson and E. R. Cabrera. 2002. Seed vigor testing of subtropical corn hybrids. *Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station* 23: 1-6.
- SIAP, Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pecuaria (2016) Anuario del Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comdeanuadim.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comdeanuadim.html) (Marzo 2007).
- Sierra, P. J. O. 2005. Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros. 2 da edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 244 p.
- Singh, K.P.; Singh, J.R.P. and Ray, P.K. 1981. "RajendraMishrikanda-1" apromising yam. bean. *Indian Farming* 31(9):19-21.
- Sorensen, M. 1988. A taxonomic revision of the genus *Pachyrhizus* (Fabaceae Phaseoleae). *Nordic Journal of Botany* 8(2):167-192.



- Sorensen, M. 1990. Observaciones on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing, legume genus *Pachyrhizus* Rich. Ex DC. Wageningen Agricultural University Papers (Netherlands) 90(3):38 p.
- Sorensen, M. ed. 1993. First Biannual Progress Report of the Yam Bean Project. The Yam Bean Project, Copenhagen, Denmark. 170 p.
- Sorensen, M. ed. 1993. First Biannual Progress Report of the Yam Bean Project. The Yam Bean Project, Copenhagen, Denmark. 170 p.
- Sorensen, M. ed. 1996. First Biannual Progress Report of the Yam Bean Project. The Yam Bean Project, Copenhagen, Denmark. 170 p.
- Sorensen, M., 1996. Yam bean (*Pachyrhizus* DC.). En: Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. (Prom Underused Crops) 2:1–143. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Roma.
- Sorensen, M. 1989a. Pollen Morphology of species and interspecific hybrids in *Pachyrhizus* Rich. Ex DC. (Fabaceae:Phaseoleae). Review of Palaeobotany and Palynology (The Netherlands) 61(1989):319-339
- Sun W. Q., Davidson P., Chan H. S. O. 1998. Protein stability in the amorphous carbohydrate matrix: relevance to anhydrobiosis. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1425: 245-254.
- Teofilo, E. M., Oliveira, S., Esmeraldo, A.M., Madeiros, S. y Barbosa, F.D. 2004. Qualidade fisiológica de sementes de aroreira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em função do tipo de embalagem, ambiente e tipo de armazenamento. *Rev. Ciencia Agrônômica* 35(2), 371-376.
- Thomson J., R. 1979. Introducción a la tecnología de semillas. Acribia. España. 301 p.
- Van der Burg, W. J. 1986. Aspects of seed quality control. In: Srivastava, J. P. and L. T. Simarski. Seed production technology, 82-87. ICARDA, Syria.
- Van Geffen, A. 1986. An introduction to germination testing. In: Srivastava, J. P. and L. T. Simarski. Seed production technology, 160-183. ICARDA, Syria.
- Villaseñor M. H. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, estado de México. 149 p.

- Weaver R. J. 1980. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Ed. Trillas. México, D. F. 322 p.
- Webster, L. V. and S. T. Dexter 1961. Effects of physiological quality of seed on total germination, rapidity of germination and seedling vigor. Agron. J. 297-299.
- Woodstock, L. W. 1973. Physiological and biochemical tests for seed vigor. Seed Sci. and Technol. 1, 127- 157.



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
**Instituto Tecnológico de Roque**



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**CARACTERES FISIOLÓGICOS EN GENOTIPOS DE TRIGO  
EN DIFERENTES FECHAS DE SIEMBRA Y SU EFECTO  
SOBRE EL VIGOR DE PLÁNTULA**

**QUE PRESENTA**

**MIGUEL ANGEL NORIEGA CARMONA**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**

**CO-DIRECTOR: DR. ERNESTO SOLÍS MOYA**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**JUNIO, 2018**

La tesis “Caracteres fisiológicos en genotipos de trigo en diferentes fechas de siembra y su efecto sobre el vigor de plántula”, fue realizada por el alumno **MIGUEL ANGEL NORIEGA CARMONA**, bajo la dirección del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y del Dr. Ernesto Solís Moya y asesoría del Dr. Enrique Andrio Enríquez y MC. J. Guadalupe García Rodríguez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Ernesto Solís Moya**

**Cédula: 8189311**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Enrique Andrio Enríquez**

**Cédula: 8125558**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**M.C. J. Guadalupe García Rodríguez**

**Cédula: 4142620**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por ser mi guía en cada paso que he dado, por darme la fuerza y la salud para seguir adelante. Por darme una visión clara y la familia que tengo. Gracias señor, por tu amor y bondad infinita.

### **A mi esposa**

Por su amor, comprensión, paciencia, apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

### **A mis padres**

A quien les debo toda mi vida, les agradezco el cariño y su comprensión, a ustedes quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

### **A mis abuelos**

Por enseñarme el camino de la vida, gracias por sus consejos, por el amor que me han dado y por el apoyo incondicional. Gracias por llevarme siempre en sus oraciones.

### **A mis hermanas y sobrina**

Gracias por su cariño, apoyo, comprensión, paciencia y por compartir sus vidas

### **A mis tíos y primos**

Gracias a todos por que forman un pilar muy importante en mi vida, por cada palabra de aliento y por su apoyo.

**A mis maestros y amigos** gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

## AGRADECIMIENTOS

**Al Instituto Tecnológico de Roque;** por darme la oportunidad y todas las herramientas necesarias, para así poder culminar mis estudios de Ingeniería.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT);** por el apoyo económico con la beca otorgada, que me ha permitido concluir satisfactoriamente mis estudios de Maestría en Ciencias, para así lograr ser un profesional comprometido y competitivo ante el campo laboral.

**A mis directores y asesores;** Gracias por darme todo su apoyo para poder llevar a cabo y culminar este trabajo de investigación, gracias por todas las atenciones y tiempo que dedicaron en este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos conmigo.

Gracias por brindarme su amistad, gracias por el apoyo que me han brindado en mi desarrollo personal y académico.

Dr. Francisco Cervantes Ortiz

Dr. Ernesto Solís Moya

Dr. Enrique Andrio Enríquez

M.C. J. Guadalupe García Rodríguez

**A mis amigos y compañeros;** Gracias a todos ellos por su amistad y apoyo incondicional, gracias por el apoyo que me ofrecieron en el desarrollo de esta investigación. Francisco Cervantes Ortiz, Manuel Jerónimo Arriaga, Enrique Andrio Enríquez, Mauricio Lino Miranda, Guadalupe García Rodríguez, Abel López Valenzuela, Julio Cesar León Vargas, Eduardo Mendoza Ramos, José Guadalupe Valenzuela López, Hugo Daniel Cabrera León, Ernesto Solís Moya, María del Carmen Gómez, Gabriela Camacho Arellano, María de Lourdes de la Cruz González.

## ÍNDICE

Índice.....	i
Índice de tablas .....	ii
Índice de figuras .....	iii
Resumen .....	iv
Summary .....	vi
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Objetivos .....	7
1.1.1 Objetivo general .....	7
1.1.2 Objetivos específicos.....	7
1.2 Hipótesis.....	7
CAPITULO II. CARACTERES FISIOLÓGICOS Y RENDIMIENTO EN GENOTIPOS DE TRIGO EN DIFERENTES FECHAS DE SIEMBRA PARA EL BAJÍO DE GUANAJUATO.....	8
2.1 Introducción .....	10
2.2 Materiales y métodos.....	15
2.3 Resultados y discusión .....	18
2.4 Conclusiones .....	30
2.5 Literatura citada .....	30
CAPITULO III. FECHA DE SIEMBRA Y SU EFECTO EN LA CALIDAD FÍSICA Y VIGOR INICIAL DE PLÁNTULA EN GENOTIPOS DE TRIGO. ....	37
3.1 Introducción .....	40
3.2 Materiales y Métodos.....	42
3.3 Resultados y Discusión.....	45
3.4 Conclusiones .....	53
3.5 Literatura citada .....	54
CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES.....	58
CAPITULO V. LITERATURA CITADA GENERAL.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPITULO II.

Tabla 1. Líneas y variedades de trigo empleadas en la investigación. inifap- cebaj. .	15
Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres agronómicos en genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra. ....	18
Tabla 3. Comparación de medias para caracteres fisiológicos y agronómicos en genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra. ....	20
Tabla 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres fisiológicos y agronómicos en genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra. ....	22
Tabla 5. Comparación de medias para caracteres fisiológicos y agronómicos en genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra. ....	23
Tabla 6. Cuadrados medios del análisis ammi de 36 genotipos de trigo provenientes de 5 fechas de siembra. ....	25
Tabla 7. correlaciones de los autovectores con las variables originales de genotipos de Trigo evaluados en cinco fechas de siembra en el ciclo oi 2015-16. ....	28
Tabla 8. Correlación de caracteres agronómicos y fisiológicos en 36 genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra. ....	30

### CAPITULO III.

Tabla 1. Líneas y variedades de trigo obtenidas en inifap- cebaj. ....	42
Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad física de semilla de trigo. ....	45
Tabla 3. Comparación de medias de cinco genotipos extremos en calidad física de semilla de trigo. ....	47
Tabla 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor inicial de plántula en genotipos de trigo. ....	48
Tabla 5. Comparación de medias de cinco genotipos extremos para caracteres de vigor inicial de plántula en trigo. ....	50
Tabla 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor inicial de plántula en trigo. ....	51
Tabla 7. Comparación de medias de cinco genotipos extremos para caracteres de vigor inicial de plántula en trigo. ....	53



**ÍNDICE DE FIGURAS**

CAPITULO II.

Figura 1. Interacción genotipo x fecha de siembra (cp1) y valor medio del rendimiento de grano de 36 genotipos de trigo en 5 fechas de siembra. ....27

Figura 2. Biplot de las características agronómicas evaluadas en 36 genotipos de trigo evaluados en cinco fechas de siembra en el ciclo otoño invierno, 2015-2016.....29

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el impacto de las fechas de siembra en caracteres fisiológicos, agronómicos y de vigor inicial de plántula en 36 genotipos de trigo. La investigación de campo se realizó en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP en Celaya, Gto., en 2015-2016 en cinco fechas de siembra; con intervalos de 15 días, a partir del 15 de noviembre de 2015 y hasta el 15 de enero de 2016. Se evaluaron 36 genotipos de trigo; 34 de tipo harineros (*Triticum aestivum*) y dos cristalinos (*Triticum durum*). Se usó un diseño experimental de látice parcialmente balanceado 6 X 6, con 36 genotipos y 3 repeticiones. La parcela experimental se conformó por dos surcos de 3 m de largo sembrados a doble hilo y separados a 75 cm. Se registraron variables fisiológicas y componentes de rendimiento; 1) días a espigamiento; 2) días a madures fisiológica; 3) altura de planta; 4) rendimiento de grano; 5) índice de verdor; 6) índice de área foliar. Por otro lado, se determinó el vigor inicial de plántula y caracteres de calidad física de semilla en 36 genotipos de las fechas de siembra del 15 de noviembre, 15 de diciembre de 2015 y 15 de enero de 2016. Se registraron el peso de 100 semillas y peso volumétrico. Por otro lado, el ensayo de camas de arena bajo condiciones de vivero se desarrolló en el Instituto Tecnológico de Roque para evaluar el vigor inicial de la plántula; velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso fresco de vástago, peso seco de vástago y altura de plántula. Los resultados mostraron que la fecha de siembra A (15 de noviembre) fue la que registro mayor rendimiento de grano; en este sentido, la línea 21 fue el genotipo con mayor rendimiento; mientras la variedad Cortázar S94 y el genotipo 11 fueron los que se clasificaron como los más estables a diferentes ambientes. Además, el rendimiento de grano presentó una correlación alta y negativa para el índice de verdor y una correlación alta y positiva con índice de área foliar. Adicionalmente, el índice de verdor presentó una correlación alta y negativa con índice de área foliar. Los genotipos 5, 27, 29, 33 y 36 fueron consistentes con resultados superiores en la mayoría de las características de vigor de plántula y la fecha de

siembra del 15 de noviembre (primera fecha) influyó de manera positiva en la calidad física y vigor inicial de plántula.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, interacción genotipo-ambiente, caracteres fisiológicos, caracteres agronómicos y calidad de semilla.

## SUMMARY

The objective of the present investigation was to determine the impact of sowing dates on physiological, agronomic characters and initial vigor of seedlings in 36 wheat genotypes. The field research was conducted in the Bajío Experimental Field (CEBAJ) of the INIFAP in Celaya, Gto., in 2015-2016 on five sowing dates; with intervals of 15 days, from November 15, 2015 and until January 15, 2016. 36 wheat genotypes were evaluated; 34 of flour type (*Triticum aestivum*) and two crystalline (*Triticum durum*). An experimental 6 X 6 partially balanced lattice design was used, with 36 genotypes and 3 replications. The experimental plot was formed by two rows of 3 m long planted to double wire and separated to 75 cm. Physiological variables and performance components were recorded; 1) days to stubble; 2) days to physiological maturity; 3) plant height; 4) grain yield; 5) greenery index; 6) leaf area index. On the other hand, the test of sand beds under nursery conditions was developed at the Technological Institute of Roque to evaluate the initial vigor of the seedling; emergency speed, percentage of emergence, fresh stem weight, dry stem weight and seedling height. The results showed that the sowing date A (November 15) was the one with the highest grain yield; in this sense, line 21 was the genotype with the highest yield; while the variety Cortazar S94 and genotype 11 were the ones that were classified as the most stable in different environments. In addition, the grain yield showed a high and negative correlation for the green index and a high and positive correlation with leaf area index. Additionally, the greenness index showed a high and negative correlation with leaf area index. The genotypes 5, 27, 29, 33 and 36 were consistent with superior results in most of the seedling vigor characteristics and the sowing date of November 15 (first date) positively influenced the physical quality and initial vigor of seedling

**Key words:** *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, genotype-environment interaction, physiological characters, agronomic characters and seed quality.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los principales países productores de trigo con respecto a la proporción total en 2014/15 son: la Unión Europea (22 %), China (17 %), India (13 %), Rusia (8 %), Estados Unidos (8 %) y Canadá (4 %) (FIRA, 2015). El comercio mundial de trigo en 2017/18 (junio/julio) se estima en 175 millones de toneladas; es decir, 2 millones de toneladas (1.4 %) menos que en 2016/17 y 500 000 toneladas menos de lo pronosticado en diciembre (FAO, 2018).

Por las características de desarrollo productivo del trigo y las condiciones climatológicas de la República Mexicana, su producción se practica en 24 entidades federativas. Las principales zonas trigueras se encuentran en el noroeste del país, en el cual se produce 74.46 % del total nacional y el Bajío contribuye con el 13.98 %, en las dos regiones el trigo se produce en el ciclo otoño-invierno (O-I; noviembre-mayo). Entre los estados que más producen se encuentran Sonora (51%), Baja California (11%) y Guanajuato (10%) (SIAP, 2017).

El estado de Guanajuato se compone por 4 delegaciones, entre ellas está Cortázar que produce el 80.6 % de trigo, seguido por León con 15.7%, Dolores Hidalgo 3% y Celaya con 0.7 % (SIAP, 2017).

La aplicación de los avances tecnológicos ha sido de vital importancia en el desarrollo del cultivo del trigo, como es el caso de las semillas mejoradas, en donde el país es líder mundial en investigación y desarrollo, siendo la sede del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), cuyo programa de Trigo está orientado a mejorar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas de los países en desarrollo, donde el trigo harinero, el trigo duro, el triticale y la cebada son cultivos de suma importancia. De los principales cereales que se producen en México, el trigo grano ocupa el quinto lugar en cuanto al monto del precio medio rural, después del amaranto, arroz palay, maíz grano y avena grano. Dada la importancia en la economía y en la dieta de la población, las actividades productivas del trigo son objeto de atención gubernamental a través de las líneas de política global y sectorial, de tal

manera que este cultivo está considerado directa e implícitamente en los programas sustantivos del Sector Agropecuario, como son la Alianza para el Campo, el Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO) y, en casos específicos, el Programa de Apoyos a la Comercialización (SAGARPA, 2000).

El rendimiento potencial del cultivo de trigo, es definido como el rendimiento que se podría obtener en condiciones óptimas de manejo, sin limitantes de humedad, ni de fertilizantes y en ausencia de plagas, enfermedades y malezas, además depende de los factores ambientales (Solís *et al.*, 2007). Así también los rendimientos parcelarios están determinados por varios factores siendo los más destacados; la fecha de siembra, riegos oportuno y suficiente, deficiencias nutricionales, salinidad, tipos de suelo, control oportuno de plagas y malezas (Félix *et al.*, 2009). En relación a esto, Ortiz *et al.* (1985) mencionan la necesidad de estudiar aquellas características que puedan mejorar la eficiencia de la planta y el rendimiento de grano, para así determinar cuáles son necesarias para el buen desarrollo del cultivo en un ambiente dado.

El efecto negativo sobre el rendimiento final del cultivo es consecuencia de la oscilación máxima de la temperatura, que afecta principalmente las etapas vegetativas y reproductivas, cuando los tejidos de la planta están tiernos o están en crecimiento rápido; por ejemplo, en la corona de la raíz, durante la diferenciación de la espiga, durante la elongación del tallo y las hojas y durante la floración y el desarrollo del grano; éstas son también etapas críticas a la falta de agua y sensibles a las carencias nutricionales y a la toxicidad de algún elemento químico del suelo (Felix *et al.*, 2009). Por otro lado, las horas calor definen las etapas de crecimiento como una constante térmica (Pascale y Damario, 2004); es decir, al cumplirse un número determinado de horas calor, la planta cambia de etapa fenológica, independientemente de la fecha de siembra y de la localidad. Cuando el año es cálido, rápidamente se completan las horas calor necesario de cada etapa fenológica, acortando así la duración del ciclo biológico del trigo. Por el contrario, las horas frío alargan los períodos fenológicos, proporcionando condiciones que reducen la velocidad con que se llevan a cabo los

procesos fisiológicos y consecuentemente retardan el crecimiento, que por lo general se genera un mayor rendimiento (Félix *et al.*, 2009).

Las fechas de siembras inadecuadas; tempranas o tardías, tienen consecuencias adversas. Los estudios conducidos por Rawson (1970), establecen que la exposición de la planta de trigo a días largos prematuramente, induce a la iniciación floral temprana, reduciendo de manera progresiva el número de espiguillas, número de granos por espiga y el rendimiento por espiga; por el contrario, fechas de siembra óptimas, promueven alta germinación de la semilla, plantas fuertes, sistema radicular vigoroso, favorecen el amacollamiento (todos los hijos o vástagos nacidos de la base de la planta), reducen el acame, e incrementan el número y el peso del grano (Musick y Dusec, 1980).

Por otro lado, la duración de las etapas fenológicas del cultivo están reguladas por la temperatura, el fotoperiodo y los requerimientos de horas frío o vernalización. La temperatura se relaciona inversamente con la duración de cada fase, mientras que en condiciones de días cortos las mismas se prolongan. Una siembra temprana de trigo en un buen ambiente de producción seguramente compensará alguna pérdida de plantas y de área foliar inicial. Los daños posteriores ocurridos alrededor de la floración afectan en forma significativa el número de granos, difícilmente puedan ser compensados. La extrema susceptibilidad por parte del cultivo en este momento necesariamente obliga a elegir una fecha de siembra adecuada para cada variedad de trigo de acuerdo a su ciclo en cada región (Giménez, 2009).

La duración de las etapas de crecimiento y desarrollo en trigo dependen del ambiente, principalmente temperatura, fotoperiodo y vernalización (Fisher, 1984) y del genotipo y su sensibilidad a los factores ambientales (Slafer *et al.*, 1996). El rendimiento final puede definirse como el producto entre el peso de los granos y el número de granos. En este contexto, Engledow y Wadham (1923) consideran al número de granos/m<sup>2</sup> como el producto entre el número de espigas/m<sup>2</sup>, número de espiguillas por espiga y el número de granos por espiguilla. En cada una de las etapas fenológicas se definen estos componentes numéricos que luego van a dar como resultado final el rendimiento en grano.

El medidor de clorofila (“greenseeker” portátil) es una herramienta promisoría para monitorear el status de nitrógeno (N) del cultivo a través del índice de verdor (IV) y del índice de suficiencia de N (ISN) en hoja. El nitrógeno (N) constituye el principal factor limitante de la productividad del trigo. La intensidad de color verde de las hojas se relaciona con la concentración de clorofila y el N en la hoja (Shepers *et al.*, 1992). El Greenseeker permite caracterizar el estado nitrogenado de una manera no destructiva (Sainz-Rosas y Echeverría, 1998); las determinaciones son sencillas, rápidas y confiables y permite el ahorro de tiempo y dinero en el laboratorio.

Uno de los desafíos para la producción del cultivo de trigo es la sincronización entre los requerimientos y la disponibilidad de N (Schepers *et al.*, 1992). Esta sincronización es fundamental durante los 20 a 30 días previos a la antesis, debido a que las deficiencias nitrogenadas en este período reducen el rendimiento a través de una menor producción de granos (Abbate *et al.*, 1994). El medidor de clorofila es un método rápido y fácil de utilizar, permitiendo realizar muestreos más frecuentemente y explorar en mayor medida la variabilidad en un sitio determinado, comparado con otros métodos (Murdock *et al.*, 1997). La fundamentación del método se basa en las estrechas relaciones que existen entre las lecturas de IV y el contenido de clorofila, entre ambos y la concentración de N en hoja (Schepers *et al.*, 1992).

El índice de área foliar (IAF) es una variable clave utilizada por fisiólogos y por investigadores que aplican modelos matemáticos para estimar el follaje de la cubierta vegetal, así como la previsión del crecimiento y rendimiento del cultivo (Haboudane *et al.*, 2004). La determinación del IAF es fundamental para comprender los procesos biofísicos del dosel de los árboles y de los cultivos, y para predecir el crecimiento y la productividad (Tucker *et al.*, 1980; Daughtry *et al.*, 1992; Goetz y Prince, 1996; Liu *et al.*, 1997; Moran *et al.*, 1995, 1997).

Para la producción de semillas de trigo y su clasificación, existen reglas que se expiden con el objetivo de establecer los criterios y especificaciones que deben cumplir las variedades vegetales, tanto en campo como en laboratorio, para fines de calificación de las semillas y del material de propagación, de acuerdo a las categorías de semillas



previstas en la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas de 2007 (LFPCCS, 2007).

En este contexto, para producir variedades se deben utilizar semillas de las categorías Básica y Registrada, por lo que estas deben haber sido calificadas por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) u otro organismo autorizado para la certificación de semillas. Si la semilla no está calificada, dicha categoría no será aprobada para la producción de semilla y no se le podrá otorgar la categoría Certificada. En caso de iniciar la producción a partir de semilla Original, se tiene que comprobar el origen a través de la Carta de Identidad Varietal emitida por el Obtentor o por quien registró la variedad en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV). Las variedades que se pretendan producir o multiplicar deben estar inscritas en el CNVV. En el caso de variedades de importación que se deseen producir o multiplicar, se debe comprobar la procedencia por medio de etiquetas de certificación emitidas por el organismo de certificación del país de origen y presentar el Certificado Fitosanitario. Finalmente, el estándar de calidad aceptado por el SNICS para semillas calificadas es del 90 % de germinación.

En el caso de la categoría Declarada o Comercial es obligatorio anexar a la etiqueta la cantidad de semillas que contiene el saco, expresada en número o en unidades de masa. Los estándares correspondientes a la semilla de la categoría declarada deben ser equivalentes a los establecidos en cuanto a la categoría Certificada, tanto en factores de campo como de laboratorio. Se tiene que considerar que no es posible comprobar la calidad genética con ningún tipo de certificado. En el caso de la semilla calificada, la fecha del último análisis de germinación equivale a la fecha de certificación. En relación con la etiqueta de semilla de la categoría declarada, se debe indicar la fecha del último análisis de germinación (SNICS, 2014)

La calidad de semillas comprende muchos atributos, en término individual incluye pureza varietal, viabilidad, vigor, daño mecánico, enfermedades, cobertura de tratamiento y tamaño; en un lote de semillas, las características incluyen contenido de humedad, potencial de almacenamiento, incidencia de contaminantes, semillas de

otros cultivos y materia inerte, uniformidad del lote y potencial de su comportamiento, estos atributos pueden ser agrupados dentro de cuatro componentes: el genético, que contempla la pureza varietal; físico, que incluye los atributos de pureza física, incidencia y severidad de daño mecánico y tamaño de semilla; el patológico, considera el tipo e incidencia de enfermedades transmitidas por semilla; y el factor fisiológico, que es la germinación y vigor (Delouche, 1985).

Por su parte, Pulsen (2000) señala que para expresar la calidad de semilla no es suficiente el porcentaje de germinación, debido a que este concepto también implica calidad genética y calidad fisiológica. La definición de calidad debe depender del uso final que se le da a la semilla, como sería para conservación de recursos genéticos, producción en vivero, siembra directa en tierra arable, o en bosque, o bien para producir alimentos. Así mismo, Herrera *et al.* (2000) describen como ventaja de la semilla de alta calidad, el dar origen a cultivos uniformes, con semillas de color y forma propia de cada variedad, sin mezclas de otras variedades, lo cual también asegura una madurez uniforme al ser semilla de buena calidad estará libre de plagas y enfermedades. Por esta razón hay un buen desarrollo del cultivo, lo que significa mayor potencial de rendimiento, mejor calidad del producto y mejor aceptación en el comercio. La semilla de alta calidad produce plantas vigorosas, tallos fuertes y otras características que le confieren a la planta la capacidad de tolerar ataques de plagas y enfermedades entre otros factores adversos. En este sentido, en los programas de mejoramiento genético es importante considerar el vigor inicial de la plántula para asegurar la germinación, la emergencia y desarrollo inicial del cultivo (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2007)

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Determinar el impacto de las fechas de siembra en caracteres fisiológicos, agronómicos, de rendimiento y de vigor inicial de plántula en 36 genotipos de trigo.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar el índice de área foliar y de verdor en genotipos de trigo en cinco fechas de siembra.
- Evaluar la calidad física de la semilla y determinar el vigor inicial de plántula en genotipos de trigo proveniente de distintas fechas de siembra.
- Correlacionar el peso de semilla con caracteres de vigor inicial de plántula en genotipos de trigo para el Bajío de México.

## **1.2 Hipótesis**

- El índice de área foliar y de verdor en la planta de trigo difieren de forma significativa de acuerdo con el genotipo y con la fecha de siembra.
- A mayor área foliar e índice de verdor se incrementa el rendimiento de grano en trigo.
- La existencia de diferencias de una disminución en la calidad de semilla y pérdida de vigor de la plántula de genotipos de trigo, resultan como consecuencias del retraso que sufre las fechas de siembra.

## CAPITULO II. CARACTERES FISIOLÓGICOS Y RENDIMIENTO EN GENOTIPOS DE TRIGO EN DIFERENTES FECHAS DE SIEMBRA PARA EL BAJÍO DE GUANAJUATO

### RESUMEN

La base de la alimentación de gran parte de la sociedad actual es sin duda alguna el trigo, de ahí su importancia y su significado como elemento que asegura la subsistencia de una proporción relevante de la población mundial. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de las fechas de siembra en caracteres fisiológicos, agronómicos y de rendimiento en 36 genotipos de trigo. El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP en Celaya, Gto., en 2015-2016. Se establecieron cinco fechas de siembra; con intervalos de 15 días a partir del 15 de noviembre de 2015 hasta el 15 de enero del 2016. Se evaluaron 36 genotipos de trigo; 34 trigos harineros (*Triticum aestivum*) y dos tipos cristalinos (*Triticum durum*). Se usó un diseño experimental de látice parcialmente balanceado 6 X 6, con 36 genotipos y 3 repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida por dos surcos sembrados a doble hilo de 3 m de largo separado a 75 cm. Se registraron variables fisiológicas y rendimiento de grano; 1) días a espigamiento; 2) días a madurez fisiológica; 3) altura de planta; 4) rendimiento de grano; 5) índice de verdor; 6) índice de área foliar. Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias para cada una de las variables estudiadas. Para la interacción genotipo-ambiente del rendimiento se analizó con el modelo AMMI, además, se realizó un análisis de componentes principales. Los resultados mostraron que la fecha de siembra (A) fue la que registro mayor rendimiento de grano y en este sentido, la línea 21 fue el genotipo con mayor rendimiento. Por otro lado, la variedad Cortázar S94 y el genotipo 11 fueron los materiales que se clasificaron como los más estables en los diferentes ambientes de evaluación. Finalmente, el rendimiento de grano presentó una correlación alta y negativa para el índice de verdor y alta y positiva con índice de área foliar. El índice de verdor presentó una correlación alta y negativa con el índice de área foliar.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, índice de área foliar, índice de verdor e interacción genotipo-ambiente.

## SUMMARY

The basis of the diet of much of today's society is undoubtedly wheat, hence its importance and significance as an element that ensures the survival of a relevant proportion of the world's population. The objective of the present investigation was to determine the effect of sowing dates on physiological, agronomic and yield traits in 36 wheat genotypes. The present work was carried out in the Bajío Experimental Field (CEBAJ) of the INIFAP in Celaya, Gto., In 2015-2016. Five sowing dates were established; with intervals of 15 days from November 15, 2015 until January 15, 2016. 36 wheat genotypes were evaluated; 34 bread wheats (*Triticum aestivum*) and two crystalline types (*Triticum durum*). An experimental 6 X 6 partially balanced lattice design was used, with 36 genotypes and 3 replications. The experimental plot consisted of two rows planted with double thread of 3 m long separated to 75 cm. Physiological variables and grain yield were recorded; 1) days to stubble; 2) days at physiological maturity; 3) plant height; 4) grain yield; 5) greenery index; 6) leaf area index. Variance analysis and mean comparison tests were performed for each of the variables studied. For the genotype-environment interaction of the performance was analyzed with the AMMI model, in addition, a principal component analysis was performed. The results showed that the sowing date (A) was the one with the highest grain yield, and in this sense, line 21 was the genotype with the highest yield. On the other hand, the Cortazar S94 variety and genotype 11 were the materials that were classified as the most stable in the different evaluation environments. Finally, the grain yield showed a high and negative correlation for the greenery index and high and positive correlation with leaf area index. The green index showed a high and negative correlation with the leaf area index.

**Key words:** *Triticum aestivum*, *Triticum durum*, leaf area index, greenery index and genotype-environment interaction

## 2.1 INTRODUCCIÓN

Después del maíz, el trigo es muy importante en la alimentación de la sociedad mexicana, en la medida en que es la base para la elaboración de productos finales como pan, pasteles, tortillas, galletas y pastas, entre otros. Aunque en menor proporción que otros granos, se utiliza como alimento para la ganadería, principalmente para las actividades porcícola, avícola y engorda de ganado. En términos del contenido de nutrientes y valor energético, el trigo es superior a los demás granos y sólo se compara con la avena.

El contenido de proteínas del trigo es de 10.6, maíz de 7.9 y del arroz de 7.4 %. A su vez, el contenido de calorías del cereal objeto de estudio es de 337 kilocalorías, superior al del frijol con 332 kilocalorías e inferior al maíz y arroz, con 362 y 364 kilocalorías, respectivamente. En cuanto al contenido de grasa, el trigo es superado por el maíz y en carbohidratos. El consumo del cereal no se realiza directamente, por lo que requiere de un proceso de transformación, que generalmente inicia con la molienda, cuyo primer producto es la harina, a partir de lo cual la industria harinera se ubica como el eslabón estratégico de la cadena producción-consumo y el principal factor de demanda del grano (SAGARPA, 2000).

Las siembras de trigo harinero de secano son una alternativa para disminuir el déficit en México, ya que hay alrededor de un millón de hectáreas sin riego en las que el cultivo de trigo parece una opción adecuada (Villaseñor y Espitia, 2000). Sin embargo, los productores de trigo de secano enfrentan problemas para comercializar sus cosechas, debido principalmente a que la industria molinera prefiere importar el trigo de mercados internacionales, con el argumento de que las variedades mexicanas no tienen la calidad adecuada para industrializar (Hortelano *et al.*, 2013).

El conocimiento de la influencia genética y ambiental en la variación de la calidad industrial en trigos harineros es fundamental para producir cosechas de calidad alta y estable, que favorezca su comercialización. La evaluación de la calidad en un número alto de diversos ambientes es complicada, por lo que los mejoradores tienen

información limitada de la variación de la calidad atribuible al genotipo y a las condiciones ambientales (Espitia *et al.*, 2003).

El genotipo afecta la calidad de industrialización del trigo (Sánchez-García *et al.*, 2015), pero las condiciones ambientales tienen influencia mayor sobre la calidad (Vázquez *et al.*, 2012; Mohan *et al.*, 2014; Rozbicki *et al.*, 2015). Según Espitia *et al.* (2003) afirman que con las condiciones de producción de trigo en México y con variedades locales el volumen de pan es controlado por efectos ambientales en 74 %; aunque esto estará determinado por la variabilidad entre genotipos y entre ambientes.

El mejoramiento del rendimiento de trigo ha sido durante la segunda mitad del siglo XX claramente eficiente en aumentar los rendimientos del cultivo sin tener en consideración, al menos de un modo explícito, aspectos fisiológicos del mismo. Sin embargo, existe preocupación acerca de cómo se logran los avances necesarios para el futuro inmediato. En el caso de un cultivo que ya ha sido sometido a una intensa presión de selección por rendimiento, como es el caso del trigo, es probable que el uso de características fisiológicas pueda ser instrumental para complementar los procedimientos más frecuentes en mejoramiento tradicional, aunque es un requisito contar con propuestas que además sean realizables en un contexto realista de mejoramiento (Slafer *et al.*, 1994).

Puede haber diversos caminos para poder hallar altas tasas de fotosíntesis y encontrar una relación directa con el rendimiento de los cultivos. Uno de ellos es usar genotipos con hojas semierectas que permiten mayor penetración de la radiación en las hojas inferiores de la planta. Otra manera es emplear genotipos o cultivares con potencial de rendimiento alto, los cuales tienen mayor capacidad de enviar fotoasimilados al grano (mayor capacidad en la relación fuente-demanda). Por último, se puede crecer el cultivo en ambientes de radiación alta (sin restricción de agua), lo que permite altas tasas de fotosíntesis y finalmente, un alto rendimiento de grano.

Aumentar la penetración de radiación dentro del dosel del cultivo es una buena forma de inducir mayores tasas de fotosíntesis en hojas inferiores del dosel, que

frecuentemente reciben poca radiación. La selección de genotipos de trigo, maíz y arroz con hojas semierectas ha permitido incrementar el rendimiento debido a la penetración de radiación y seguramente a un aumento en la fotosíntesis de esas hojas (Reynolds *et al.*, 1999).

Los genotipos modernos de diversos cultivos han demostrado que tienen un mayor potencial de rendimiento; es decir, una mayor producción de granos o semillas que los genotipos viejos o los llamados “criollos”. El alto potencial de rendimiento seguramente está relacionado con una mayor fijación de CO<sub>2</sub> y con distribución de asimilados hacia el grano durante el llenado de grano en cereales como trigo, cebada y avena (Gaskel y Pearcy, 1981; Sinha *et al.*, 1981).

Por su parte, Fischer *et al.* (1998) encontraron que cultivares modernos de trigo mostraron un mayor rendimiento de grano conforme fueron liberados entre los años sesenta y noventa. Los cultivares modernos (más rendidores) manifestaron al mismo tiempo una mayor tasa de fotosíntesis y conductancia estomática. Sin embargo, de todos los factores externos e internos que regulan la fotosíntesis, uno de mayor influencia directa y de mayor impacto es la radiación solar; mejor dicho, la radiación que las plantas aprovechan para convertir la energía solar en energía química, que es entre los 400-700 nm. Las fluctuaciones estacionales, diarias y de cada hora, determinan el nivel de la tasa de fotosíntesis en la planta.

Los niveles de radiación para saturar el sistema fotosintético en trigo es alrededor de los 1550  $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , y no se alcanzan en muchas regiones de Europa y otras regiones donde se cultiva trigo en invierno (Blum, 1990). Del mismo modo, Austin (1989) indica que la falta de relación entre la tasa de fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo puede ser porque el clima en el que crece no es completamente soleado, lo que ocasiona una tasa de fotosíntesis baja. Al parecer, la fotosíntesis y el rendimiento de cultivos pueden estar asociados solamente en ambientes con alta radiación (Blum, 1988; Day y Chalabi, 1988).



En este contexto, Blum (1990) reportó que cultivares de trigo seleccionados desde 1968 a 1986 en Israel en un ambiente de radiación alta, tuvieron un óptimo rendimiento de grano ( $542 \text{ g m}^{-2}$ ) y una tasa de fotosíntesis alta, en contraste con cultivares de bajo rendimiento ( $481 \text{ g m}^{-2}$ ) y baja tasa de fotosíntesis.

La hoja bandera, es la fuente principal de carbohidratos o fotoasimilados en etapas de mayor demanda como la antesis o la de llenado al grano. En este sentido, Gutiérrez *et al.* (2000) y Reynolds *et al.* (2000) han demostrado que es posible encontrar una relación positiva entre fotosíntesis y el rendimiento de grano, y lo que es más importante puede ser heredable a otras generaciones.

Es posible medir el intercambio gaseoso de una planta con un equipo IRGA (Infra-Red Gas Analyzer), el cual determina las moléculas de  $\text{CO}_2$  que consume la hoja bandera en un tiempo y en un área específica ( $\mu\text{moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Otro parámetro fisiológico relacionado con el intercambio gaseoso en la hoja es la conductancia estomática, la cual indica si están abiertos o cerrados los poros de los estomas y el flujo de moléculas a través de ellos. En este sentido, la selección temprana en programas de mejoramiento genético es una alternativa viable para la búsqueda de características fisiológicas en las primeras progenies (F2, F3, F4 y F5). La alta segregación (plantas con bajo, mediano y alto rendimiento) es aprovechada para encontrar líneas de trigo con características apropiadas a los requerimientos del fitomejorador (Singh *et al.*, 1986; Peter *et al.*, 1991).

Por otro lado, el área de hojas de la planta está en función del número de hojas y del tamaño final de las mismas. Con esta variable estimada en una superficie de suelo conocida en que crece el cultivo, se estima el Índice de Área Foliar que resulta ser un número adimensional. El área foliar y el índice de área foliar son parámetros ampliamente utilizados en estudios de ecofisiología de cultivos (Coombs y Hall, 1982). Al respecto, Haboudane *et al.* (2004) establecen que el índice de área foliar es una variable clave utilizada por fisiólogos y por investigadores que aplican modelos matemáticos para estimar el follaje de la cubierta vegetal, así como la previsión del crecimiento y rendimiento del cultivo. La determinación del índice de área foliar es

fundamental para comprender los procesos biofísicos del dosel de los árboles y de los cultivos, y para predecir el crecimiento y la productividad (Tucker *et al.*, 1980; Daughtry *et al.*, 1992; Goetz y Prince, 1996; Liu *et al.*, 1997; Moran *et al.*, 1995, 1997).

La intensidad de color verde de las hojas se relaciona con la concentración de clorofila y el nitrógeno en la hoja (Shepers *et al.*, 1992). A través de la determinación del índice de verdor se puede predecir el porcentaje de proteína del grano midiendo el contenido de nitrógeno en la hoja bandera, ya que es un estimador del aumento de la proteína por la fertilización nitrogenada en floración (Falótico *et al.*, 1999; Echeverría *et al.*, 2000). Esto se debe a que la cantidad de clorofila está influenciada por la disponibilidad de nutrientes (Finnan *et al.*, 1997), encontrándose que hasta un 75 % del nitrógeno reducido en la hoja está dentro de los cloroplastos y las proteínas solubles, asociadas a la fotosíntesis (Grindlay, 1997).

La duración de las etapas fenológicas del cultivo, están reguladas por la temperatura, el fotoperiodo y los requerimientos de horas frío o vernalización. La temperatura se relaciona inversamente con la duración de cada fase, mientras que en condiciones de días cortos las mismas se prolongan. Una siembra temprana de trigo en un buen ambiente de producción seguramente compensará alguna pérdida de plantas y de área foliar inicial. La extrema susceptibilidad por parte del cultivo en este momento necesariamente obliga a elegir una fecha de siembra adecuada para cada variedad de trigo de acuerdo a su ciclo en cada región (Fraschina *et al.*, 2002). La duración de las etapas de crecimiento y desarrollo en trigo dependen del ambiente, principalmente temperatura, fotoperiodo y vernalización (Fisher, 1984) y del genotipo y su sensibilidad a los factores ambientales (Slafer, 1996).

En base a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la fecha de siembra en la expresión de caracteres fisiológicos y agronómicos en 36 genotipos de trigo.

## 2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del INIFAP, ubicado en el Km 6.5 de la carretera Celaya–San Miguel de Allende, en Celaya, Gto., cuya localización geográfica se encuentra aproximadamente a 20° 32' Latitud Norte; 100° 48' Longitud Oeste; y una altura de 1752 msnm (google maps 2017). El clima de esta región es semi cálido, con una precipitación anual entre los 400 a 700 mm. El régimen térmico es de 18 a 20°C. Los suelos se consideran vertisol pélico (Mora *et al.*, 2001).

El experimento se estableció en 2015-2016. Se establecieron cinco fechas de siembra, con intervalos de 15 días a partir del 15 de noviembre de 2015 hasta el 15 de enero de 2016.

Se evaluaron 36 genotipos de trigo (Tabla 1); de los cuales 34 son trigos harineros (*Triticum aestivum*) y dos de tipo cristalino (*Triticum durum*). El diseño experimental de campo fue un látice parcialmente balanceado 6 X 6, con 36 genotipos y 3 repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida por dos surcos sembrados a doble hilo de 3 m de largo separados a 75 cm.

Se fertilizó con la fórmula 240-60-00; la mitad del nitrógeno (N) y todo el fósforo en la siembra y la segunda mitad del N en el primer riego de auxilio. Se aplicaron los riegos a la siembra y a los 35-65-85-105 días después de la siembra.

Tabla 1. Líneas y variedades de trigo empleadas en la investigación. INIFAP-CEBAJ.

No. de genotipo	Genealogía	Pedigree	Tipo de material	Tipo de grano
1	Cortázar S94	No aplica	Variedad	harinero
2	URBINA S2007	No aplica	Variedad	harinero
3	IBIS//LOTH/GRACIA	TR04029-4R-0C-0R-1R-1R	Línea	harinero
4	COLIBRI//KRO	TC-070081-5R-0R-0R-1C-0R	Línea	harinero
5	MAYA S2007	No aplica	Variedad	harinero
6	COLIBRI/TRAGOPAN	TR07CS223-24R-0C-0R-5C-0R-0C	Línea	harinero

7	BARCENAS S2002	No aplica	Variedad	harinero
8	COLIBRI//FINSI	TC-070080-2R-0R-0R-1C-0R	Línea	harinero
9	ENEIDA F94	No aplica	Variedad	harinero
10	DIAMANTE/URBINA	TR10CS019-4R-0R-0R-6C-0R	Línea	harinero
11	TJB368/BUC//CUPE/3/ENE/ZITA	TJB368/BUC//CUPE/3/ENE/ZITA	Línea	harinero
12	COLIBRI//GAL	TC-070079-10R-0R-0R-5C-0R	Línea	harinero
13	TALCO/TURQUESA	TR10CS022-6R-0R-0R-8C-0R	Línea	harinero
14	DIAMANTE/YESO	TR10CS017-24C-0R-0R-6C-0R	Línea	harinero
15	FAISAN//LOTH/GRACIA	TR05CS191-3R-0R-0R-2R-1C-0R	Línea	harinero
16	SALAMANCA S75	No aplica	Variedad	harinero
17	ARSENIATO/VANADATO	TR10CS017-24C-0R-0R-6C-0R	Línea	harinero
18	DIAMANTE/ARAGONITA	TR09CS116-24R-0C-0R-3R-0R-0R	Línea	harinero
19	PLATA/ICA 30.05//CELESTINA	TR10CT107-10C-0R-0R-7C-0R	Línea	harinero
20	GEMA C2004	No aplica	Variedad	cristalino
21	DIAMANTE/SILVINITA //CELESTINA	TR10CT143-18C-0R-0R-3C-0R	Línea	harinero
22	HIERRO/2*COLIBRI	TR10RC280-11C-0R-0R-10C-0R	Línea	harinero
23	HIERRO/ESFALERITA	TR09CS88-15R-0C-0R-5c-0C	Línea	harinero
24	CONDOR/LIZ	TR04158-14R-0C-0R-3R-1R	Línea	harinero
25	DIAMANTE/MONARCA	TR09CS113-8R-0R-0C-4R-0C	Línea	harinero
26	TJB368/BUC//CUPE/4/BOW/PRL//BUC/3/TMT/5/WBLL1*2/TUKURU	TR05CTRL339-6R-0R-0R-1R-3C-0R	Línea	harinero
27	DIAMANTE/ARAGONITA	TR09CS116-24R-0C-0R-6R-0R-0R	Línea	harinero

28	ROMOGA//BUC-S/ GJO-S/4/AZTECA F67/3/MRNG/BUG- S//BLO-S/PSN-S	TR00103-2R-0R-0C-4R- 0R	Línea	harinero
29	COLIBRI/4/BJY/COC// PRL/BOW/3/FRTL	TR07CS226-6R-0C-0R- 3C-0R-0C	Línea	harinero
30	TJB368/BUC//CUPE/4/ BOW/PRL//BUC/3/TM T/5/WBLL1*2/TUKUR U	TR05CTRL326-4R-0R- 0R-1R-1C-0R-0R	Línea	harinero
31	ANATOLY C2011	No aplica	Variedad	crystalino
32	APROT21/COLIBRI	TR09CT285-22R-0C- 0R-5R-0R-0R	Línea	harinero
33	PLATA/ICA 30.05//CELESTINA	TR10CT107-10C-0R- 0R-6C-0R	Línea	harinero
34	COLIBRI/TRAGOPAN	TR07CS223-24R-0C- 0R-2C-0R-0C	Línea	harinero
35	DIAMANTE/ARAGONI TA	TR09CS116-24R-0C- 0R-9R-0R-0R	Línea	harinero
36	COLIBRI/3/WBLL1/FR ET2//PASTOR	TR07CS225-12R-0C- 0R-5C-0R-0C	Línea	harinero

Se registraron variables fisiológicas, agronómicas, rendimiento y algunos componentes de rendimiento. Los días a espigamiento (DE) se determinaron haciendo el conteo desde el día de la siembra hasta la etapa de espigamiento; días a madures fisiológica (DMF), contabilizando los días transcurridos de la siembra hasta que los pedúnculos de las plantas se tornaron de color amarillento; altura de planta (AP), se determinó en el momento que la planta alcanzó la madurez fisiológica con el apoyo de un estadal, desde el nivel del suelo hasta la altura máxima de la planta; rendimiento de grano (RG), de la cosecha del total de la parcela experimental; índice de verdor (GS), se tomaron mediciones con greenseeker portátil en espigamiento con intervalos de 8 días hasta madurez fisiológica e índice de área foliar (IAF), se realizó una sola medición con el equipo accupar en estado de antesis.

Se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias para cada una de las variables estudiadas utilizando el programa estadístico SAS ver. 9.3. Para la interacción genotipo-ambiente del rendimiento se analizó con el modelo AMMI,

utilizando el programa GEA–R. Finalmente, se realizó un análisis de componentes principales con el programa R utilizando el paquete gbiplot.

### 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado a través de fechas de siembra detectó diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para fechas de siembra (FS), genotipos (G) y la interacción FS\*G para todos los caracteres; excepto en la interacción FS\*G para altura de planta (AP), donde no se observaron diferencias significativas (Tabla 2). La mayor parte de la variación se observó en fechas de siembra seguido de genotipos y la interacción FS\*G.

Con respecto al coeficiente de variación (C.V), fue de 2.79 para DE, 1.60 en DMF y 4.07 % para AP. Otros experimentos conducidos en campo han reportado C.V que fluctúan entre 3 a 10 %, 11 a 20 % y 21 a 30 %, y se han clasificado como bajos, medios y altos, respectivamente (Pimentel, 1985). Según esta clasificación el C.V se considera bajo y por lo tanto aceptable e indica que el experimento fue conducido de forma correcta.

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres agronómicos en genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra.

F.V	G.L	DE	DMF	AP
Repeticiones (Rep)	2	244.55	232.81	5.97
Fecha de siembra (FS)	4	4090.47**	7606.95**	1192.93**
Genotipo (G)	35	123.83**	85.37**	203.44**
G*FS	140	15.65**	7.79**	18.48 <sup>ns</sup>
Bloq (Rep)	15	18.34	16.35	40.23
Error	343	5.31	4.89	15.60
CV (%)	--	2.79	1.60	4.07

\*\*Significativo al 0.01 de probabilidad. ns=no significativo. DE, DMF y AP, corresponden a días a espigamiento, días a madures fisiológica y altura de planta, respectivamente.

Las comparaciones de medias entre genotipos para DE, DMF y AP (Tabla 3) detectaron numerosas agrupaciones. El genotipo 14 que es una línea de trigo harinero (LTH) registró el mayor ciclo a espigamiento con 91 días y el 24 (LTH) el menor con 76 días. En DMF el genotipo 32 (LTH) registró mayor ciclo con 142 días y el 24 (Luminaria F2012) y 17 (LTH) registraron el menor con 131 días a madurez fisiológica. El material que obtuvo mayor AP (105 cm) fue el 14 (LTH) y el 24 (LTH) la menor con 84 cm.

La FS B (1 de diciembre 2016) registró mayor ciclo a espigamiento con 89 días; mientras que las FS A (15 de noviembre 2016) y E (15 de enero 2017) registraron el menor con 76 días. Los ciclos cortos a espigamiento en siembras de noviembre son raros y quizás fueron ocasionados por temperaturas altas en noviembre y diciembre (datos no presentados). En un estudio de fechas de siembra realizado en Guanajuato se observaron diferencias de 0.425 y 1.26 grados centígrados entre las fechas de siembra del 15 de noviembre y 15 de diciembre y entre el 15 de noviembre y el 15 de enero (Solís *et al.*, 2004). Estas diferencias de temperatura ocasionaron reducciones del ciclo a floración de 10 días entre la FS del 15 de noviembre y 15 de diciembre y de hasta 25 días entre la del 15 de noviembre con la del 15 de enero. La FS A (15 de noviembre 2016) fue la que registró el mayor ciclo a madurez con 145 días, mientras que la FS E (15 de enero 2017) registró el menor con 125 días. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Solís *et al.* (2004), quienes señalan que las FS tardías (15 de enero) acortan el ciclo a madurez del trigo hasta en 35 días. La FS C (15 de diciembre 2016) obtuvo la mayor altura de planta con 101.2 cm, mientras que la FS A (15 de noviembre 2016) registró la menor altura con (92.7cm). El efecto de la FS tardía en el Bajío ha sido reportado por Solís *et al.* (2016) quienes señalan que las FS del 15 de enero registran alturas de planta menores hasta de 15 cm.

Tabla 3. Comparación de medias para caracteres fisiológicos y agronómicos en genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra.

Genotipos	DE (días)	DMAD (días)	AP (cm)
1	80.20 l-k	137.47 c-g	90.67 m
2	82.33 d-h	136.47 c-g	98.33 b-j
3	84.60 c-e	138.93 c-e	97.67 c-k
4	80.53 g-k	137.93 c-g	95.00 f-m
5	80.66 g-k	136.53 c-g	91.67 ml
6	81.73 e-k	138.53 c-f	96.33 d-l
7	82.73 d-g	139.27 cd	93.00 j-m
8	80.80 f-k	139.27 cd	96.67 c-l
9	80.06 g-l	137.73 c-g	93.33 i-m
10	78.60 k-m	132.87 hi	98.67 b-i
11	81.86 e-j	135.87 e-h	99.67 b-g
12	82.06 d-i	138.60 c-f	96.00 d-m
13	79.73 g-l	137.73 c-g	97.00 c-l
14	91.20 a	142.80 b	105.33 a
15	80.66 g-k	139.20 cd	99.33 b-h
16	82.46 d-h	137.47 c-g	92.67 k-m
17	77.20 lm	131.53 i	97.00 c-l
18	820.00 d-i	135.00 gh	97.67 c-k
19	78.93 i-m	135.53 f-h	98.33 b-j
20	88.40 ab	137.47 c-g	94.00 h-m
21	870.00 bc	139.33 cd	95.67 f-m
22	840.00 c-f	138.47 c-f	96.33 d-l
23	81.50 e-k	139.40 c	97.67 c-k
24	76.33 m	131.87 i	84.33 n
25	78.73 m-l	137.47 c-g	101.33 a-d



26	82.86 d-g	136.27 d-g	101.33 a-d
27	85.13 cd	136.87 c-g	103.67 ab
28	82.26 d-h	139.27 cd	94.67 g-m
29	82.66 d-g	138.60 c-f	101.00 a-d
30	84.66 c-e	137.47 c-g	102.00 a-c
31	88.60 ab	138.67 c-e	94.33 g-m
32	88.40 ab	146.13 a	100.67 a-d
33	79.26 h-m	136.00 e-g	99.00 b-h
34	820.00 d-i	139.20 cd	94.33 g-m
35	82.53 d-g	139.47 c	95.00 f-m
36	80.53 g-k	135.93 e-h	100.33 a-f
DSH	3.25	3.12	5.58
Fechas de siembra			
15/11/15	76.75 d	145.75 a	92.68 d
30/11/15	89.22 a	143.67 b	99.21 b
15/12/15	87.92 b	140.35 c	101.20 a
30/12/15	81.75 c	133.42 d	95.50 c
15/01/16	75.90 d	125.21 e	96.11 c
DSH	0.86	0.82	1.47

Medias con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa. DE, DMAD y AP, corresponden a días a espigamiento, días a madures fisiológica y altura de planta, respectivamente.

En la Tabla 4 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento, índice de verdor e índice de área foliar, donde se observa que existen diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre FS y G en todos los caracteres y en la interacción genotipos por fechas de siembra ( $G^*FS$ ) se detectaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para RG e IAF y significativas ( $P \leq 0.05$ ) para GS. La mayor variación se observó entre FS seguida de genotipos y la interacción FS \* G. Con respecto al CV, para RG fue de 7.47, en GS de 2.87 y para IAF de 14.89 %, en general se consideran valores aceptables y le dan alta confiabilidad al experimento.

Tabla 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres fisiológicos y agronómicos en genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra.

F.V	G.L	RG	GS	IAF
Repeticiones (Rep)	2	1922563.3	0.0047	13.75
Fecha de siembra (FS)	4	62798889.5**	0.52**	81.56**
Genotipo (G)	35	8625865.3**	0.0047**	01.65**
G*FS	140	1378390.6**	0.00073*	01.48**
BLOQ (Rep)	15	376262.5	0.0011	00.79
Error	343	285840.4	0.00053	00.69
CV (%)	--	7.47	2.87	14.89

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. RG, GS, IAF, corresponden a rendimiento de grano, greenseeker e índice de área foliar respectivamente.

En las comparaciones de medias para RG, GS e IAF (Tabla 5) los genotipos presentaron numerosas agrupaciones; en RG el G 21 (Diamante/Silvinita//Celestina) registró el mayor peso (8239 kg ha<sup>-1</sup>); mientras el G 9 (Eneida F94) registró el menor (4789 kg ha<sup>-1</sup>). El genotipo que registró mayor valor de índice de verdor (GS) fue el 31 (variedad Anatoly C2011) con 0.856 y el menor valor lo obtuvo el 17 (Arseniato/Vanadato) con 0.758. Para IAF el genotipo que presentó el mayor valor fue el 10 (Diamante/Urbina) con 6.25, y el menor fue el 26 (TJB368/BUC//CUPE/4/BOW/PRL//BUC/3/TMT/5/WBLL1\*2/ TUKURU) con 4.56.

En el RG la FS A (15 de noviembre 2016) fue la que registró mayor peso (7940kg ha<sup>-1</sup>), y las FS D (1 de enero 2017) y E (15 de enero 2017) obtuvieron el menor peso con 6322 y 6350 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En FS del 15 de enero se obtienen menores rendimientos de grano por hectárea, debido principalmente a que se obtienen menor tamaño de grano, menor número de espiguillas por espiga, así como menor cantidad de granos de flores distales (Solís *et al.*, 2004). Por otro lado, el mayor índice de verdor (0.86) se obtuvo en la FS E (15 de enero 2017), mientras que, la FS A (15 de noviembre 2016) registró el valor más bajo (0.68). Para IAF las FS A (15 de enero 2015) y B (1

de diciembre 2016) registraron valores altos (6.46 y 6.42) y la FS C (15 de diciembre 2016) registró el valor más bajo (4.5).

Tabla 5. Comparación de medias para caracteres fisiológicos y agronómicos en genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra.

GEN	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	GS	IAF
1	6394.1 j-m	0.81 b-g	5.58 a-c
2	6290.1 k-n	0.79 d-i	6.14 ab
3	6987.7 g-k	0.80 d-i	6.07 ab
4	7647.9 a-h	0.80 c-i	5.94 ab
5	6385.0 j-m	0.76 jk	5.23 a-c
6	7790.3 a-e	0.81 b-g	5.83 ab
7	6577.6 i-m	0.80 c-i	5.80 ab
8	7795.0 a-e	0.81 b-h	6.01 ab
9	4789.9 o	0.79 f-k	6.01 ab
10	7299.7 c-i	0.79 e-j	6.26 a
11	7032.4 f-k	0.80 c-i	5.20 a-c
12	7716.3 a-g	0.81 b-g	5.63 a-c
13	6580.3 i-m	0.79 e-j	5.63 a-c
14	7999.8 a-c	0.83 a-d	5.44 a-c
15	7522.4 a-h	0.79 e-j	5.92 ab
16	5584.1 n	0.79 e-j	5.88 ab
17	6206.4 l-n	0.75 k	5.53 a-c
18	7517.5 a-h	0.80 d-i	5.72 a-c
19	7950.8 a-d	0.77 i-k	5.45 a-c
20	6914.8 h-l	0.84 ab	5.04 bc
21	8239.0 a	0.79 d-i	5.09 a-c
22	7218.9 d-i	0.82 b-g	6.15 ab
23	7582.2 a-h	0.82 b-f	5.64 a-c

24	5609.2 n	0.77 h-k	5.14 a-c
25	8158.7 ab	0.78 g-k	5.91 ab
26	7120.0 e-j	0.80 d-i	4.56 c
27	7231.1 d-i	0.80 b-h	5.68 a-c
28	7780.1 a-f	0.82 a-e	5.59 a-c
29	7341.5 c-h	0.79 d-i	5.83 ab
30	7446.4 b-h	0.81 b-h	5.09 a-c
31	7948.5 a-d	0.85 a	5.01 bc
32	6103.7 mn	0.83 a-c	5.15 a-c
33	7787.4 a-f	0.77 i-k	5.66 a-c
34	7788.9 a-e	0.81 b-g	5.94 ab
35	7562.7 a-h	0.82 b-f	5.56 a-c
36	7601.8 a-h	0.81 b-g	5.58 a-c
DSH	755.92	0.03	1.18

---

Fechas de siembra

---

15/11/15	7940.26 a	0.68 d	6.46 a
30/11/15	7662.38 b	0.81 c	6.52 a
15/12/15	7488.68 b	0.83 b	5.43 b
30/12/15	6322.76 c	0.81 c	4.50 c
15/01/16	6350.09 c	0.86 a	5.14 b
DSH	199.52	0.0086	0.31

---

Medias con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa. RG, GS, IAF, corresponden a rendimiento de grano, greenseeker e índice de área foliar, respectivamente.

### **Análisis de la interacción genotipo-ambiente (IGA)**

El modelo AMMI mostró los tres primeros ejes del análisis de componentes principales (ACP) significativos ( $P \leq 0.01$ ), explicando el 59.5, 24.1 y 13.1% de la SC de la interacción, respectivamente. El cuarto y quinto componente principal y el residuo no fueron significativos. El modelo AMMI retuvo el 99.1 % de la SCT (ambiente + genotipo + interacción) utilizando 147 grados de libertad (4 para ambientes, 35 para genotipos y 108 para CP1, CP2 y CP3). El estudio de la interacción realizado con el AMMI se

completó con el empleo del biplot (Figura 1). Éste explicó un 90 % de SCT (% SC CP1 + % SC ambiente + % SC genotipos).

Tabla 6. Cuadrados medios del análisis AMMI de 36 genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra.

F.V	G.L	SC	%SC
Fechas de siembra (FS)	4	251192293	31.93348
Genotipo (G)	35	342437021	43.53321
G x FS	140	192981715	24.53331
CP1	38	118236404	59.47348
CP2	36	47866515.9	24.07709
CP3	34	26084717.5	13.12074
CP4	32	6617608.23	3.32869
CP5	30	0	0
Residual	360	107538906	0

\*\* Significativo al 0.01 de probabilidad. F.V, G.L, CM, CP1, CP2 y CP3 corresponden a factor de variación, grados de libertad, cuadrados medios, componente principal 1, 2 y 3 respectivamente.

En el eje de las abscisas (X) de la Figura 1, se lee el rendimiento de grano de los genotipos y ambientes. La línea punteada perpendicular a este eje indica el rendimiento medio. Así, a la izquierda del eje de las X's se grafican las entradas con menor rendimiento y a la derecha, se localizan los genotipos y ambientes de mayor rendimiento. El eje de las ordenadas (Y) en cambio, mide la estabilidad de los genotipos y ambientes: aquellos con valores cercanos a cero son estables mientras los que presentan valores altos del primer componente principal son inestables. De acuerdo a esta información la línea 21 (DIAMANTE/SILVINITA/CELESTINA) fue el genotipo con mayor rendimiento seguido de la 25 (DIAMANTE/MONARCA) y la 14 (DIAMANTE/YESO); en cambio, la variedad Eneida F94 (9) expresó los rendimientos más bajos. El FS A obtuvo el mayor rendimiento y la FS D registró el menor

rendimiento. Tres ambientes obtuvieron rendimientos iguales o superiores a la media y el resto registró un rendimiento inferior.

Los genotipos que tienen valores del CP1  $>0$ , responden positivamente (se adaptan bien) a ambientes que tienen valores del CP1  $>0$  (esto es, su interacción es positiva), pero responden negativamente a ambientes que tienen valores del CP1  $<0$ . Lo contrario se aplica para los genotipos que tienen valores del CP1  $<0$  (Samonte *et al.*, 2005). LA FS C registró el menor vector y fue el ambiente que discriminó en menor magnitud los genotipos, por lo que en este ambiente la mayoría de los genotipos tuvieron una respuesta similar. En cambio, el FS B obtuvo el mayor vector y fue el ambiente que mejor diferencia o discrimina a los genotipos.

Cortázar S94 (1) y el genotipo 11 (TJB368/BUC//CUPE/3/ENE/ZITA) fueron los que obtuvieron los valores más cercanos a cero del componente principal CP1; por lo tanto, este modelo los clasificó como los más estables. Yan y Kang (2003) señalan que la estabilidad es importante, pero no es más que un modificador del rendimiento medio. Un corolario del concepto del modelo AMMI, es que una medida de la estabilidad que está determinada por la IGA, es útil sólo cuando se considera conjuntamente con el rendimiento de los genotipos.

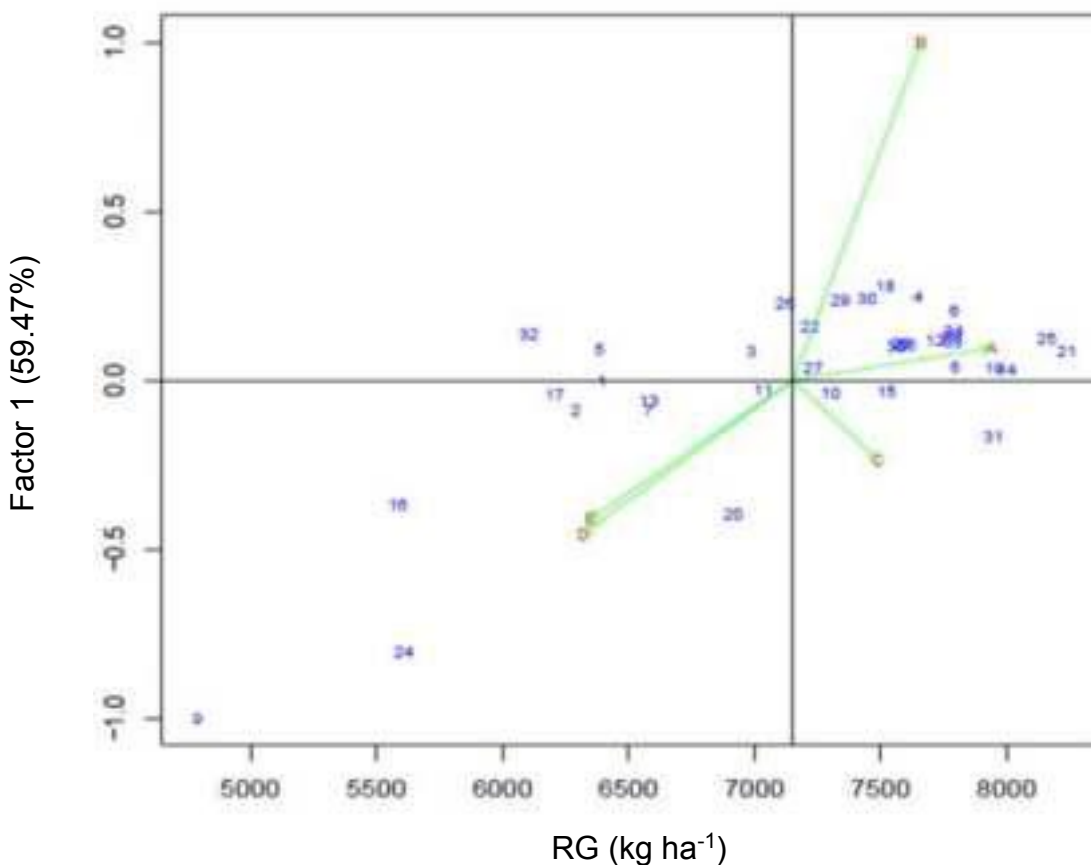


Figura 1. Interacción genotipo por fecha de siembra (CP1) y valor medio del rendimiento de grano de 36 genotipos de trigo en cinco fechas de siembra.

### Análisis de componentes principales

Los valores propios de la matriz de correlaciones mostraron que los primeros dos componentes principales representan el 66.4 % de la variación total (PC1 46.5 % y PC2 19.9 %). Este valor se considera un porcentaje adecuado para representar confiablemente las relaciones entre los casos y las variables analizadas (Arroyo *et al.*, 2005). Los resultados de los vectores propios muestran que el primer componente principal (PC1) presenta asociación positiva con las variables originales días a espigamiento (DE), índice de verdor (GS) y días a madurez (DM). el segundo componente (CP2) mostró asociación negativa con las variables AP y RG (Tabla 7).

Tabla 7. Correlaciones de los autovectores con las variables originales de genotipos de trigo evaluados en cinco fechas de siembra en el ciclo OI 2015-16.

Carácter	CP1	CP2
DE	0.548984	0.15840044
IAF	-0.2677756	-0.44604837
DM	0.4776442	0.06664301
AP	0.2837352	-0.6183034
RG	0.2549641	-0.59789515
GS	0.5032459	0.17813242

DE, IAF, DM, AP, RG y GS corresponden a días a espigamiento, índice de área foliar, días a madures fisiológica, altura de planta, rendimiento de grano y greenseeker, respectivamente.

La elipse de las líneas (en verde) muestra que son muy similares en el plano del CP1; es decir, tienen valores similares de DE, DMF y GS. Así mismo, su longitud en el plano del CP1 muestra que dentro de este grupo existen genotipos contrastantes en AP y RG (Figura 2). La elipse de los testigos, en cambio, presentó mayor variación en el plano del CP2, esto es, el grupo tuvo variación alta entre genotipos en las variables AP y RG pero baja en DE, DMF y GS. En cambio, los trigos cristalinos son muy similares entre sí presentando valores de ciclo, AP, GS y RG parecidos. El ángulo de los vectores de las variables indicó que existe asociación alta entre DE, DMF y GS, y entre AP y RG. El ángulo cercano a 90° entre AP y RG con DE, DMF y GS indica que no existe asociación entre estos caracteres. Así mismo, se observó este comportamiento con AP y RG con IAF. El ángulo aproximado de 180° entre los vectores de DF y GS con IAF indica una asociación negativa entre estos caracteres.



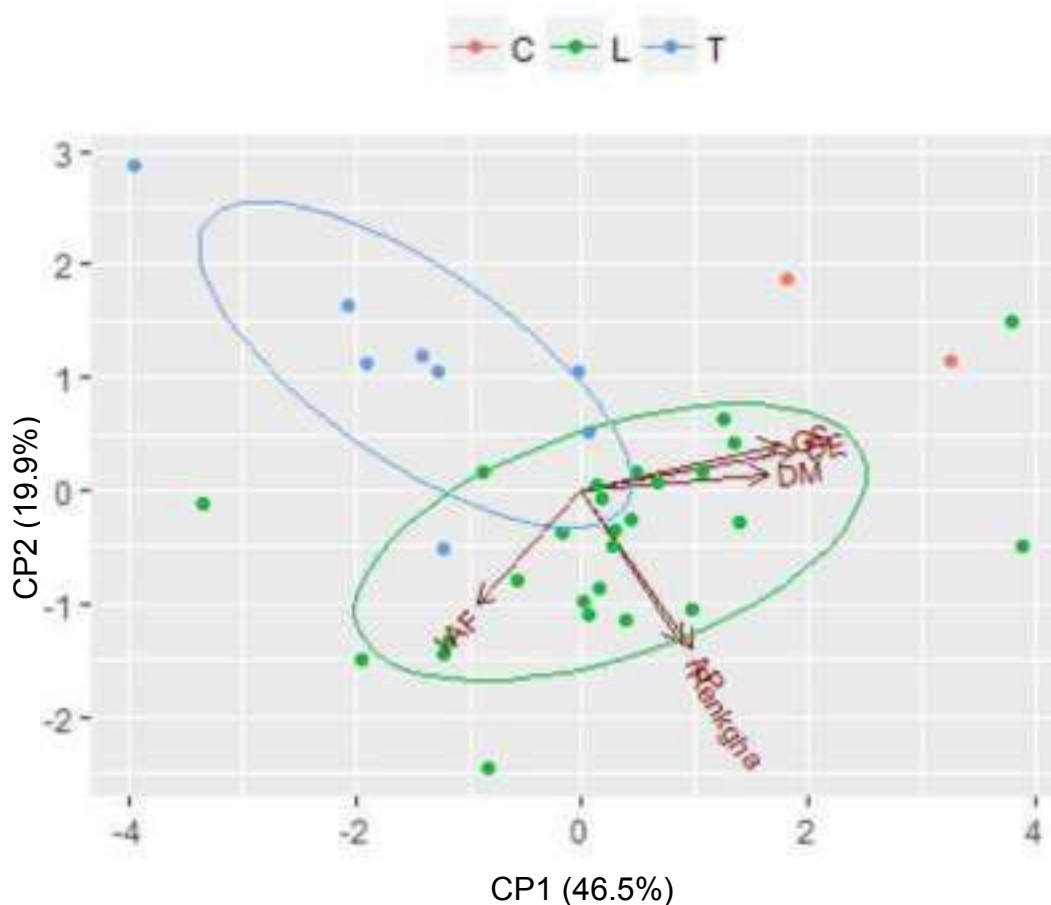


Figura 2. Biplot de las características agronómicas evaluadas en 36 genotipos de trigo evaluados en cinco fechas de siembra en el ciclo otoño invierno, 2015-2016.

Con respecto a las correlaciones entre los caracteres registrados (Tabla 8), se observa que la AP presentó una correlación significativa y positiva con DE, DMF, RG y GS. Los DE se correlacionó positivamente con DMF, RG y GS. Los DMF presentó una correlación alta y positiva con RG e índice de área foliar y asociación negativa con GS. El RG correlacionó negativamente con GS y positivamente con índice de área foliar. El GS se correlacionó negativamente con área foliar (L). Estos resultados difieren con los observados por Wu *et al.* (2010), quienes obtuvieron correlación positiva entre estos dos caracteres.

Tabla 8. Correlación de caracteres agronómicos y fisiológicos en 36 genotipos de trigo provenientes de cinco fechas de siembra.

	AP	DE	DMAD	RG	GS	L
AP	1.00	0.4287**	0.1023**	0.2602**	0.3082**	0.0525ns
DE		1.00	0.4739**	0.2064**	0.3511**	0.0238ns
DMAD			1.00	0.5021**	-0.4653**	0.4008**
RG				1.00	-0.2489**	0.3485**
GS1					1.00	-0.3311**
L						1.00

\*, \*\*, Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. ns=no significativo. AP, DE, DMAD, RG, GS1 y L, corresponden a altura de planta, días a espigamiento, días a madures fisiológica, rendimiento de grano, Greenseeker y área foliar respectivamente.

## 2.4 CONCLUSIONES

Se encontró efecto estadístico significativo entre genotipos y fechas de siembra para todos los caracteres agronómicos y fisiológicos registrados.

La fecha de siembra A fue la que registro mayor rendimiento de grano, la línea 21 fue el genotipo con mayor rendimiento, mientras la variedad Cortázar S94 y el genotipo 11 fueron los que se clasificaron como los más estables en los diferentes ambientes de evaluación. El rendimiento de grano presentó una correlación alta y negativa para el índice de verdor y una correlación alta y positiva con índice de área foliar, el índice de verdor presentó una correlación alta y negativa con índice de área foliar.

## 2.5 LITERATURA CITADA

- Arroyo, A., M. Balzarini, C. Bruno, y J. Di Rienzo. 2005. Árboles de expansión mínimos: ayudas para una mejor interpretación de ordenaciones en bancos de germoplasma. *Interciencia*. 30: 550-554.
- Austin, R. B. (1989). "Genetic Variation in Photosynthesis", *J. Agroc. Sci.* 112: 287-294.

- Blum, A. (1988). *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Blum, A. (1990). "Variation among Wheat Cultivars in the Response of Leaf Gas Exchange to Light", *J. Agric. Sci*, 115: 305-311.
- Coombs J., Hall D.O., 1982. Whole Plant Photosynthesis and Productivity. In: *Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. Pergamon Press, Oxford. 171 pp.
- Daughtry, C. S. T., Gallo, K. P., Goward, S. N., Prince, S. D., Kustas, W. (1992). Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sens. Environ.*, 39, 141– 152.
- Day, W. y Z. S. Chalabi (1988). "Use of Models to Investigate the Link Between the Modification of Photosynthesis Characteristics and Improved Crop Yield", *Plant Physiol. Biochem.* 26: 511-517.
- Echeverría, H.E., R.A. Strada & G.A. Studdert. 2000. Métodos rápidos de análisis de plantas para evaluar la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 18: 105-114.
- Espitia R. E., R. J. Peña B., H. E. Villaseñor M., J. Huerta E. y A. Limón O. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 249-256.
- Falótico, J., G.A. Studdert and H.E. Echeverría. 1999. nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continúa. *Ciencia del Suelo* 17: 9-20.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), *Perspectivas de cosechas y situación alimentaria 2015*, [Pagina web] CONSULTADO 12 DE OCTUBRE 2017 <http://www.fao.org/3/a-i4410s.pdf>
- Félix V. P., J. E. Ortiz E., G. Fuentes D., J. G. Quintana Q. y J. Grageda G. (2009) *Horas Frío En Relación Al Rendimiento De Trigo*. Folleto técnico No. 63 INIFAP, Campo Experimental Valle del Yaqui. Ciudad Obregón, Sonora, México.

- Finnan, J. M., J. I. Burke y M. B. Jones. 1997. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L.). Irish Journal of Agricultural and Food Research 36, pp 85 - 89.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), programa agroalimentario trigo 2015 [Pagina web] consultado 08 de marzo de 2017 [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama\\_Agroalimentario\\_Trigo\\_2015.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama_Agroalimentario_Trigo_2015.pdf)
- Fischer, R. A. 1984. Growth and yield wheat. In Proceedings Symposium on potential productivity of field crops under different environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philipinas, pp. 129-154.
- Fischer, R. A; D. Rees; K. D. Sayre; Z. M. Lu; A. G. Condon y A. Larqué-Saavedra (1998). "Wheat Yield Progress Associated with Higher Stomatal conductance and Photosynthesis Rate, and Cooler Canopies", Crop. Sci. 38: 1467- 1475
- Fraschina, J. Bainotti, C. Salines, J. Formica, B. Daño por frio en trigo 2002, [Pagina web] consultado el 24/05/17 <http://www.redagraria.com/divulgaci%F3n%20t%E9cnica/articulos%20de%20dt/da%F1o%20por%20frio%20en%20trigo.html>
- Gaskel, M. L. y R. B. Percy (1981). "Growth Analysis of Maize Hybrids Differing in Photosynthetic Capability", Agron. J. 73: 817-821.
- Goetz S., Prince, S. 1996. Remote sensing of net primary production in boreal forest stands. Agric. For. Ecol., 78, 149–179.
- Google Maps [página web] consultado: 31 octubre de 2017 <https://www.google.com.mx/maps/place/INIFAP+Campo+Experimental+Bajio/@20.5788932,100.8205314,17.93z/am=t/data=!4m1!1m12!4m11!1m3!2m2!1d100.8193188!2d20.5791665!1m6!1m2!1s0x842cbab5665b4457:0x9c3d3bcef8f507e0!2sINIFAP+Campo+Experimental+Bajio,+Carretera+Celaya+San+Miguel+de+Allende+Kil%C3%B3metro+6.5,+38010+Celaya,+Gto.!2m2!1d-100.8193081!2d20.5791364!3m4!1s0x842cbab5665b4457:0x9c3d3bcef8f507e0!8m2!3d20.5791364!4d-100.8193081?hl=es-419>

- Grindlay, D. J. C. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. *Journal of Agricultural Science* 128, pp 377 - 396. Cambridge.
- Gutiérrez, R. M; M. P. Reynolds y A. Larqué- Saavedra (2000). "Photosynthesis of Wheat in a Warm, Irrigated Environment. II. Traits Associated with Genetic Gains in Yield", *Field Crop Res.* 66: 51-62.
- Haboudane, D.; Miller, J.; Pattey, E.; Zarco-Tejada, P., Strachan, I. 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture, *Remote Sensing of Environment*, 90: 337-352.
- Hortelano S. R., H. E. Villaseñor M., E. Martínez C., M. F. Rodríguez G., E. Espitia R., y L. A. Mariscal A. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 713-725.
- Liu J., Chen J., Cihlar J., Park, W. 1997. A process-based boreal ecosystem productivity simulator using remote sensing inputs. *Remote Sens. Environ.*, 62: 158– 175.
- Mohan D., A. Singh M., A. Ahlawat, and R. Gupta K. 2014. Analogy between agronomic and grain quality attributes of wheat for response to crop seasons, locations, site-year and genotype environment interactions. *J. Wheat Res.* 6: 126- 131.
- Moran M., Inoue Y., Barnes E. 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sens. Environ.*, 61: 319– 346.
- Peter, B; A. Spanakakis y W. E. Weber (1991). "Efficiency of Early Selection for Yield Performance in Wheat", *Plant Breeding*, 107: 97-104.
- Pimentel, F. 1985. *Curso de estadística experimental*. Livraria Nobel S.A., São Paulo, Brasil.
- Reynolds, M. P; B. M. I. Delgado; M. Gutiérrez- Rodríguez y A. Larqué-Saavedra (2000). "Photosynthesis of Wheat in a Warm, Irrigated Environment. I: Genetic

- Diversity for Photosynthesis and Its Relation to Productivity”, *Field Crop Res.* 66: 37-50.
- Reynolds, M.P.; Rajaram, S.; Sayre, K.O. 1999. Physiological and genetic changes 01 irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand *Crop Science* 39, 1611-1621.
- Rozbicki J., A. Ceglinska, D. Gozdowski, M. Jakubczak, G. Cacak-Pietrzak, W. Madry, J. Golba, M. Piechocinski, G. Sobczynski, M. Studnicki, and T. Drzazga. 2015. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. *J. Cereal Sci.* 61: 126-132.
- SAGARPA (secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación), Situación actual y perspectiva de la producción de Trigo en México 1990 – 2000 [Pagina web] consultado: 08 de marzo de 2017 <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/97942/Trigo90-00.pdf>
- SAGARPA (secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación), Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional 2015, [Pagina web] consultado 12 de octubre 2017 [http://www.sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/2015/Productividad\\_y\\_competitividad\\_agroalimentaria/Programa\\_regional\\_de\\_desarrollo\\_previsto\\_en\\_el\\_PND/36%20incentivos/211PP064%20NUEVA%20AMERICA%20S.P.R.%20DE%20R.L/5.%20PROYECTO/Manejo%20de%20residuos%20Detallado.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/2015/Productividad_y_competitividad_agroalimentaria/Programa_regional_de_desarrollo_previsto_en_el_PND/36%20incentivos/211PP064%20NUEVA%20AMERICA%20S.P.R.%20DE%20R.L/5.%20PROYECTO/Manejo%20de%20residuos%20Detallado.pdf)
- Samonte, S. O. P. B., L. T. Wilson, A. M. McClung, J. C. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Sci.* 45: 2414-2424.
- Sanchez-Garcia M., F. Alvaro, A. Peremarti, J. A. Martin-Sanchez, and C. Royo. 2015. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. *Europ. J. Agron.* 63: 79-88.
- Schepers, J., T. Blackmer y D. Francis. 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. In B. Bock y K. Kelly (ed). *Predicting*

- fertilizer needs for corn in humid regions. NFERC, Bull. Y-226. Muscle Shoals, AL, EE.UU. pp. 105 - 114.
- Singh G; G. S. Bhullar y K. S. Gill (1986). "Genetic Control of Grain Yield and its Related Traits in Bread Wheat", *Theor. Appl. Genet.* 72: 536-540.
- Sinha, S. K; P. K. Aggarwat; G. S. Chatuverdi; K. R. Koundal y R. Khanna-Chopra (1981). "A Comparison of Physiological and Yield Characters in Old and New Wheat Varieties", *J. Agric. Sci.* 97: 233-236.
- Slafer, G. A.; E. H. Satorre y F. H. Andrade (1994). "Increase in Grain Yield in Bread Wheat from Breeding and Associated Physiological Changes", en Slafer, G. A. (ed.). "Genetic improvement of field crops", Marcel Dekker, Inc., Nueva York
- Slafer, G. A, D. F. Calderini and D. J. Miralles. 1996. Yield components and compensation in wheat: Opportunities for further increasing yield potential. *In: Reynolds, M.P., S. Rajaram, and A. McNab (eds). Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers. México, D. F. CIMMYT. pp: 101-133.*
- Solis M. E. Hernández M. M., Borodanenko A., Aguilar A. J. L. y Grajeda C. O. A. 2004. Duracion de la etapa reproductiva y el rendimiento del trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(4): 323-332.
- Solís, M. E., J. Huerta E., P. Pérez H., H. E. Villaseñor M., A. Ramírez R. E.M.L. de la Cruz G., L. Ledesma R. y M. del P. Suaste F. 2016. Alondra F2014: Nueva variedad de trigo harinero de gluten fuerte para El Bajío. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5):1225- 1229.
- Tucker C., Holben B., Elgin J, McMurtrey, J. 1980. Relationship of spectral data to grain yield variations. *hotogramm. Eng. Remote. Sens.*, 46: 657– 666.
- Vazquez D., A. G. Berger, M. Cuniberti, C. Bainotti, M. Zavariz, P. L. Scheeren, C. Jobet, J. Zuñiga, G. Cabrera, R. Verges, and R. J. Peña. 2012. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. *J. Cereal Sci.* 56: 196-203
- Villaseñor M., H. E., y E. Espitia. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal, problemática y condiciones de producción. *In: Villaseñor M.*

- H. E., y E. Espitia (eds). El trigo de temporal en México. Chapingo, México, SAGAR-INIFAP. (Libro Técnico No. 1). p: 85-98.
- Yan, W., and M. Kang. 2003. GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL. 271 p.
- Chaoyang Wu, CH., N. Zheng, J. Wang, G. Shuai, and H. Wenjiang. 2010. Predicting leaf area index in wheat using angular vegetation indices derived from in situ canopy measurements. *Can. J. Remote Sensing*, 36(4):301–312.



### **CAPITULO III. FECHA DE SIEMBRA Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE SEMILLA EN GENOTIPOS DE TRIGO**

#### **PLANTING DATE AND ITS EFFECT ON SEED QUALITY IN WHEAT GENOTYPES**

##### **RESUMEN**

La calidad de semilla puede ser vista como patrón de excelencia que determina el desempeño en la siembra o en el almacén; la calidad se utiliza para reflejar el valor de la semilla con propósitos específicos, como la distribución y comercialización. El objetivo de la presente investigación consistió en evaluar la calidad física de la semilla y determinar el vigor inicial de plántula en genotipos trigo (*Triticum aestivum*) provenientes de distintas fechas de siembra. Para lograrlo se establecieron 36 genotipos de trigo en tres fechas de siembra: 15 de noviembre y 15 de diciembre de 2015 y 15 de enero de 2016 en el INIFAP-CEBAJ y la cosecha se realizó el 10, 25 y 30 de mayo de 2016, respectivamente. Las semillas de los genotipos se sometieron a pruebas analíticas de calidad física como peso volumétrico y biomasa, organizados un diseño experimental completamente aleatorizado. Por otro lado, se realizó un ensayo en camas de arena bajo condiciones de vivero para evaluar vigor inicial de plántula a través de velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, biomasa fresca y seca de vástago, altura de plántula, índice de vigor I e índice de vigor II. En este experimento se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Los resultados demostraron diferencias estadísticas significativas para genotipos y fechas de siembra en los caracteres registrados. La interacción genotipos\*fechas de siembra modificó estadísticamente los caracteres físicos y, en el vigor de plántula, la velocidad de emergencia, altura de plántula e índice de vigor I. Los genotipos 5, 27, 29, 33 y 36 manifestaron la mejor respuesta en el vigor inicial de plántula; por otro lado, la fecha de siembra 15 de noviembre fue consistente con los valores más altos en la mayoría

de las características registradas; por lo que se le puede considerar la fecha de siembra apropiada para producir semilla de calidad para siembra de trigo.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum*, calidad física, vigor de plántula y velocidad de emergencia

## SUMMARY

Seed quality can be seen as a pattern of excellence that determines the performance at planting or in the warehouse; Quality is used to reflect the value of the seed for specific purposes, such as distribution and marketing. The objective of this research was to evaluate the physical quality of the seed and determine the initial vigor of the seedling in wheat genotypes (*Triticum aestivum*) from different sowing dates. To achieve this, 36 wheat genotypes were established on three sowing dates: November 15 and December 15, 2015 and January 15, 2016 at INIFAP-CEBAJ and the harvest was made on May 10, 25 and 30, 2016, respectively. The seeds of the genotypes were subjected to analytical physical quality tests such as volumetric weight and biomass, organizing a completely randomized experimental design. On the other hand, a test was carried out in sand beds under nursery conditions to evaluate the initial vigor of the seedling through emergence speed, emergence percentage, fresh and dry stem biomass, seedling height, vigor index I and index of vigor II. In this experiment an experimental design of randomized complete blocks was used. The results showed significant statistical differences for genotypes and sowing dates in the registered characters. The interaction genotypes \* planting dates statistically modified the physical characters and, in the seedling vigor, the emergence speed, seedling height and vigor index I. The genotypes 5, 27, 29, 33 and 36 showed the best response in the initial vigor of the seedling; On the other hand, the sowing date of November 15 was consistent with the highest values in most of the recorded characteristics; so it can be considered the appropriate sowing date to produce quality seed for wheat planting.

**Key words:** *Triticum aestivum*, physical quality, seedling vigor and emergence speed.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El trigo es el cereal más utilizado en la alimentación humana, debido al alto valor energético y mayor contenido de proteínas en comparación con maíz y arroz. Este cereal se cosecha en prácticamente todo el mundo, aunque el Hemisferio Norte presenta condiciones propicias para su cultivo. La superficie que se siembra de trigo es la más grande y su comercio mundial mayor que los demás cultivos agrícolas (FIRA, 2015). La superficie sembrada de trigo en México en el ciclo otoño-invierno 2016-2017 fue de 599 mil hectáreas, con una producción de 3 millones 345 mil toneladas. Cuatro entidades destacan en producción de trigo: Sonora, Baja California, Guanajuato y Sinaloa que suman en conjunto 83 % de producción nacional. En estas condiciones, de la producción de grano obtenida en 2017, 62 % fue tipo cristalino y el porcentaje restante corresponde al grupo panificable (SIAP, 2017).

Para evaluar el comportamiento agronómico de los cultivares generados en los programas de mejoramiento genético, es necesario medir la estabilidad relativa de los genotipos sometidos a la totalidad de ambientes predominantes en una región potencial de adaptación (Alejos *et al.*, 2006). La ocurrencia frecuente de la interacción genotipo-ambiente (IGA) en este tipo de ensayos, exige la realización de estudios adicionales donde se precise la selección de individuos con adaptabilidad general y específica. En este sentido, Gordón-Mendoza *et al.* (2006) mencionan que la IGA ocurre cuando los genotipos responden de manera diferente a las variantes del ambiente.

Por otro lado, la fecha de siembra es una de las decisiones más importantes que el productor de trigo debe tomar en cada inicio del ciclo agrícola, por lo que deberá considerar diversos factores que afectan directa e indirectamente el potencial de rendimiento de la variedad que vaya a utilizar. En este tópico, Solís *et al.* (2004) afirman que en las siembras en fechas tempranas el ciclo es más largo porque el cultivo se desarrolla con temperaturas bajas, y con esa siembra (16 de noviembre) la etapa reproductiva tardía (espiguilla terminal a antesis) se alcanzó a los 49 d, en siembra intermedia (15 de diciembre) la duración fue 40 d y 35 d en fecha tardía (15 de enero)

en genotipos de trigo. A demás las fechas de siembra tempranas han favorecido un incremento del número de tallos, la altura de la planta, la longitud de las espigas y el peso de mil granos, lo que favorece el incremento del rendimiento (Beloch *et al.*, 2010). La semilla es de buena calidad cuando presenta pureza varietal y física, alto desempeño fisiológico y libre de patógenos, atributos que determinan la germinación, vigor y longevidad (Bishaw *et al.*, 2007; Goggi *et al.*, 2008; Courbineau, 2012; ISTA, 2015). La calidad fisiológica se refiere a la habilidad para germinar, así como al vigor y algunos aspectos genéticos como la heterosis (Elevitch, 2004; Bewley *et al.*, 2006). En este sentido, el vigor es la suma de las propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla durante la germinación y emergencia de la plántula. De tal modo, que las semillas de buen comportamiento se denominan de alto vigor y las de pobre comportamiento, de bajo vigor (ISTA, 2005). Entre los factores que determinan variaciones en el vigor está la constitución genética, grado de madurez, tamaño y biomasa de la semilla; integridad mecánica; deterioro y envejecimiento; acción de patógenos, medio ambiente y nutrición de la planta madre (Copeland y McDonald, 2001). Las pruebas de vigor ofrecen información complementaria al ensayo de germinación y ambas permiten estimar el potencial de emergencia de plántulas en campo, bajo condiciones ambientales contrastantes (Costa y Carvalho, 2006). El uso de semillas con alta calidad favorece mayor productividad (Munamava *et al.*, 2004), pues el establecimiento deficiente en campo se traduce en un rendimiento bajo en la mayoría de especies agrícolas (Marcos-Filho, 2005).

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar la calidad física de la semilla y determinar el vigor inicial de plántula en genotipos de trigo provenientes de distintas fechas de siembra. La hipótesis del estudio plantea que la existencia de diferencias de una disminución en la calidad de semilla y pérdida de vigor de la plántula de genotipos de trigo, resultan como consecuencias del retraso que sufre las fechas de siembra.

### 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos fases; la primera en campo y la segunda en laboratorio y vivero. Para ello se utilizaron 36 genotipos de trigo (Tabla 1), divididas en testigos (1, 2, 5, 7, 9, 16, 20 y 31) y, el resto, líneas avanzadas del programa de mejoramiento de trigo del Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CEBAJ-INIFAP), en Celaya, Guanajuato, México. Estos materiales fueron establecidos en tres fechas de siembra en el CEBAJ-INIFAP: 15 de noviembre, 15 de diciembre de 2015 y 15 de enero de 2016. La cosecha ocurrió en abril y mayo de 2016 y; las muestras de semillas separadas en bolsas de papel y almacenadas en una bodega ventilada hasta enero del 2017, con lo que inició la evaluación de calidad de la semilla.

El CEBAJ-INIFAP se localiza entre 20°34' y 100°49' a una elevación de 1765 m. El clima que predomina es semi cálido, con una precipitación pluvial anual entre 400 y 700 mm. El régimen térmico oscila de 18 a 20°C. En la clasificación norteamericana, los suelos se consideran vertisol típico (Mora *et al.*, 2001).

Tabla 1. Líneas y variedades de trigo obtenidas en INIFAP- CEBAJ.

No. de genotipo	Genealogía	Tipo de material	Tipo de grano	DMF (días)	AP (cm)
1*	Cortázar S94	Variedad	Harinero	137	90
2*	URBINA S2007	Variedad	Harinero	136	98
3	IBIS//LOTH/GRACIA	Línea	Harinero	138	97
4	COLIBRI//KRO	Línea	Harinero	137	95
5*	MAYA S2007	Variedad	Harinero	136	91
6	COLIBRI/TRAGOPAN	Línea	Harinero	138	96
7*	BARCENAS S2002	Variedad	Harinero	139	93
8	COLIBRI//FINSI	Línea	Harinero	139	96
9*	ENEIDA F94	Variedad	Harinero	137	93
10	DIAMANTE/URBINA	Línea	Harinero	132	98
11	TJB368/BUC//CUPE/3/ENE/ZITA	Línea	Harinero	135	99
12	COLIBRI//GAL	Línea	Harinero	138	96
13	TALCO/TURQUESA	Línea	Harinero	137	97
14	DIAMANTE/YESO	Línea	Harinero	142	105
15	FAISAN//LOTH/GRACIA	Línea	Harinero	139	99

16*	SALAMANCA S75	Variedad	Harinero	137	92
17	ARSENIATO/VANADATO	Línea	Harinero	131	97
18	DIAMANTE/ARAGONITA	Línea	Harinero	135	97
19	PLATA/ICA 30.05//CELESTINA	Línea	Harinero	135	98
20*	GEMA C2004	Variedad	Cristalino	137	94
21	DIAMANTE/SILVINITA//CELESTINA	Línea	Harinero	139	95
22	HIERRO/2*COLIBRI	Línea	Harinero	138	96
23	HIERRO/ESFALERITA	Línea	Harinero	139	97
24	CONDOR/LIZ	Línea	Harinero	131	84
25	DIAMANTE/MONARCA	Línea	Harinero	137	101
26	TJB368/BUC//CUPE/4/BOW/PRL //BUC/3/TMT/5/WBLL1*2/TUKUR U	Línea	Harinero	136	101
27	DIAMANTE/ARAGONITA	Línea	Harinero	136	103
28	ROMOGA//BUC-S/GJO-S/4/AZTECAF 67/3/MRNG/BUG-S//BLO-S/PSN-S	Línea	Harinero	139	94
29	COLIBRI/4/BJY/COC//PRL/BOW/ 3/FRTL	Línea	Harinero	138	101
30	TJB368/BUC//CUPE/4/BOW/PRL //BUC/3/TMT/5/WBLL1*2/TUKUR U	Línea	Harinero	137	102
31*	ANATOLY C2011	Variedad	Cristalino	138	94
32	APROT21/COLIBRI	Línea	Harinero	146	100
33	PLATA/ICA 30.05//CELESTINA	Línea	Harinero	136	99
34	COLIBRI/TRAGOPAN	Línea	Harinero	139	94
35	DIAMANTE/ARAGONITA	Línea	Harinero	139	95
36	COLIBRI/3/WBLL1/FRET2//PAS TOR	Línea	Harinero	135	100

\*Genotipos testigos. DMF y AP; días a madurez fisiológica y altura de planta, respectivamente.

Con una muestra de semillas de cada genotipo se hicieron pruebas analíticas para determinar calidad física (ISTA, 2015) en el Laboratorio de Análisis de Calidad de Semilla del Tecnológico Nacional de México-Roque; donde se registró biomasa de semilla (BS) y peso volumétrico (PV). El tamaño de muestra para BS fue de 100 semillas y el peso volumétrico se determinó con un recipiente llenado con la semilla hasta derramar y rasado en zig zag, para eliminar el excedente; Enseguida se pesó el contenido en una balanza y registró la lectura en kg hL<sup>-1</sup>. Se usó un diseño experimental completamente aleatorizado con 36 genotipos y tres repeticiones.

Adicionalmente, en los genotipos se determinó el vigor inicial de plántula en camas de arena bajo condiciones de vivero, durante enero-febrero de 2017 bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 50 semillas por genotipo, para evaluar velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE), peso fresco de vástago (PFV), peso seco de vástago (PSV), altura de plántula (ALP), índice de vigor I (IV-I) e índice de vigor II (IV-II).

La velocidad de emergencia (VE) se determinó de acuerdo con Copeland y McDonald (1995).

$$VE = \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del primer conteo}} + \dots + \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del conteo final}}$$

Los días de conteo de emergencia fueron hechos a los 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 días después de la siembra (DDS). El porcentaje de emergencia (PE) se determinó por el número de plántulas emergidas al décimo día DDS y su cálculo con la siguiente expresión:

$$PE = (100) \left( \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas emergidas al día 10 DDS}}{N^{\circ} \text{ total de semillas sembradas}} \right)$$

La altura de plántula (ALP) se registró 15 DDS en una muestra de 10 plantas con competencia completa, desde el nivel del sustrato hasta el ápice de la hoja superior. Posteriormente, se cortaron y pesaron en una balanza analítica para determinar el peso fresco (PFV). Las muestras se introdujeron en estufa a 60° C por 48 h, al término del cual se obtuvo el peso seco vástago (PSV). El índice de vigor I (IV-I) resultó del producto calculado entre porcentaje de emergencia y longitud de la plántula y el índice de vigor II (IV-II) fue el producto del porcentaje de emergencia y peso fresco de vástago (Kharb *et al.*, 1994).

Los caracteres evaluados fueron sometidos a un análisis de varianza combinado que consideró fechas de siembra, mediante el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS ver. 9.3. La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de evidencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ), revelan la dependencia que tiene la biomasa (BS) y peso volumétrico (PV) de la semilla de los genotipos de trigo usados (G), de la etapa en que se siembra (FS) y la acción conjunta de estos factores (G\*FS) en el ensayo (Cuadro 2). El coeficiente de variación (C.V) para BS fue de 3.07 y para PV de 1.33 %, lo cual le brinda alta confiabilidad al experimento (Gordón y Camargo, 2015).

Por otro lado, al analizar los valores de los cuadrados medios (Tabla 2) se observa que la fuente de variación de mayor importancia para BS fue el genotipo; es decir, que esta característica fue definida principalmente por la constitución genética de las variedades evaluadas. Mientras que, la FS tuvo mayor influencia en el PV de todos los materiales.

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para calidad física de semilla de trigo.

F.V	G.L	BS	PV
Fecha de siembra (FS)	2	0.62**	643.37**
Genotipo (G)	35	1.02**	21.23**
G*FS	70	0.16**	4.21**
Error	216	0.02	1.07
C.V (%)	---	3.07	1.33

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad. F.V, G.L, PS y PV, corresponden a la fuente de variación, grados de libertad, biomasa de semilla y peso volumétrico, respectivamente.

Los genotipos 21 (DIAMANTE/SILVINITA//CELESTINA), 5 (Maya S2007), 20 (Gema C2004), 31 (Anatoly C2011) y 25 (Diamante/monarca-línea) expresaron la mejor respuesta en biomasa de semilla (BS), cuyo valor fue superior a 5.95 g en 100 semillas; mientras que, los genotipos 12 (Colibri/Gal ), 35 (DIAMANTE/ARAGONITA), 28 (ROMOGA//BUC-S/ GJO-S/4/AZTECA F67/3/MRNG/BUG-S//BLO-S/PSN-S), 32 (APROT21/COLIBRI) y 4 (Colibrí/Kro) tuvieron por debajo de 5.20 g en 100 semillas

(Tabla 3). La comparación de medias de PV en los genotipos de trigo, presentó una variación de 74.11 a 80.56 kg hL<sup>-1</sup>; así el genotipo 25 (Diamante/monarca, tipo harinero) registró el mayor valor y el genotipo 2 (Urbina S2007, endospermo suave) el valor más bajo. Estos valores de peso volumétrico son similares a los encontrados por Castañeda *et al.* (2009). Además, es importante mencionar que los 36 materiales presentaron valores que se localizan dentro de la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036-1996, 74 kg hL<sup>-1</sup>, un criterio de calidad importante para la industria del trigo.

Por otro lado, en BS la segunda FS (15 de diciembre 2015) fue consistente con el mayor valor (5.68 g), seguida por la primera FS (5.62 g) y finalmente, la última FS (15 de enero 2016) tuvo la peor respuesta con sólo 5.54 g en 100 semillas. Estos resultados coinciden parcialmente con los obtenidos por Beloch *et al.* (2010) al afirmar que fechas de siembras tempranas favorecen el peso de la semilla. Por otro lado, Fernández *et al.* (2015) afirman que el ambiente de producción tiene efecto en la calidad física de la semilla; ya que ambientes favorables favorecen el peso de la semilla. El PV disminuyó significativamente en los genotipos de trigo conforme se retrasó la fecha de siembra (Cuadro 3). La primera fecha de siembra (15 de noviembre) registró 80.14 kg hL<sup>-1</sup>, la tercera fecha de siembra (15 de enero) 77.59 kg hL<sup>-1</sup> y la segunda (15 de diciembre) 75.26 kg hL<sup>-1</sup>. Lo anterior indica que estos genotipos presentaron menor densidad de grano, ya sea a través de acumular una menor cantidad de almidón en el endospermo o de proteína principalmente en el embrión y la capa de aleurona, o bien a través de altos contenidos de humedad en el endospermo. En este contexto, Fernández *et al.* (2015) mencionan que el peso volumétrico es un indicador de la calidad obtenida en campo en relación con el manejo agronómico y las condiciones ambientales que se presentan durante el desarrollo del cultivo y finalmente, son expresadas en la semilla. El período de llenado de grano es muy sensible a las variaciones de la temperatura del aire.

Tabla 3. Comparación de medias de cinco genotipos extremos en calidad física de semilla de trigo.

Genotipos	BS (g)	Genotipos	PV (kg hL <sup>-1</sup> )
21(Kronstad F2007)	6.22 a	25 (línea)	80.56 a
5 (Maya S2007)	6.14 ab	33 (línea)	80.00 ab
20 (Gema C2004)	6.11 ab	19 (línea)	79.67 abc
31 (Anatoly C2011)	5.99 abc	10 (línea)	79.44 abcd
25 (línea)	5.95 abcd	21 (Kronstad F2007)	79.44 abcd
12 (línea)	5.20 n	32 (Nana F2007)	75.56 klmn
35(línea)	5.19 n	1 (Cortázar F94)	75.33 lmn
28 (línea)	5.18 n	7 (Bárcenas S2002)	75.22 lmn
32 (Nana F2007)	5.13 n	9 (Eneida F94)	74.67 mn
4 (línea)	5.13 n	2 (Urbina F2007)	74.11 n
dsh	0.27		1.90
Fechas de siembra			
15 de noviembre	5.62 b	15 de noviembre	80.14 a
15 de diciembre	5.68 a	15 de diciembre	75.26 c
15 de enero	5.54 c	15 de enero	77.59 b
dsh	0.04		0.33

Medias con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa. BS y PV, corresponden a la biomasa de semilla y peso volumétrico, respectivamente.

El análisis de varianza combinado (Tabla 4) a través de ambientes para caracteres de vigor inicial de plántula mostró la existencia de efectos estadísticos significativos ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos (G) y fechas de siembra (FS) para velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE), peso fresco de vástago (PFV) y peso seco de vástago (PSV). Por otro lado, la interacción G\*FS sólo modificó estadísticamente VE ( $P \leq 0.05$ ). El coeficiente de variación (C.V) varió de 2.98 a 14.24 %, lo que significa que los

resultados son confiables y que hubo eficiencia en el manejo del experimento (Palafox *et al.*, 2006).

Así mismo, de acuerdo con los valores de cuadrados medios se observa que la fuente de variación fecha de siembra (FS) fue el componente más importante, seguido por el genotipo (G) y finalmente, la interacción G\*FS para todos los caracteres registrados.

Tabla 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor inicial de plántula en genotipos de trigo.

F.V	G.L	VE	PE	PFV	PSV
Bloque (Bloq)	2	77.86	2.25	0.40	00.014
Genotipo (G)	35	13.91**	16.46**	0.36**	00.005**
Fecha (FS)	2	13995.18**	178.92**	22.42**	00.177**
G * FS	70	5.03*	10.44 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	00.001 <sup>ns</sup>
FS (Bloq)	4	70.21	7.07	1.55	00.044
Error	140	5.31	8.43	0.10	00.001
C.V (%)	--	4.68	2.98	14.24	13.32

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. ns=no significativo. VE, PE, PFV y PSV, corresponden a la velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso fresco de vástago y peso seco de vástago, respectivamente.

Al comparar los valores en la prueba de comparación de medias, se aprecia que VE varió de 35.9 a 42.20 plantas emergidas por día (plantas/día); de este modo los genotipos 29 (COLIBRI/4/BJY/COC//PRL/BOW/3/FRTL), 30 (TJB368/BUC/CUPE/4/BOW/PRL/BUC/3/TMT/5/WBLL1\*2/TUKURU), 25 (DIAMANTE/MONARCA), 33(PLATA/ICA 30.05//CELESTINA) y 10 (DIAMANTE/URBINA) fueron consistentes con la mejor respuesta, al promover la formación de 41 plantas/día, en promedio. Por el contrario, el genotipo 32 (APROT21/COLIBRI) sólo generó 35.9 plantas/día. La velocidad de emergencia (VE), junto a porcentaje de emergencia (PE), representan atributos de alto valor entre los productores agrícolas, puesto que es el momento en que verifica la existencia de una semilla de calidad sobresaliente. El porcentaje de emergencia mínimo establecido por el SNICS (2015) es de 90 % para

considerar un lote de semillas de trigo de alta calidad fisiológica. En tal sentido, los resultados del ensayo relacionados con PE entre los distintos genotipos de trigo lo superan, al variar 7.78 % entre los valores extremos que se presentaron en los genotipos 29 (COLIBRI/4/BJY/COC//PRL/BOW/3/FRTL) y 32 (APROT21/COLIBRI) (Tabla 5).

El genotipo 5 (variedad MAYA S2007, tipo harinero) tuvo el mejor comportamiento en PFV con 2.67g en 10 plántulas y el genotipo 4 (línea tipo harinero) el valor más bajo (1.8 g). Para PSV sobresalieron los genotipos 35 (MALAQUITA/DOLOMITA), 5 (MAYA S2007, trigo harinero), 27 (DIAMANTE/ARAGONITA), 29 (COLIBRI/4/BJY/COC//PRL/BOW/3/FRTL) y 36 (COLIBRI/3/WBLL1/FRET2//PASTOR) con valores altos y nuevamente el genotipo 4 presento el peor comportamiento con 0.24 g de PSV en 10 plántulas. Variedades con alto vigor inicial de plántula repercuten de manera positiva en la biomasa de la plántula, ya que plántulas vigorosas y con alta velocidad de emergencia incrementan el peso seco de vástago. Los resultados de esta investigación coinciden con los reportados por Gharoobi (2011); quien afirmó que velocidad de emergencia, porcentaje de germinación, longitud y peso seco de la plántula, generalmente están influenciados por el genotipo.

El ambiente de producción (fecha de siembra) tuvo un fuerte impacto por sus efectos en el vigor inicial de plántula de los materiales evaluados; destacando su efecto positivo la fecha de siembra temprana (15 de noviembre) como ambiente favorable de producción para todos los caracteres registrados como lo informaron Copeland and McDonald (2001) y Villaseñor *et al.*, (2012). Por el contrario, la fecha de siembra tardía (15 de enero) influyó en la baja calidad al generar plántulas con bajo vigor y por lo tanto, no son recomendables para la producción de semillas para siembra. Por otro lado, se ha establecido que el período de llenado de grano de trigo es muy sensible a las variaciones de la temperatura del aire. Esta etapa puede durar 35 días en un ambiente con estrés por calor durante el ciclo, falta de agua y normalmente por fechas de siembra tardía. Sin embargo, puede prolongarse a 50 días en siembras tempranas

y en años fríos, sin estrés de agua y nutrición, que son factores conducentes a un ambiente favorable para expresar un potencial máximo de rendimiento (Felix *et al.*, 2009).

Tabla 5. Comparación de medias de cinco genotipos extremos para caracteres de vigor inicial de plántula en trigo.

Genotipos (G)	VE (plantas/d)	G	PE (%)	G	PFV (g)	G	PSV (g)
29 (L)	42.20 a	25 (L)	98.67 a	5 (V)	2.68 a	30 (L)	0.33 a
30 (L)	42.12 a	22 (L)	98.67 a	27 (L)	2.60 ab	5 (V)	0.33 a
25 (L)	41.65 a	31 (V)	98.67 a	29 (L)	2.59 ab	27 (L)	0.33 a
33 (L)	41.38 a	36 (L)	98.44 a	20 (V)	2.54 ab	29 (L)	0.32 ab
10 (L)	41.21 a	29 (L)	98.44 a	24 (L)	2.52 ab	36 (L)	0.32 ab
13 (L)	39.05 abc	20 (V)	96.44 a	23 (L)	2.06 bcd	1 (V)	0.27 abcd
9 (V)	38.99 abc	27 (L)	96.44 a	1 (V)	2.05 bcd	23 (L)	0.25 bcd
15 (L)	38.84 abc	18 (L)	96.22 ab	35 (L)	2.01 bcd	31 (V)	0.25 bcd
1 (V)	37.15 bc	21 (L)	95.78 ab	32 (L)	1.91 cd	32 (L)	0.24 cd
32 (L)	35.90 c	32 (L)	90.89 b	4 (L)	1.81 d	4 (L)	0.24 d
dsh	3.46		5.37		0.60		0.07
Fechas de siembra							
15/11/15	43.17 a		98.72 a		3.73 a		0.33 a
15/12/15	32.62 c		97.46 b		2.32 b		0.28 b
15/01/16	34.41 b		96.15 c		1.82 c		0.25 c
dsh	0.60		0.93		0.10		0.01

Medias con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa. G, L, V, VE, PE, PFV, PSV; corresponden a genotipos, Línea, variedad, velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso fresco de vástago y peso seco de vástago, respectivamente.

En la Tabla 6 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza combinado a través de ambientes para características de vigor inicial de plántula; altura de plántula (APL), índice de vigor I (IV-I) e índice de vigor II (IV-II), donde se aprecian diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos (G) y fechas de siembra (FS) para

los caracteres mencionados. En la interacción G x FS hubo efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) sólo en APL e IV-I.

Del mismo modo, con respecto a los valores de los cuadrados medios; la FS es el factor de mayor importancia, seguido por el efecto del genotipo y finalmente, la interacción G\*FS para todas las variables registradas. El coeficiente de variación (C.V) para APL fue de 6.73, para IV-I de 7.34 e IV-II de 13.72 %, los cuales se consideran valores aceptables. Estos porcentajes de C.V coinciden con los reportados por Cervantes *et al.* (2016) en vigor de plántula en un grupo de líneas de maíz.

En esta investigación, se destaca el hecho de que en todas las variables en estudio se observaron bajos valores de C.V y por lo tanto, dentro de los límites convencionales aceptables; por lo que se puede inferir que los cambios ambientales relacionados con estrés biótico o abiótico; como temperatura, precipitación y radiación solar principalmente, así como la pequeña variación genética intrínseca de los genotipos evaluados, los errores en la toma de datos y los debidos al manejo del cultivo, fueron todos relativamente uniformes en los ambientes de evaluación.

Tabla 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor inicial de plántula en trigo.

F.V	G.L	APL	IV-I	IV-II
Bloque (Bloq)	2	11.32	133234.82	146.63
Genotipo (G)	35	14.37**	152297.38**	52.09**
Fecha (FS)	2	2119.47**	22947819.80**	1992.08**
G * FS	70	3.28*	37697.55*	19.30
FS (Bloq)	4	107.93	983234.05	412.23
Error	140	2.30	26122.31	14.84
C.V (%)	--	6.73	7.34	13.72

\*, \*\* Significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente. APL, VI-I y VI-II, corresponden a altura de plántula, índice de vigor I e índice de vigor II, respectivamente.

En la comparación de medias para ALP, IV-I e IV-II en las variedades y líneas de trigo provenientes de tres fechas de siembra (Tabla 7), sobresalió el genotipo 5 (variedad MAYA S2007, tipo harinero) con las plántulas más altas, al alcanzar 25.31 cm a los 15 días después de la siembra; mientras que el G 31 (ANATOLY C2011, tipo cristalino) tuvo el peor comportamiento con sólo 20.04 cm de altura. En el carácter IV-I, nuevamente el genotipo 5 (MAYA S2007, tipo harinero) expresó la mejor respuesta con el valor más alto; para IV-II lo hicieron los genotipos 30 (línea tipo harinero) y 5 (MAYA S2007, tipo harinero) al generar el vigor más alto. Por el contrario, el genotipo 32 (línea tipo harinero) fue consistente al presentar bajos valores en estas dos últimas características.

Finalmente, la FS del 15 de noviembre generó el mejor comportamiento de todos los genotipos para todos los caracteres (ALP, IV1 e IV2) y la FS del 15 de enero expresó los valores más bajos. Existe investigación de medición de diferentes tipos de estrés ambiental durante la formación de la semilla y su influencia en su calidad. El estrés hídrico (Dornbos *et al.*, 1995; Ghassemi *et al.*, 1997), las deficiencias de minerales y las temperaturas extremas (Franca *et al.*, 1993; Grass y Burris, 1995) son los más comunes y de mayor efecto en la calidad de la semilla. Las deficiencias hídricas durante el llenado de grano pueden reducir la germinación de la semilla (Heatherly, 1993), causar 100% de arrugamiento de la testa de la semilla y disminuir significativamente el peso y vigor (Franca *et al.*, 1993). Por su parte, (Fernández *et al.*, 2015) concluyeron que variedades de trigo responden diferencialmente a los ambientes de producción y al manejo agronómico; de tal modo que, ambientes de producción favorables tuvieron valores altos en parámetros de calidad como peso volumétrico, peso de mil semillas, germinación, velocidad de emergencia, longitud de plúmula y peso seco; lo que permite ubicar ambientes en los que las variedades logran una expresión óptima de calidad en la semilla.



Tabla 7. Comparación de medias de cinco genotipos extremos para caracteres de vigor inicial de plántula en trigo.

Genotipos	ALP (cm)	Genotipos	IV-I	Genotipos	IV-II
5 (V)	25.32 a	5 (V)	2474.73 a	30 (L)	32.65 a
29 (L)	24.92 ab	29 (L)	2454.48 ab	5 (V)	32.25 a
18 (L)	24.90 ab	18 (L)	2404.63 ab	27 (L)	31.60 ab
27 (L)	24.42 abc	33 (L)	2362.53 ab <sup>c</sup>	36 (L)	31.43 ab
33 (L)	23.99 abcd	27 (L)	2360.84 ab <sup>cd</sup>	29 (L)	31.36 ab
32 (V)	20.98 efgh	23 (L)	2051.12 ef <sup>ghi</sup>	1 (V)	26.13 abc <sup>d</sup>
23 (L)	20.86 fgh	4 (L)	2019.96 fg <sup>hi</sup>	23 (L)	24.92 bcd
20 (V)	20.66 gh	20 (V)	1989.93 ghi	31 (V)	24.79 bcd
4 (L)	20.64 gh	31 (V)	1979.12 hi	4 (L)	23.51 cd
31 (V)	20.04 h	32 (V)	1911.50 i	32 (V)	22.31 d
dsh	2.80		298.86		7.12
Fechas de siembra					
15 de noviembre	27.42 a		2707.38 a		32.85 a
15 de diciembre	21.39 b		2085.18 b		26.89 b
15 de enero	18.78 c		1807.15 c		24.52 c
dsh	0.48		52.10		1.24

Medias con la misma letra en la misma columna no tienen diferencia significativa. L, V, ALP, IV-I, IV-II, corresponden línea, variedad, altura de plántula, índice de vigor I e índice de vigor II, respectivamente.

### 3.4. CONCLUSIONES

En todos los caracteres registrados en esta investigación el efecto de la fecha de siembra fue el componente más importante, dado principalmente por los valores obtenidos de los cuadrados medios; con excepción de la biomasa de semilla, donde el efecto de los genotipos fue el componente de mayor relevancia. Lo que indica la importancia de seleccionar apropiadamente la fecha de siembra para producción de semilla de calidad de trigo.

Los genotipos 5, 27, 29, 33 y 36 presentaron resultados superiores en la mayoría de las características de vigor de plántula; de este grupo de materiales únicamente sobresalió la variedad testigo MAYA S2007 (G 5), el resto de los materiales son líneas avanzadas del programa de mejoramiento genético de trigo del CEBAJ.

La fecha de siembra del 15 de noviembre (primera) influyó de manera positiva en la calidad física y vigor inicial de plántula; obteniéndose mayor peso volumétrico y biomasa de semilla; así mismo, se tuvo un incremento en el vigor inicial de plántula; velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso fresco y seco de vástago, altura de plántula e índice de vigor I y II, por lo que esta fecha de siembra se considera favorable para la producción de semilla de calidad para siembra de trigo.

### 3.5. LITERATURA CITADA

- Alejos, G., P. Monasterio and R. Rea (2006) Evaluation of the genotype-environment interaction for maize yield in Yaracuy state, Venezuela. *Agronomía Tropical* 56(3):370-384.
- Baloch, M. S., T. H. Shah, M. A. Nadin, M. I. Khan, and A. Khakwani (2010) Effect of seeding density and planting time on growth and yield attributes of wheat. *J. Anim. Plant Sci* 20: 239-242.
- Bewley, J. D., M. Black and P. Halmer (2006) The encyclopedia of seeds: science, technology and uses. CABI Publishing Series, 828 p.
- Bishaw, Z., A. A. Niane and Y. Gan (2007) Quality seed production. Yadav, S. S. (Eds.). *In: Lentil: an ancient crop for modern times*. Springer. Holanda 349-383 pp.
- Castañeda-Saucedo, M. C.; C. López-Castañeda, Ma. T. Colinas B., C. De León J., J. Molina M y A. Hernández L (2009) Rendimiento y calidad de la semilla de cebada y trigo en campo e invernadero. *Interciencia* 34(4):
- Cervantes-Ortiz, F., J. Hernández-Esparza, J. A. Rangel-Lucio, E. Andrio-Enríquez, M. Mendoza-Elos, G. Rodríguez-Pérez y L. P. Guevara-Acevedo (2016) Aptitud

- combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S<sub>3</sub> de maíz. *Revista fitotecnia mexicana* 39(3): 259-268.
- Cervantes-Ortiz F., G. García-De Los Santos, A. Carballo-Carballo, D. Bergvinson, J. L. Crossa, M. Mendoza-Elos y E. Moreno-Martínez (2007) Herencia del vigor de plántula y su correlación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41:425-433.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald (1995) Principles of seed science and technology. Third edition. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Copeland, L. O., and M. B. McDonald (2001) Principles of seed science technology. 4 ed. Burgess Publishing Company. Mineapolis, Minnesota, USA. 121-144 pp.
- Costa, P.S.C. and M.L.M. Carvalho (2006) Teste de conductividade elétrica individual na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de café (*Coffea arabica* L.). *Ciê. Agrotec.* 30 (1):92
- Courbineau, F. (2012) Marks of seed quality: from present to future. *Seed Science Research* 22:61-68.
- Dornbos, D. L. Jr. (1995) Seed vigour. *In: seed quality; basic mechanisms and agricultural implications.* Basra, A. S. (Ed.). Food Products Press. New York, USA. 45-80 p.
- Félix V. P., J. E. Ortiz E., G. Fuentes D., J. G. Quintana Q. y J. Grageda G. (2009) Horas Frío En Relación Al Rendimiento De Trigo. Folleto técnico No. 63 INIFAP, Campo Experimental Valle del Yaqui. Ciudad Obregón, Sonora, México.
- Fernández S, R., A. Carballo C., E. E. Villaseñor M. y A. Hernández L. (2015) Calidad de semilla de trigo de temporal en función del ambiente de producción. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(6): 1239-1251.
- FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2015) Programa agroalimentario trigo 2015 [Pagina web] consultado: 08 de marzo de 2017 [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama\\_Agroalimentario\\_Trigo\\_2015.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama_Agroalimentario_Trigo_2015.pdf)

- Franca, N. J. B., F. C. Krzyzanowski, A. A. Henning, S. H. West and L.C. Miranda (1993) Soybean seed quality as affected by shriveling due to heat and drought stresses during filling. *Seed Science and Technology* 21:107-116.
- Gharoobi, B. (2011) Effects of seed size on seeding characteristics of five barley cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology* 1(4):265-270.
- Ghassemi, G. K., A. Soltani and A. Atashi (1997) Effect of water limitation in the field on seed quality of maize and sorghum. *Seed Science and Technology* 25: 321-323.
- Goggi A. S., P. Caragea, L. Pollak, G. McAndrews, M. DeVries and K. Montgomery (2008) Seed quality assurance in maize breeding programs: tests to explain variations in maize inbreds and populations. *Agronomy Journal* 100:337-343.
- Gordón M. R. y B. I. Camargo (2015) Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 26(1):55-63.
- Gordón-Mendoza R., I. Camargo-Buitrago, J. Franco-Barrera y A. González-Saavedra (2006) Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 17:189-199.
- Grass, L. and J. S Burris (1995) Effect of heat during seed development and maturation on wheat (*Triticum durum*) seed quality. Seed germination and seedling vigor. *Canadian Journal of Plant Science* 821-829 p.
- Heatherly, L. G. (1993) Drought stress and irrigation effects on germination of harvested soybean seed. *Crop Science* 33:777-781.
- ISTA, International Seeds Testing Association (2005) International rules for seed testing, rules. Zurich. Switzerland.
- ISTA, International Seeds Testing Association (2015) International rules for seed testing, rules. Zurich. Switzerland.
- Kharb, R. P. S., B. P. S. Lather and D. P. Deswal (1994) Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigour parameters. *Seed Science Technology* 22:461-466.

- Marcos-Filho J. M. (2005) Fisiología de Sementes de Plantas Cultivadas. Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes. Piracicaba, Brasil. 546 p.
- Mora, M., V. Ordaz, J. Castellanos Z., A. Aguilar, F. Gavi y V. Volke (2001) Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra* 19:67-74.
- Munamava M. R., A. S. Goggi and L. Pollak (2004) Seed quality of maize inbred lines with different composition and genetic backgrounds. *Crop Science* 44:542-548.
- Palafox C. A., O. H. Tosquy V., M. Sierra M., A. Zambada M. y H. Cordova O (2006) Híbridos trilineales de maíz comunes y de alta calidad de proteína para Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana* 17(2):201-206.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017) Boletín mensual de la producción Trigo grano 2017 [página web] consultado: 01 de noviembre del 2017, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249637/Boletin\\_mensual\\_de\\_la\\_produccion\\_trigo\\_julio\\_2017\\_\\_170817\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/249637/Boletin_mensual_de_la_produccion_trigo_julio_2017__170817_.pdf)
- SNICS, Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2014) Regla para la calificación de semilla de maíz (*Zea mays* L.). México.
- Solís M, E., M. Hernández M., A. Borodanenko, J.L. Aguilar A., y O. Grajeda C. (2004) Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(4): 323 – 332.
- Villaseñor M, H. E., R. Hortelano S., M. F. Rodríguez G., E. Martínez C y R. Fernández S. (2012) Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en el Estado de Tlaxcala. INIFAP, CIRCE. Sitio Experimental Tlaxcala. *Folleto técnico* Núm. 50.

## CAPITULO IV. CONCLUSIONES GENERALES

Se encontró efecto estadístico significativo entre genotipos y fechas de siembra para todos los caracteres agronómicos y fisiológicos registrados.

La fecha de siembra A fue la que registro mayor rendimiento de grano, la línea 21 fue el genotipo con mayor rendimiento, mientras la variedad Cortázar S94 y el genotipo 11 fueron los que se clasificaron como los más estables en los diferentes ambientes de evaluación. El rendimiento de grano presentó una correlación alta y negativa para el índice de verdor y una correlación alta y positiva con índice de área foliar, el índice de verdor presentó una correlación alta y negativa con índice de área foliar.

En todos los caracteres registrados en esta investigación el efecto de la fecha de siembra fue el componente más importante, dado principalmente por los valores obtenidos de los cuadrados medios; con excepción de la biomasa de semilla, donde el efecto de los genotipos fue el componente de mayor relevancia. Lo que indica la importancia de seleccionar apropiadamente la fecha de siembra para producción de semilla de calidad de trigo.

Los genotipos 5, 27, 29, 33 y 36 presentaron resultados superiores en la mayoría de las características de vigor de plántula; de este grupo de materiales únicamente sobresalió la variedad testigo MAYA S2007 (G 5), el resto de los materiales son líneas avanzadas del programa de mejoramiento genético de trigo del CEBAJ.

La fecha de siembra del 15 de noviembre (primera) influyó de manera positiva en la calidad física y vigor inicial de plántula; obteniéndose mayor peso volumétrico y biomasa de semilla; así mismo, se tuvo un incremento en el vigor inicial de plántula; velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia, peso fresco y seco de vástago, altura de plántula e índice de vigor I y II, por lo que esta fecha de siembra se considera favorable para la producción de semilla de calidad para siembra de trigo.

**CAPITULO V. LITERATURA GENERAL CITADA**

- ABBATE, P. E., F. ANDRADE, Y J. P. CULOT. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N° 133. EEA INTA Balcarce. 17 p.
- CIAT (1980) Semilla de frijol de Buena calidad. 2da edición. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 37 p.
- Daughtry, C. S. T., Gallo, K. P., Goward, S. N., Prince, S. D., Kustas, W. (1992). Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. Remote Sens. Environ., 39, 141– 152.
- Delouche, J.C. 1985. Physiological seed quality. In: Proceedings 1985 Short Course for Seedsmen. Seed Technology Laboratory. Mississippi State University. Mississippi. USA 27: 51-59.
- Engledow, F . L. y S.M. Wadham, 1923 Investigations on yield in cereals. En: Abbate,P.E., Andrade, F. y Culot, J.P. Determinación del rendimiento en trigo. 1994. Boletín Técnico N°123. ISSN 0522- 548. 17 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), Avance de siembras y cosechas resumen nacional por estado 2018 [página web] consultado 7 de febrero de 2018, [http://www.fao.org/worldfood\\_situation/csdb/es/](http://www.fao.org/worldfood_situation/csdb/es/)
- Félix V. P., J. E. Ortiz E., G. Fuentes D., J. G. Quintana Q. y J. Grageda G. 2009 Horas Frío En Relación Al Rendimiento De Trigo. Folleto técnico No. 63 INIFAP, Campo Experimental Valle del Yaqui. Ciudad Obregón, Sonora, México.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), programa agroalimentario trigo 2015 [Pagina web] consultado 08 de marzo de 2017 [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama\\_Agroalimentario\\_Trigo\\_2015.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61954/Panorama_Agroalimentario_Trigo_2015.pdf)
- Fischer, R. A. 1984. Growth and yield wheat. In Procceedings Symposium on potential productivity of field vrops under different environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philipinas, pp. 129-154.

- Giménez, F. 2009. Comparación del rendimiento de variedades de cereales de invierno. <http://elsitioagricola.com>. consultado el 11/08/09
- Goetz S., Prince, S. 1996. Remote sensing of net primary production in boreal forest stands. *Agric. For. Ecol.*, 78, 149–179.
- Haboudane, D.; Miller, J.; Pattey, E.; Zarco-Tejada, P., Strachan, I. 2004. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture, *Remote Sensing of Environment*, 90: 337-352.
- Herrera, H C. A L H Fierro G, y J. D. Moreno M 2000. Manejo integrado del cultivo de la papa Manual técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) Bogota, Colombia 197 p.
- Liu J., Chen J., Cihlar J., Park, W. 1997. A process-based boreal ecosystem productivity simulator using remote sensing inputs. *Remote Sens. Environ.*, 62: 158– 175.
- Moran M., Inoue Y., Barnes E. 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sens. Environ.*, 61: 319– 346.
- MURDOCK, L., S. JONES, C. BOWLEY, P. NEEDHAM, J. JAMES Y P. HOWE. 1997. Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat. *Coop. Ext. Serv., University of Kentucky*.
- Musick, J. T. and D. A. Dusec. 1980. Planting date and water deficit effects on development and yield of irrigated winter wheat. *Agron. J.* 72:45-52.
- Ortiz, C., J., L. E. Mendoza y O. A. González H. 1985. La Fisiotecnia en la formación de arquetipos vegetales. *Ciencia y Desarrollo* 60:115-20.
- Pascale, A.J. y Damario, E.A. 2004. *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Ed. Fac. Agronomía. UBA, Buenos Aires, Argentina.
- Poulsen M K (2000) Técnicas para la germinación de semillas forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). *Proyectos de Semillas Forestales*. Turrialba, Costa Rica. 54 p.



- Rawson, H.M. 1970. Spikelet number, its control and relation to yield per ear in wheat. Australian Journal of Biological Sciences 23:1-15.
- SAGARPA (secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación), Situación actual y perspectiva de la producción de Trigo en México 1990 – 2000 [Página web] consultado: 08 de marzo de 2017 <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/97942/Trigo90-00.pdf>
- SAINZ ROZAS, H. Y H. E. ECHEVERRÍA. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadíos del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 103 (1), pp 37 - 44.
- SCHEPERS, J., T. BLACKMER Y D. FRANCIS. 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. In B. Bock y K. Kelly (ed). Predicting fertilizer needs for corn in humid regions. NFERC, Bull. Y-226. Muscle Shoals, AL, EE.UU. pp. 105 - 114.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), Avance de siembras y cosechas resumen nacional por estado 2017 [página web] consultado: 7 de febrero de 2018, [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do)
- Slafer, G. A, D. F. Calderini and D. J. Miralles. 1996. Yield components and compensation in wheat: Opportunities for further increasing yield potential. In: Reynolds, M.P., S. Rajaram, and A. McNab (eds). Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers. México, D. F. CIMMYT. pp: 101-133.
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas), regla para la calificación de semillas 2014 [página web] consultado: 12 de marzo 2018 <http://snics.sagarpa.gob.mx/certificacion/Documents/2015/Reglas/Cereales.pdf>
- Solís, M. E., S. A. Ríos R., H. García N., A. Arévalo V., O. A. Grageda C., M. A. Vuelvas C., J.G. Díaz de León T., L. Aguilar A., A. Ramírez R., J. Narro S., R. Bujanos M., A. Marín J. y R. Peña M. 2007. Producción de trigo de riego en El Bajío. Folleto Técnico Núm. 3. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México. 94 p.

Tucker C., Holben B., Elgin J, McMurtrey, J. 1980. Relationship of spectral data to grain yield variations. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.*, 46: 657– 666.



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**EFFECTO DE SILICIO EN PLANTAS DE CHILE JALAPEÑO**  
*(Capsicum annum L.)*

**QUE PRESENTA**

**ADRIANA BASILIO APOLINAR**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. JUAN CARLOS RAYA PÉREZ**  
**CO-DIRECTOR: DR. GABRIEL ITURRIAGA DE LA FUENTE**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**ENERO DE 2019**

La tesis “**EFFECTO DE SILICIO EN PLANTAS DE CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.)** fue realizada por la alumna **BASILIO APOLINAR ADRIANA** bajo la dirección del Dr. **Juan Carlos Raya Pérez** y el Dr. **Gabriel Iturriaga de la Fuente** y asesoría del Dr. **Juan Gabriel Ramírez Pimentel**, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO(A) EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Juan Carlos Raya Pérez**  
**Cédula: 4798249**

**Asesor/Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Gabriel Iturriaga de la Fuente**  
**Cédula: 4901214**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**  
**Cédula: 4875646**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, Ana Apolinar y Alfonso Basilio y a mis hermanos Efraín, Clemente, Estela, A. Denis y A. Cristina, aunque no están presentes físicamente todos los días en mi vida, siguen siendo las personas más importantes y la mayor motivación.

Agradezco al doctor Juan Carlos Raya, como director de este proyecto, su participación fue fundamental en la ejecución, también le agradezco el conocimiento compartido en cada una de las clases, representaron para mí una herramienta vital para la comprensión de muchos procesos en el mundo de las plantas y de las semillas.

Agradezco al doctor Gabriel Iturriaga y al doctor Juan Gabriel Ramírez, como subdirector y asesor de este proyecto, el apoyo que me brindaron tanto el laboratorio como en cada una de sus clases fueron vitales para la comprensión de muchas técnicas y de procesos biológicos en los sistemas vegetales.

Agradezco al Departamento de Posgrado del Instituto Tecnológico de Roque por permitirme trabajar en sus áreas de laboratorio, que sin duda fueron los lugares más importantes donde se desarrolló este proyecto, y agradezco a todas las personas que estuvieron ayudándome, Ángeles Vázquez.

Agradezco a Erick Ramírez por el apoyo que me ha brindado en estos años, la comprensión y la paciencia que ha tenido conmigo, es para mí una persona especial que ha contribuido de alguna manera a mi desarrollo tanto académico como mi desarrollo personal.

Le agradezco a José Diaz, por el apoyo que me ha brindado a través del tiempo, a mis amigos, personas he conocido en el trayecto de mi desarrollo académico y que ahora son personas importantes que me han brindado su tiempo y su amistad, a Manuel Jerónimo y María Irma Ledesma.

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
SUMMARY .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
ii. OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
2.1.1 Objetivos Específicos .....	4
2.2 HIPÓTESIS.....	4
III. MARCO TEORICO.....	6
3.1 EL CHILE ( <i>Capsicum ssp.</i> ) .....	6
3.1.1 Taxonomía .....	6
3.2 CHILE JALAPEÑO ( <i>Capsicum annuum</i> L.) .....	6
3.3 COMPOSICIÓN DE <i>Capsicum annuum</i> .....	7
3.3.1 Capsaicinoides.....	7
3.3.2 Composición Nutrimental .....	9
3.4 PRODUCCIÓN DE <i>Capsicum annuum</i> .....	10
3.4.1 Sustratos Comerciales .....	10
3.4.2 Condiciones de Germinación .....	10
3.4.3 Manejo de Riegos .....	11
3.4.5 Fertilización .....	12

3.5 ESTRÉS SALINO .....	14
3.5.1 Orígenes del Estrés Salino.....	15
3.5.2 Efectos del Estrés Salino: Toxicidad Iónica y Estrés Osmótico.....	16
3.5.3 Desbalance Bioquímico.....	18
3.5.4 Efectos en la Fotosíntesis .....	19
3.5.5 Ácido Abscisico (ABA).....	19
3.6 ESPECIES TOLERANTES A SALINIDAD .....	19
3.6.1 Plantas Halofitas .....	20
3.6.2 Acumulación de Compuestos Orgánicos .....	22
3.6.3 Compartimentalización.....	23
3.6.4 Vía de Señalización de Calcio.....	24
3.7 SEQUÍA .....	25
3.7.1 Respuesta de la Planta al Déficit Hídrico .....	25
3.7.2 Restricción en la Expansión Celular.....	26
3.7.3 Antioxidantes Enzimáticos de Respuesta .....	27
3.7.4 Precocidad .....	28
3.7.6 Desbalance Nutricional Durante el Déficit Hídrico.....	29
3.7.7 Respuesta del Ácido Abscisico Durante el Déficit Hídrico.....	30
3.7.8 Genes de Respuesta al Déficit Hídrico.....	31
3.8 CONTENIDO RELATIVO DE AGUA.....	33
3.9 MATERIA SECA .....	33
3.10 SILICIO EN EL SUELO.....	34
3.11 SILICIO EN LOS ORGANISMOS .....	35
3.12 SILICIO EN LAS PLANTAS .....	36
3.12.1 Movimiento de Silicio en las Plantas .....	37

3.13 INTERACCIÓN DE SILICIO CON OTROS ELEMENTOS.....	39
3.14 SILICIO EN EL ESTRÉS BIÓTICO.....	41
3.15 SILICIO Y ESTRÉS ABIOTICO .....	43
3.16 CALIDAD DE FRUTO .....	44
3.17 TRANSPORTADORES DE SILICIO .....	45
3.17.1 Lsi1 Transportador de Afluencia .....	45
3.17.2 Homólogos de Lsi1 .....	45
3.17.3 Lsi2 Transportador de Eflujo .....	46
3.17.4 Mecanismo de Transporte de Silicio .....	47
3.17.5 LSi6 .....	47
IV. MATERIALES Y METODOS.....	49
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	49
4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	49
4.3 EQUIPOS .....	50
4.4 MATERIAL VEGETAL .....	50
4.4.1 Cultivo de Material Vegetal .....	51
4.5 VARIABLES DETERMINADOS .....	54
4.5.1 Determinación de Contenido Relativo de Agua (CRA).....	54
4.5.2 Desarrollo de Brote y Radícula y Contenido de Materia Seca Total (MS). 54	
4.5.3 Contenido de Cenizas Totales (CEN) .....	55
4.5.4 Determinación de Contenido de Silicio (Si).....	55
4.5.4 Detección de Cuerpos de Sílice .....	57
4.6 EXTRACCIÓN DE ÁCIDO RIBONUCLEICO (ARN) POR EL METODO DE TRIZOL.....	58
4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	59



V. RESULTADOS.....	63
5. 1 CONTENIDO RELATIVO DE AGUA.....	69
5.2 LONGITUD DE BROTE.....	70
5.3 LONGITUD DE RADÍCULA.....	71
5.4 CONTENIDO DE MATERIA SECA.....	72
5.5 CONTENIDO DE CENIZAS.....	74
5.6 CONTENIDO DE SILICIO.....	74
5.7 CUERPOS DE SÍLICE.....	75
5.8 CONTENIDO DE ÁCIDO RIBONUCLEICO (ARN).....	88
VI. DISCUSIÓN.....	93
VII. CONCLUSIONES.....	109
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	111

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos aplicados a plantas de chile Jalapeño .....	53
Cuadro 2. Solución de Hoagland.....	53
Cuadro 3. Analisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial. Celaya, Gto. 2018.....	60
Cuadro 4. Analisis de varianza para un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial. Celaya, Gto, 2018.....	61
Cuadro 5. Análisis de varianza de LB de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018. ....	65
Cuadro 6. Análisis de varianza de LR de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018. ....	66
Cuadro 7. Análisis de varianza contenido de MS de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018....	67
Cuadro 8. Análisis de varianza de contenido de CEN de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018....	68
Cuadro 9. Análisis de varianza de contenido de Si de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018....	69
Cuadro 10. Comparación de medias CRA y LB en plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de Si. Celaya, Gto. 2018. ....	71
Cuadro 11. Comparación de medias de LR y MS en plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de Si. Celaya, Gto, 2018. ....	73
Cuadro 12. Comparación de medias de contenido de CEN y Si en plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de Si. Celaya, Gto. 2018. ....	75
Cuadro 13. Contenido de ARN en raíces de plantas de chile Jalapeño crecida en diferentes condiciones de estrés. Celaya Gto, 2018. ....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de calibración de Si 100 µg/mL .....	57
Figura 2. Plantas de chile Jalapeño A) T1, B) T5, E) T1 y F) T5 del primer ciclo. C)T1, D) T5, G) T1 y H) T5 del segundo ciclo. Celaya, Gto. 2018. ....	77
Figura 3. Hoja de planta de chile Jalapeño A) T1, B) T5; raíz de planta de chile Jalapeño C) T1 y D) T5, ciclo uno, microscopio invertido 40X. Hoja E) T1, F) T5; Raíz G) T1 y H) T5, ciclo dos, microscopio óptico, 40X.Celaya, Gto. 2018. ....	78
Figura 4. Plantas de chile Jalapeño A) T2, B) T6, E) T2 y F) T6, ciclo uno. C) T2, D) T6, G) T2 y H) T6, ciclo dos. Celaya, Gto. 2018.....	80
Figura 5. Hoja de Planta de chile Jalapeño A) T2, B) T6, raíz C) T2 y D) T6, ciclo uno, microscopio invertido 40X. Hoja E) T2, F) T6, raíz G) T2 y H) T6, ciclo dos, microscopio óptico 40X. Celaya, Gto. 2018.....	81
Figura 6. Hoja de planta de chile Jalapeño A) T3, B) T7, E) T3 y F) T7, ciclo uno. C) T3, D) T7, G) T3 y H) T7, ciclo dos. Celaya, Gto.....	83
Figura 7. Hoja de planta de chile Jalapeño A) T3, B) T7, raíz C) T3 y D) T7, ciclo uno, microscopio invertido 40X. Hoja E) T3, F) T7, raíz G) T3 y H) T7, ciclo dos, microscopio óptico 40X. Celaya, Gto. 2018.....	84
Figura 8. Plantas de chile Jalapeño A) T4, B) T8, E) T4 y F) T8, ciclo uno. C) T4, D) T8, G) T4 y H) T7 ciclo dos. Celaya, Gto. 2018.....	86
Figura 9. Hoja de planta de chile Jalapeño A) T4, B) T8, raíz C) T4 y D) T8, ciclo uno, microscopio invertido 40X. Hoja E) T4, F) T8, raíz G) T4 y H) T8, ciclo dos, microscopio óptico, 40X. Celaya, Gto. 2018.....	87
Figura 10. Ácido Ribonucleico de tejido radicular de chile Jalapeño. A) T1, B) T5, C) T2, D) T6, E) T3, F) T7, G) T4 y H) T8. ....	88
Figura 11. Contenido de ácido Ribonucleico de hoja y raíz de planta de chile Jalapeño. A) T1, B) T5, C) T2, D) T6, E) T3, F) T7, G) T4 y H) T8. Celaya, Gto. 2018. ....	91

## RESUMEN

*Capsicum annuum* es de las especies más importantes en el ámbito económico. Actualmente el estrés por déficit hídrico y salinidad son limitantes en la productividad de los cultivos. Ha sido probado el potencial del Silicio frente al estrés abiótico en diferentes cultivos. El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto del Silicio (Si) a 1.7 mM en plantas de chile Jalapeño cultivadas en déficit hídrico (DH), salinidad en dos niveles 60 y 180 mM de NaCl (SAM, SAA) y sin estrés. Para evaluar el efecto del Silicio, se determinó el contenido relativo de agua (CRA), longitud de radícula y brote (LR, LB), contenido de materia seca (MS), cenizas (CEN), Silicio (CSi) y localización de cuerpos de sílice (CS) en dos ciclos agrícolas. En los resultados obtenidos, el tratamiento de Si mejoró LB en SAM, SAA y DH, además de inducir un área foliar mayor. El CRA fue influenciado positivamente en plantas con SAA, SAM y DH. También se promovió el desarrollo de raíces secundarias en tratamientos de SAM y DH. El contenido de MS fue superior en DH independientemente del tratamiento con Si; el contenido de cenizas fue relativamente superior en DH y plantas sin estrés en el segundo ciclo. El contenido de Si se cuantificó solo en tratamientos de DH y plantas sin estrés que fueron irrigados con Si, para DH fue de 0.548 mg/g (miligramos/gramos) en base a peso seco (PS) y plantas sin estrés fue de 0.427 mg/g PS. En la localización de cuerpos de sílice, fue posible identificar cuerpos cristalinos en hojas y raíces. En plantas con SAA y SAM se observaron aglomeraciones y formas geométricas, mientras que en hojas de plantas con DH y plantas sin estrés se observaron cuerpos de forma puntiagudos en el interior de las células. El efecto del Si en plantas de chile Jalapeño fue muy variable en las diferentes condiciones de crecimiento, mejoró algunos rasgos morfológicos de las plantas, pero habría que evaluar concentraciones más elevadas en un futuro para asegurar un efecto mayor en las plantas.

**Palabras clave:** *Silicio, salinidad, déficit hídrico, chile Jalapeño.*

## SUMMARY

*Capsicum annuum* is one of the most important species in the economic field. Currently stress due to water deficit and salinity are limiting in crop productivity. The potential of Silicon against abiotic stress in different crops has been tested. The objective of this work was to evaluate the effect of Silicon (Si) at 1.7 mM in Jalapeño pepper plants grown in water deficit (DH), salinity in two levels 60 and 180 mM NaCl (SAM, SAA) and without stress. To evaluate the effect of Silicon, the relative water content (CRA), radicle and shoot length (LR, LB), dry matter content (MS), ash (CEN), silicon (CSi) and were determined location of bodies silica (CS) in two agricultural cycles. In the results obtained, Si treatment improved LB in SAM, SAL and DH, in addition to inducing a larger leaf area. The CRA was influenced in plants with SAA, SAM and DH positively. It also promoted the development of secondary roots in SAM and DH treatments. The MS content was higher in DH independently of the Si treatment; the ash content was relatively higher in DH and plants without stress in the second cycle. The content of Si was quantified only in DH treatments and stress-free plants that were irrigated with Si, for DH was 0.548 mg / g (milligrams / grams) based on dry weight (PS) and plants without stress was 0.427 mg / g PS. In the location of silica bodies, it was possible to identify crystalline bodies in leaves and roots. In plants with SAA and SAM, agglomerations and geometric shapes were observed, whereas in leaves of plants with DH and without stress, pointed bodies were observed inside the cells. The effect of the Si in Jalapeño pepper plants was very variable in the different growth conditions, improved some morphological features of the plants, but higher concentrations would have to be evaluated in the future to ensure a greater effect in the plants.

**Keywords:** *Silicon, salinity, water deficit, Jalapeño pepper.*

## I. INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum* spp.) fue una de las primeras plantas domesticadas en el continente americano (MacNeish, 1964). América del Sur, es centro de origen con 22 especies endémicas. Del género han sido domesticadas *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. baccatum* y *C. pubescens*. La riqueza por la diversidad genética se encuentre distribuida a lo largo y ancho del país, principalmente en los estados de Oaxaca, Puebla, Tabasco, Veracruz, Campeche y Yucatán tanto en forma cultivada como silvestres. De las especies domesticadas *annuum* es la de mayor importancia económica y con mayor variabilidad en tamaño, forma, y color de sus frutos (Caro *et al.*, 2014).

Es una de las hortalizas que ha incrementado su demanda en forma continua en los últimos años (Morón y Alayon, 2014). Tiene gran importancia social y económica debido a que es un producto de exportación (FAOSTAT, 2009). Su valor se refleja en la aportación de divisas en la balanza agropecuaria y los empleos generados (Caro *et al.* 2014). En el país se producen anualmente 2.7 millones de toneladas, y de éstas alrededor de 845 mil toneladas se destinan al comercio exterior (SAGARPA, 2015). De las variedades destaca, el chile jalapeño con 699 mil 657 toneladas, una participación de 32.8% en el país; que, junto con otras tres variedades: poblano (10.0%), serrano (8.6%) y bell peper (6.4%), aportaron 57.8% de la producción nacional (SAGARPA, 2012).

La sequía, es una restricción ambiental importante en la productividad agrícola, debido a que afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas. Produce disminución en el rendimiento fotosintético, la asimilación de CO<sub>2</sub> se reduce en un 50%. Marca un retardo en los eventos de floración, tendencia negativa más pronunciada para la floración femenina. El déficit de agua se sabe que altera la homeostasis, produce cambios en la expresión génica, necesarias para su aclimatación (Decima *et al.*, 2016).

La salinidad también es uno de los factores ambientales con un fuerte impacto en el rendimiento de los cultivos, tanto por la reducción de crecimiento, como por la inducción de senescencia (Albacete *et al.*, 2008). Induce un desbalance nutricional, debido a los altos niveles de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  que reducen la captación de  $\text{K}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e incremento de la producción de especies reactivas de oxígeno que dañan las macromoléculas (Nawaz *et al.*, 2010).

Diversas investigaciones han comprobado el potencial del Silicio frente a los efectos del estrés abiótico; este se deposita en diferentes estructuras de la planta (Adebayo *et al.*, 2014). Refuerza la capacidad de almacenamiento y distribución de carbohidratos (Quero, 2008). Estimula el desarrollo y actividad de estructuras poliméricas en cutículas, los tricomas y fitolitos en las hojas. Favorece la retención y disponibilidad del agua. En frutos de tomates se ha visto una mejor calidad en contenido de °Brix, contenido de vitamina C y el contenido de licopeno (Marodin *et al.*, 2016). Las evidencias muestran que las estructuras de las plantas que crecen en ausencia de Silicio son más débiles (Castellanos *et al.*, 2015).

El silicio es un elemento que abunda en la corteza terrestre en aproximadamente 28% (Castellanos *et al.*, 2015). Cada kilogramo de suelo contiene usualmente de 50 a 400 gramos de silicio, siendo el dióxido de silicio más común (Sahebi *et al.*, 2015). Silicatos, donde el Silicio está asociado al oxígeno y otros elementos como Al, Mg, Ca, Na, Fe, K entre otros (Sahebi *et al.*, 2015). Los diferentes cultivos no responden de la misma manera al Si como fertilizante en diferentes áreas geográficas y condiciones del suelo (Sahebi *et al.*, 2015). Comprender los mecanismos implicados en la respuesta de las plantas a ciertas condiciones ambientales, es un punto de partida en la generación de cultivos con mayor tolerancia al estrés (Pérez-Torres *et al.*, 2009).

Las producciones agrícolas son vías para aumentar la disponibilidad de alimentos, usando recursos naturales para aumentar calidad y cantidad; y estrategias para superar los efectos ambientales. Aunque los suelos son capaces de proporcionar los nutrientes suficientes, sí se modifica por la fertilización puede influir en la productividad

(Sahebi *et al.*, 2015). Por lo anterior este trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto de Silicio en plantas de chile Jalapeño cultivadas en estrés por salinidad alto y moderado y déficit hídrico, esto con el fin de estudiar si hay un efecto positivo por parte del silicio frente las condiciones de estrés, para ello se evaluaron algunos rasgos morfológicos y fisiológicos de las plantas.



## II. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de silicio en plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en estrés salino y déficit hídrico.

#### 2.1.1 Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de silicio en el contenido de agua en plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en estrés salino y déficit hídrico.
- Determinar el efecto de silicio en el desarrollo de brote y sistema radicular de plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en estrés salino y déficit hídrico.
- Determinar el efecto de silicio en el contenido de materia seca total de plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en estrés salino y déficit hídrico.
- Determinar el contenido de silicio en plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en estrés salino y déficit hídrico.
- Localizar los cuerpos de sílice en hojas y raíz de plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cultivadas en estrés salino y déficit hídrico.

### 2.2 HIPÓTESIS

- El silicio mejora el contenido de agua en plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cuando se cultivan en estrés salino y déficit hídrico.

- El silicio mejora el desarrollo de brote y sistema radicular de plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cuando se cultivan en estrés salino y déficit hídrico.
- El silicio mejora el contenido de materia seca total de plantas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cuando se cultivan en estrés salino y déficit hídrico.
- Hay una mayor acumulación de silicio en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cuando se cultivan en estrés salino y déficit hídrico.
- Los cuerpos de sílice se depositan en las paredes celulares en hojas y raíz de plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) cuando se cultivan en estrés salino y déficit hídrico.

### III. MARCO TEORICO

#### 3.1 EL CHILE (*Capsicum ssp.*)

*Capsicum annuum* fue domesticada en México (Pickersgill, 1984). En condiciones favorables las plantas de chile miden entre 30 y 80 centímetros de altura (SIAP 2010). El fruto tiene características muy variados empezando por el color, que va desde anaranjado a rojo cuando está en estado de madurez, el tamaño, la forma, el sabor y el picor (Narez-Jiménez *et al.*, 2014).

Se adapta a diferentes tipos de suelo, pero se desarrolla mejor a profundidades de 30 a 60 centímetros en suelos francos arenosos, francos limosos o franco arcillosos, con alto contenido de materia orgánica. Es recomendable sembrar en suelos con pH superiores a 5.5, este parámetro es determinante en la asimilación de nutrientes. La densidad de plantas utilizadas en la siembra, va de 40,000 a 50,000 plantas por hectárea (SIAP, 2010).

##### 3.1.1 Taxonomía

El chile pertenece al reino plantae, división magnoliophyta, clase magnoliopsida, orden solanales, familia de la solanaceae. El género *Capsicum* (Solanaceae) está conformado por alrededor de 30 especies distribuidas desde el sur de los Estados Unidos, hasta el norte de Argentina (Pickersgill, 1984). El número cromosómico básico es n=12, excepto *C. ciliatum* que tiene un número básico de n=13 (Pickersgill, 1991).

#### 3.2 CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.)

El chile Jalapeño perteneciente a la especie *Capsicum annuum* L., forma parte de la dieta mexicana; en la mesa, ningún platillo estaría completo sin su respectiva salsa (Román *et al.*, 2013). Su fruto se caracteriza por la producción de capsaicina y dihidrocapsaicina destacan por su efecto en la pungencia (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

La vitamina C presente en el fruto es un antioxidante, actúa como un reductor de radicales libres, propiedad que contribuye a minimizar el daño oxidativo en ese producto (Padayatt *et al.*, 2001).

### **3.3 COMPOSICIÓN DE *Capsicum annuum***

#### **3.3.1 Capsaicinoides**

El contacto de capsaicina con las neuronas sensoriales da como resultado la liberación de opioides, como endorfinas, que bloquean el dolor, provocando una sensación de placer (Castellon-Martinez, 2012). La interacción entre el chile y degustadores tiene una relación genética, que va más allá de la costumbre. La tolerancia de la capsaicina se ha asociado a los grupos humanos que expresa la variante alélica AVI (alanina, valina e isoleucina) del gen *TAS38* tipo 2 en la lengua y el paladar. Los portadores homocigotos del halogrupo AVI del receptor de gustducina degustan del chile con una menor sensación (quemante) (Román *et al.*, 2013).

La capsaicina (trans-8-metil-N-vanillil-6-nonenamida) tiene actividad analgésica y antiinflamatoria, y se utiliza con fines terapéuticos para tratar dolores provocados por la artritis reumatoide y la neuropatía diabética. Los capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina nordihidrocapsaicina, homodihidrocapsaicina, homocapsaicina, etc.) ejercen múltiples efectos fisiológicos en la salud humana por su valor potencial en la clínica de alivio del dolor, la prevención del cáncer y la pérdida de peso, que incluye la actividad de antioxidante (Castellon-Martinez, 2012).

Los 20 diferentes capsaicinoides tienen la similitud de tener un núcleo fenólico unido mediante un enlace amida a un ácido graso. El núcleo fenólico es la vainillilamina, se forma a partir de la fenilalanina a través de la ruta de los fenilpropanoides, mientras que el ácido graso se forma a partir de aminoácidos de cadena lateral ramificada, puede ser leucina o valina. Las diferencias entre los capsaicinoides son el número de

carbonos en la cadena lateral que puede ser de 9 u 11 carbonos. Con un número variable de enlaces dobles en diferentes posiciones (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

La fenilalanina amonio liasa es un enzima que cataliza la formación de vainillilamina a partir de las conversiones sucesivas de la fenilalanina en los ácidos *trans*-cinámicos, cumarico, cafeico y ferulico. En chile habanero esta enzima es codificada por una familia génica de entre tres y cuatro miembros, las cuales se expresan principalmente en la placenta en etapas previa a la maduración. Otras enzimas que participan es el cinamato 4-hidroxilasa, cumarato 3-hidroxilasa y el ácido cafeico metiltransferasa y también se localiza en la placenta (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

La desaminación de leucina o valina por una aminotransferasas específica (BCAT), produce la  $\beta$ -cetoisovalerato que posteriormente se convierte en isobutiril-CoA, catalizado por la isovalerato deshidrogenasa (IvDH), un complejo multienzimático de ácido graso sintasa (FAS) cataliza la conversión de isobutiril-CoA a 8-metil-6-nonenoil-CoA, el componente  $\beta$ -ceto acil sintasa (KAS) provoca la condensación de la isobutiril-CoA con grupos malonilo, el componente ACL (proteína acarreadora de grupos acilo) es el que transporta los grupos malonilos al isobutiril-CoA, perdiéndose una molécula de CO<sub>2</sub> en cada ciclo de elongación, después de tres ciclos es liberado finalmente el ácido graso por la tioesterasa. En la ruta final de la formación de los capsaicinoides, la enzima capsaicinoide sintasa, cataliza esta reacción final condensado la vainillilamina con el ácido graso de cadena lateral (Vázquez-Flota *et al.*, 2007).

Las lesiones causada al fruto también puede disminuir la actividad de los capsaicinoides, ya que probablemente al entrar en contacto con el oxígeno causa su oxidación (Vázquez-Flota *et al.*, 2007). Estos capsaicinoides actúan como antioxidantes potentes que protegen el ácido linoleico contra el ataque de radicales libres y reducen los metales al ser donadores de hidrogeno (Morán-Bañuelos *et al.*, 2008). Los morfotipos de *C. annuum* en contenido capsaicinoides varia de 1000 a más de 235 000 SHU (Scoville Heat Units). La variación es controlada por el genotipo y las

condiciones climáticas, además de las prácticas de cultivo en las zonas de producción (Morán-Bañuelos *et al.*, 2008).

### 3.3.2 Composición Nutricional

El chile está compuesto por 91% de agua, 5.1 g de carbohidratos, 1.3 g de proteínas, 0.3 g de grasas, 1.4 g de fibra, 1000 UI de vitamina A, 0.03 mg de vitamina B1, 0.05 mg de vitamina B2, 0.20 mg de vitamina B5, 0.45 mg de vitamina B12, 120 mg de vitamina C, 17 mg de azufre, 9 mg de calcio, 37 mg de cloro, 0.10 mg de cobre, 23 mg de fósforo, 0.5 mg de hierro, 11 mg de magnesio, 0.26 mg de manganeso, 234 mg de potasio, 50 mg de sodio y 0.001 mg de yodo (SIAP, 2010).

Los contenidos de capsaicina y dihidrocapsaicina en chile verde Jalapeño son de 91.29 mg·mL<sup>-1</sup> y 76.16 mg·mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que en estado de madurez de color rojo 30 días después de haber sido cosechado presenta 1,525.68 g·mL<sup>-1</sup> de capsaicina y 2,372.50 g·mL<sup>-1</sup> de dihidrocapsaicina. Se ha comprobado que el contenido de capsaicinoides es más alto cuando los chiles verdes maduran, aunque el contenido de capsaicinoides tiende a bajar durante la senescencia. Su poder antioxidante se le atribuye a la presencia de estos componentes, en los frutos verdes se ha encontrado una actividad de 16.24% mientras que en estado maduro incrementa a un 74%, y el incremento de vitamina E, que va de 95.1 mg·100 g<sup>-1</sup> en verde y 149.5 mg·100 g<sup>-1</sup> en rojo maduro (Mendoza-Sánchez *et al.*, 2015).

El contenido de carotenoides se reporta de 1,754.90 mg·100 g<sup>-1</sup> de peso fresco, un valor inicial de polifenoles fue de 504.6 mg de ácido gálico·100 g<sup>-1</sup>, se identificó la presencia de 11 ácidos grasos pentadecanoico, 9-hexadecenoico, hexadecanoico, 9,12-octadecadienoico, octadecanoico, eicosanoico, docosanoico, 9,12,15-octadecatrienoico, dodecanoico, 9-octadecenoico y heptadecanoico, el 54% de los ácidos grasos estaba presentes en el pericarpio, son saturados, el 5.15% es monoinsaturado y 39.87% son poliinsaturados, los de mayor proporción fueron el ácido palmítico, ácido linolénico, el ácido tetradecanoico, ácido heptadecanoico y ácido

9,12,15-octadecatrienoico solo están presentes en etapa verde; mientras que en etapa roja de maduración es de 1,180.2 mg·100 g<sup>-1</sup> en base a peso fresco (PF), en polifenoles de 349.8 mg de ácido gálico·100 g<sup>-1</sup> PF (Mendoza-Sánchez *et al.*,2015).

### **3.4 PRODUCCIÓN DE *Capsicum annuum***

#### **3.4.1 Sustratos Comerciales**

Los sustratos comerciales generalmente contienen humedad; sin embargo, esta casi nunca es suficiente para garantizar una germinación adecuada, por lo que se debe agregar agua para facilitar el manejo del sustrato para la siembra; el agua que se agregue deberá realizarse con regadera de mano o asperjando con una manguera al mismo tiempo que se mezclan, para lograr humedecer al sustrato de manera homogénea (INIFAP, 2010).

La humedad del sustrato para su manejo no debe permitir que se apelmace o forme terrones al compactarlo con la mano; cuando el sustrato se humedece demasiado, se dificulta la aireación y el drenaje; otro problema común cuando se humedece demasiado el sustrato durante la siembra, es la compactación de éste en la cavidad, lo que favorece el encostramiento de la superficie y afecta la germinación de la semilla; además la compactación afecta considerablemente el crecimiento radical, provocando la poca o nula penetración de raíces y su deformación (INIFAP, 2010).

#### **3.4.2 Condiciones de Germinación**

La profundidad adecuada de siembra es de 1.0 centímetro. La siembra de las semillas se debe realizar con la mayor precisión posible, a fin de depositar sólo una semilla por cavidad. Después de realizar la siembra, se tapa la semilla con sustrato húmedo y se aplica un riego a saturación. El apilado de las charolas se suele realizar en locales reducidos llamados germinadores o cuartos de germinado, en donde se mantiene la temperatura más o menos estable entre 28-30°C y una humedad relativa de 60-70 %

(INIFAP, 2010). La germinación de chile se ve afectada principalmente por la humedad y la temperatura, por lo que se recomienda mantener la humedad constante y la temperatura entre 20 y 25°C, con lo que se logra que germinen entre seis y ocho días (Samadiego-Cruz *et al.*, 2002).

### **3.4.3 Manejo de Riegos**

El manejo del agua constituye un factor de vital importancia en el logro de plántulas de calidad, ya que el mal manejo de los riegos puede favorecer la aparición de enfermedades. Es necesario aplicar los riegos a las charolas por medio de aspersión o microaspersión; se debe evitar que el golpe de las gotas sea fuerte y arranque las plantas. El agua debe estar a un pH de 5.5 a 6.5 durante los primeros 15 días y se decide terminarlo cuando a la plántula le aparecen las primeras hojas verdaderas y poder empezar con la nutrición de la plántula (INIFAP, 2010).

Se recomienda realizar riegos ligeros y frecuentes por lo que es preferible realizar de uno a dos riegos ligeros por día, para que las variaciones de humedad en el sustrato no sean tan marcadas y se disminuya el estrés en las plantas; al mismo tiempo, se evita llegar a saturación y encharcamientos, con lo que disminuye el riesgo de enfermedades. Los riegos excesivos darán como resultado una plántula con el sistema radicular poco desarrollado. La falta de agua afecta el crecimiento de las plantas por lo que el sustrato deberá mantenerse con una humedad uniforme (INIFAP, 2010).

La temperatura óptima para el desarrollo de la plántula es entre 18 y 24 °C, por lo cual se recomienda mantener la temperatura del invernadero dentro de ese rango. Si la temperatura se encuentra arriba de los 35 °C, se recomienda tirar agua sobre el piso, levantar cortinas y ventanas. Si la temperatura está por debajo de lo recomendado no pasa nada, tendría que bajar hasta 10 °C para que sufra daño, si esto sucede se sube la temperatura por medio de la calefacción (INIFAP, 2010).



Cuando la humedad relativa se encuentre debajo del 50% la plántula puede sufrir una deshidratación y para corregir se tira agua sobre el piso, ventilando y sombreando; cuando la humedad relativa se encuentra por arriba del 75% se reduce la transpiración, disminuye su crecimiento y se producen enfermedades. Para reducir estos problemas es necesario encender ventiladores, aumentar la temperatura y evitar el exceso de humedad en el suelo (INIFAP, 2010).

### **3.4.5 Fertilización**

Se requiere que el balance entre nutrientes se considere al momento de programar la fertilización; los tres más importantes son: Nitrógeno, Fósforo y Potasio (FAO, 2004); se ha demostrado, que el nitrógeno es el elemento que mayor impacto tiene sobre el crecimiento de la plántula (Maynard y Hochmuth, 2007). El inicio del programa de nutrición se podrá realizar a partir de la aparición de las primeras hojas verdaderas y continuarse con aplicaciones semanales (FAO, 2004). La nutrición de la plántula, ayuda a lograr plantas vigorosas que favorecen su arraigo definitivo y buen desarrollo en el campo definitivo (Preciado *et al.*, 2002).

### **3.4.6 Enfermedades que Afectan al Cultivo de Chile**

#### ***Phytophthora capsici* L.**

La pudrición basal del tallo es una enfermedad muy conocida en la producción de Chile, esta es causada por el oomicete *Phytophthora capsici* L. se presenta en áreas subtropicales y tropicales e infecta raíces, tallos, hojas y frutos. Causa pudriciones de las raíces y lesiones negras en el tallo, circulares, acuosas y de color café grisáceo en hojas, y cubiertas de esporangios blancos en los frutos. El inoculo puede persistir en el suelo, las zoosporas tienen una alta movilidad en el suelo (Uribe-Lorio *et al.*, 2014).

En condiciones de invernadero la supervivencia del micelio y esporangios no rebasa los 120 días, máximo un mes en semillas, una humedad relativa de 47% la

supervivencia de micelio y esporangios no supera una semana. *P. capsici* L. es de carácter acuifilo, La posible vía de disseminación, es la salpicadura de las gotas de agua al chocar contra el suelo, que puede suponer dispersiones de hasta un metro de radio (Palazón y Palazón, 1989).

### **Mancha foliar por *Alternaria* spp.**

Entre las enfermedades que afectan el follaje, está la mancha foliar por *Alternaria* spp. Las plantas presentan pequeñas lesiones circulares de apariencia acuosa que posteriormente se tornan de color café oscuro, rodeados de un halo verde o amarillento. En estas lesiones se observan anillos concéntricos oscuros, característicos y la presencia de una gran cantidad de esporas que posteriormente se dispersan por el viento. El micelio del patógeno sobrevive de 1 a 2 años en restos vegetales. Las esporas se disseminan a grandes distancias por el viento, en la ropa, herramientas y salpicaduras de agua. Los conidios o esporas pierden rápidamente viabilidad en el suelo (INIFAP, 2008).

### **Cenicilla**

*Leveillula taurica* produce pequeñas manchas de color blanco con apariencia polvosa compuesta de esporas que emergen de las estructuras del hongo, estas manchas cubren completamente la lámina foliar. Las hojas infectadas se tornan cloróticas, después café o gris claro y mueren. Si la defoliación es severa, el número y tamaño de los frutos se reducirá además de que los frutos producidos tienen poco sabor. La incidencia de la cenicilla es mayor en regiones de clima húmedo (INIFAP, 2008).

### **Virus Mosaico del Pepino (CMV)**

Pertenece al grupo de los cucumovirus, detectado por primera vez en 1974 en plantaciones de chile en la región sur de Tamaulipas, en el Bajío y en Culiacán. Causa achaparramiento severo, follaje amarillento con apariencia correosa. Produce hojas

angostas y frutos malformadas. Esta enfermedad es más severa cuando los chiles son trasplantados cerca de plantaciones de cucurbitáceas como pepino y calabaza. CMV infecta más de 800 especies de plantas, las especies de maleza actúan como reservorios de los virus e invernan en ellas. Se dispersa y transmite por más de 60 especies de áfido (INIFAP, 2008).

### **Virus Mosaico del Tabaco (TMV)**

Pertenece al género tobamovirus. Se asocia con el Virus Mosaico del Tomate frecuentemente, causando pérdidas de 30 a 70%. Produce aclaraciones en las venas en hojas jóvenes, algunas presentan abultamientos parecidos a ampollas, achaparramiento, clorosis y mosaicos. Caída prematura de las hojas más viejas, aborto de flores y frutos, necrosis de las yemas y deformación de los frutos. Los residuos de las plantas infectadas son una fuente de inóculo, aunque se puede transmitir mecánicamente, puede ser acarreado por cualquier objeto que entre en contacto con las plantas o residuos infectados como la maquinaria, trabajadores y herramienta. Puede persistir en plantas infectadas por más de 50 años (INIFAP, 2008).

### **3.5 ESTRÉS SALINO**

La degradación del suelo ha reducido en un 13% la producción de alimentos desde la segunda guerra mundial. En las próximas dos décadas se estima para la producción agrícola un aumento del 20% en países en desarrollo y un 60% en países en vías de desarrollo. Sin embargo la demanda de las tierras agrícolas para la urbanización sigue en crecimiento, siendo las tierras de primera calidad las más susceptibles a la invasión urbana (Martin-Sauceda, 2016).

La salinidad ha sido una amenaza para la agricultura a lo largo de 3000 años, especialmente cuando se trata del uso casi obligatorio de riegos, que, ha ido creciendo últimamente. Aproximadamente un tercio de la superficie terrestre del mundo tiene condiciones áridas o semiáridas, de las cuales la mitad se estima que es afectada por

la salinidad (Anser *et al.*, 2012) y representa aproximadamente el 6% de la superficie terrestre, el incremento de la salinización de los suelos podría afectar a casi el 50% de las tierras cultivables en el año 2050. Las consecuencias han sido reportada en más de 45 millones de hectáreas de tierras de riego en todo el mundo, cada año alrededor de 1.5 millones hectáreas de tierras cultivables se convierte en tierras desfavorables (Amin *et al.* 2016).

El termino salinidad se refiere a la presencia en el suelo de una elevada concentración de sales que perjudican a las plantas por su efecto toxico y la disminución del potencial osmótico del suelo. La situación más frecuente de salinidad es por NaCl, pero suelen presentar distintas combinaciones de sales, siendo comunes los cloruros y los sulfatos de Na, Ca. La sodicidad o alcalinización se desarrolla cuando en la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrolisis alcalino, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio (Amin *et al.*, 2016).

Los suelos sódicos son aquellos que se originan cuando el ion monovalente Sodio desplaza otras bases de complejo de absorción y se fija a esta estructura superficial, en un nivel de concurrencia que sobrepasan el 15% entre los cationes intercambiables. Las altas concentraciones de Sodio en los suelos no solo perjudican las plantas directamente, sino también degradan la estructura del suelo, disminuyendo la porosidad y la permeabilidad del agua. Estos suelos se caracterizan por presentar propiedades físicas y químicas desfavorables para el crecimiento de los cultivos que en ellos se desarrolla, necesitan prácticas especiales para su mejoramiento y manejo (Amin *et al.*, 2016).

### **3.5.1 Orígenes del Estrés Salino**

La salinización puede producirse en condiciones naturales debido a la meteorización de rocas sedimentarias con altos contenidos en sales. En ocasiones, esas sales son disueltas por el agua de lluvia que al evaporarse las acumula en zonas bajas y depresiones. También puede ser el resultado de una redistribución acelerada de sales

en el perfil del suelo por la escasez de precipitaciones y de reservas de agua en las regiones ( Martin-Sauceda, 2016).

Además de las adversas condiciones climáticas, se deben considerar otros factores, en la ocurrencia de salinidad, como son: las aguas salinas subterráneas, las tierras bajas cercanas a las costas, los pantanos y las algunas litorales, así como las áreas cercanas a minas y bóvedas salinas ( Martin-Sauceda, 2016).

La salinización secundaria causada por la acción del hombre principalmente se debe al desmonte y la sustitución de cultivos perenne por cultivos anuales, y al manejo inadecuado del riego, así como la excesiva adición de fertilizantes y las prácticas agrícolas que compactan el suelo y provoca una insuficiente lixiviación. Es más frecuente en zonas donde se manejan sistemas de irrigación ( Martin-Sauceda, 2016).

### **3.5.2 Efectos del Estrés Salino: Toxicidad Iónica y Estrés Osmótico**

La salinidad tiene un fuerte impacto en el rendimiento de los cultivos, tanto por la reducción de crecimiento de las hojas como por la inducción de la senescencia foliar (Albacete *et al.*, 2008).

La sal tomada por la planta se concentra en las hojas más viejas; el transporte continúa hacia hojas en un largo periodo de tiempo, en el futuro resulta en muy altas concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ . La causa de la lesión es probablemente debido a la carga de sales excediendo la habilidad de la célula para compartamentalizar sales en vacuola. Por esto, se asocia al efecto iónico (Ahmad *et al.*, 2016).

El movimiento de  $\text{Na}^+$  en la solución del suelo al apoplasto de la raíz ocurre por un flujo másico, impulsando principalmente por un gradiente de presión. Ocurre por vía simplástica, apoplástico o vías transcelulares hasta la endodermis donde una banda de caspari restringe el movimiento apoplástico. La suberina es una sustancia cerosa, es una barrera hidrofóbica a la vía simplástica. Son los sistemas de transporte que

limitan la absorción neta de  $\text{Na}^+$  en los vasos del xilema de la raíz reducen el movimiento de  $\text{Na}^+$  a los brotes (Rodríguez-Delfín *et al.*, 2014).

### **Toxicidad Iónica**

La toxicidad iónica, como producto de la acumulación de iones a niveles tóxicos. Los iones salinos transportados en la cadena de transpiración hasta las hojas pueden llegar a acumularse en los espacios intercelulares y deshidratar la célula o en el citoplasma e inhibir la mayoría de los enzimas del citosol llegando a producir la muerte de las hojas (Rodríguez-Delfín *et al.*, 2014).

Tanto el estrés osmótico y el iónico generan estrés oxidativo y la acumulación de radicales oxígeno ( Martín-Sauceda, 2016) dañando la membrana celular lo que se traduce en fugas, que en última instancia reduce las actividades fisiológicas y bioquímicas (Ahmad *et al.* 2016). Provoca una pérdida de turgencia celular, reducción de la tasa de expansión celular, disminución de la síntesis de la pared celular y reducción de síntesis de proteínas. Las tensiones de la sal limitan el estado de las citocininas en la planta, como responsable de la división y expansión celular (Rodríguez-Delfín *et al.*, 2014).

### **Estrés Osmótico**

El estrés osmótico minimiza el potencial hídrico del medio, reduciendo la capacidad de la planta para absorber el agua y nutrientes por la raíz. Un desequilibrio por competencia del Sodio y Cloro con nutrientes como Potasio, Calcio y Nitrógeno. La absorción de P y Mg se reduce en un 25 %, el  $\text{K}^+$  se reduce en un 28% y una absorción elevada de  $\text{Na}^+$  por encima de 31% (Rodríguez-Delfín *et al.*, 2014).

El efecto osmótico se ve en la rápida inhibición de la tasa de expansión de las hojas jóvenes y una reducción de la conductancia estomática de las hojas maduras ( Martín-

Sauceda, 2016; Ahmad *et al.*, 2016). La disminución del contenido relativo de agua es típico de una planta en respuesta al estrés osmótico (Mahmood *et al.* 2016).

Generalmente se asume que  $\text{Na}^+$  compite con la absorción de  $\text{K}^+$  por las raíces de las plantas a través un mecanismo que no diferencia el  $\text{Na}^+$  del  $\text{K}^+$ , de esta manera, el  $\text{Na}^+$  puede inhibir la absorción de  $\text{K}^+$ . Una vez que el  $\text{Na}^+$  está dentro de la planta puede ser traslocado a cada parte aérea relativamente pequeña. Las plantas que traslocan el  $\text{Na}^+$  a la parte aérea, preferentemente usan la vía de rápido movimiento del torrente de transpiración en el xilema, aunque el  $\text{Na}^+$  también puede retornar a la raíz vía floema. Como consecuencia las hojas y brotes acumulan concentraciones más altas de  $\text{Na}^+$  que las raíces (Aloisi *et al.*, 2016).

### **3.5.3 Desbalance Bioquímico**

En muchas especies de cereales, primeramente se produce un incremento del contenido de proteínas solubles totales, pero estos valores van descendiendo debido a la actividad de las proteasas, para emplear los aminoácidos en el recambio proteico, como fuente de energía, fuente carbonada o nitrogenada, además de emplear en un primer paso los aminoácidos para el incremento de la concentración de compuestos osmóticamente activos y así asegurar la disminución del potencial osmótico y, en consecuencia, el potencial hídrico celular. Las fracciones de albumina/globulina son afectados por la salinidad, las semillas de las plantas crecidas en 300 mM NaCl muestran una reducción de proteínas de almacenamiento (Aloisi *et al.*, 2016). Las plantas también refuerzan su composición de niveles de ácidos grasos insaturados en las membranas, cambiando la fluidez de la membrana y como los complejos proteicos se estabilizan en los tilacoides de la membrana en el fotosistema II, las hojas de las plantas son ricos en ácidos grasos insaturados tales como ácido-alfa-linolenico y ácido linoleico (Ventura y Sagi, 2013).

### 3.5.4 Efectos en la Fotosíntesis

Los pigmentos fotosintéticos son bloqueados por la salinidad, sugiriendo una notable inhibición en el sistema recolección de luz de la planta. La proteína c73857 de unión de la clorofila a/b del complejo cosechador de luz I es regulada negativamente. Los niveles de expresión de Ribulosa bifosfato carboxilasa (RuBP), son reducidos en condiciones de estrés. El centro de reacción del PSII excitado por fotones Chl (P680) se suprime conduciendo a la acumulación de oxígeno triplete excitado en P680, que reacciona con O<sub>2</sub>, produce singulete O<sub>2</sub> (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>) (Yi-Mi *et al.*, 2016).

### 3.5.5 Ácido Abscísico (ABA)

También es conocida la actividad del ABA en la homeostasis iónica, acompaña a una mejor relación de K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>, el ABA regula el transporte y acumulación de K<sup>+</sup> en las plantas superiores. La acumulación de los transportadores antiport es en respuesta a la acumulación del ABA, los mutantes *aba1* y *aba2* no presenta esta respuesta al estrés (Chávez, Álvarez y Ramírez, 2012).

Las células endodermales puede ser sensibles a la presencia de iones de Sodio y activan la señalización de ABA. Como consecuencia actúa como guardia endodérmica, asegurándose que las raíces laterales no sigan su crecimiento en ambientes salinos. Las raíces laterales son más sensibles al ABA que las raíces primarias (Duan *et al.*, 2013).

## 3.6 ESPECIES TOLERANTES A SALINIDAD

A pesar de que las especies y variedades tolerantes no son sustitutas de las buenas prácticas agrícolas, que evitan la acumulación de sales en el suelo, pueden ser valiosas para cultivar suelos salinos en proceso gradual de rehabilitación, para su cultivo en aquellas zonas donde no se cuenta con agua de buena calidad para el riego



o para aumentar la productividad de tierras marginales (González, González y Ramírez, 2002).

Todo esto señala que el principal papel de las especies y variedades tolerantes a las sales podría ser, el mejorar el rendimiento y la uniformidad de los cultivos que hoy se producen en áreas salinas. En el desarrollo de plantas tolerantes a la salinidad, el mejorador debe tener en cuenta la calidad del cultivo, por ser tan importante como el rendimiento, por lo que los esfuerzos deben dirigirse a combinar en una planta las características agronómicas y de calidad de las especies tolerantes (González, González y Ramírez, 2002). La tolerancia a salinidad es un fenómeno complejo que involucra cambios morfológicos y adecuaciones en el desarrollo, que guardan una estrecha relación con los principales procesos fisiológicos y bioquímicos que operan en las plantas (Albacete *et al.*, 2008).

### **3.6.1 Plantas Halofitas**

Algunas plantas como las halofitas han desarrollado mecanismos de adaptación para resistir los ambientes salinos, una de ellas es la reducción de  $\text{Na}^+$  en el citosol y mantener la homeostasis de iones intracelulares en una solución salina; Controlan la absorción neta de  $\text{Na}^+$  en la raíz, la excreción de  $\text{Na}^+$  de la superficie del vástago o de la hoja y el secuestro de  $\text{Na}^+$  en la vacuola. Otras plantas mantienen una relación estrecha entre el  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  limitando a los brotes de las raíces en la afluencia, otras especies ocupan el  $\text{Na}^+$  desde el suelo para luego excretarlos en las glándulas de sal (Pan *et al.* 2016).

Las plantas halofitas por ejemplo toleran crecer en condiciones con 100 mM de NaCl y no se ven afectadas a 200 o 400 mM NaCl, el crecimiento de las plantas superiores depende directamente la capacidad fotosintética, la tasa fotosintética, la conductancia estomática y la velocidad de transpiración en una correlación positiva (Pan *et al.*, 2016).

En las halofitas por su naturaleza de C4 se piensa que el  $\text{Na}^+$  facilita algunos procesos bioquímicos en la fotosíntesis como la conversión de piruvato a fosfoenolpiruvato (PEP) y la actividad del fotosistema II (PSII) en el mesofilo de cloroplasto, entonces el  $\text{Na}^+$  posiblemente estimule la fotosíntesis de C4. Aunque está demostrado que el exceso de  $\text{Na}^+$  en el citosol es deletéreo debido a la inhibición de enzimas funcionales, interrumpe la captación de  $\text{K}^+$  e inhibe los procesos dependientes de  $\text{K}^+$  causando tensiones secundarias como el estrés oxidativo (Pan *et al.*, 2016).

El aumento de la presión osmótica en los fluidos celulares que permite la absorción de agua a pesar del reducido potencial osmótico hídrico externo y acumulación de solutos en células para mantener el volumen y turgencia celular, conocido como ajuste osmótico es un mecanismo de tolerancia al estrés. Las plantas halofitas mantienen la turgencia celular principalmente mediante la acumulación de iones. La mayor parte de las plantas glicofitas, por el contrario, restringe la entrada de iones por lo que tienen problemas para la adaptación osmótica en condiciones salinas (Martin-Sauceda, 2016). La acumulación de proteínas solubles y azúcares solubles ayudan a combatir el estrés osmótico provocado por la salinidad (Ahmad *et al.*, 2016).

La acumulación de ROS (especies de oxígeno reactivo) lleva al estrés oxidativo que daña los componentes celulares, como el ADN (ácido desoxirribonucleico), lípidos, proteínas y azúcares (Yi-Mi *et al.*, 2016). Las plantas activan su maquinaria antioxidante para lidiar con el estrés. Los antioxidantes protegen las biomoléculas de ser dañadas. La eliminación de los ROS implica enzimas como el superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ascorbato peroxidasa (APX) y glutatión reductasa (GR), en diferentes compartimentos celulares existen isoenzimas especializados como los del cloroplasto y las mitocondrias (Chávez, Álvarez y Ramírez, 2012).

La SOD constituye la primera línea de defensa frente al estrés oxidativo catalizando la dismutación de dos radicales superóxidos ( $\text{O}_2^-$ ) en peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ). Así mismo obstaculiza la reducción de iones metálicos y la síntesis de

radical hidroxilo. La CAT cataliza la reducción de  $H_2O_2$  en oxígeno y agua (Martin-Sauceda, 2016).

Las peroxidasas se han generalizado en hongos, bacterias, animales y en plantas. La clase POD I (peróxido dismutasa) son específicas de vainas intracelulares que eliminan los ROS intracelulares, la clase POD II existe principalmente en hongos y la clase POD III son extracelulares implicados en el metabolismo de la auxina, elongación celular, metabolismo de la lignina y resistencia a patógenos. La actividad de POD es altamente inducida en el estrés salino, la clase III es la que muestra mayor expresión, participa también en la eliminación de ROS. Los flavonoides participan como donante de electrones en los ROS, además de que se unen a los iones metálicos y reducen el daño. Son también moléculas de señalización que interactúan con factores de transcripción, cinasas e histonas para regular la expresión génica en diferentes niveles (Yi-Mi *et al.*, 2016).

### **3.6.2 Acumulación de Compuestos Orgánicos**

Algunas plantas acumulan compuestos orgánicos que actúan como solutos compatibles. No dañan las enzimas ni las estructuras celulares, también son conocido como osmolitos, solutos compatibles. Se acumulan en el citosol, cloroplastos y otros compartimentos citoplasmáticos. Las concentraciones elevadas de hasta 200 mM permiten mantener la turgencia celular y un gradiente de entrada de agua. Mantiene un balance osmótico y actúa protegiendo la estructura por medio de la entrada de agua en la célula o reduciendo la salida (Martin-Sauceda, 2016).

Los solutos pueden ser polioles lineales como el glicerol, el manitol o sorbitol; polioles cíclicos como el inositol o pinotol y otros derivados mono y dimetilados de inositol; azucares principalmente la sacarosa y la fructuosa; aminoácidos como el glutamato y la prolina; compuestos de cuaternario de amonio como la glicina betaina (GB), o alaninbetaina y otro compuestos como la trehalosa, rafinosa y fructanos (Martin-Sauceda, 2016).

La acumulación de prolina es una forma de proteger a las enzimas contra la deshidratación y acumulación de sales; la presencia de prolina funciona como un indicador de tolerancia al estrés salino, (Rodríguez-Delfín *et al.*, 2014). Es muy común en monocotiledóneas. Se sabe que este puede regular de forma muy efectiva la acumulación de nitrógeno sin generar problemas de compatibilidad en el citoplasma, puede ser fácilmente convertido a glutamato. El glutamato interviene en la síntesis de otros aminoácidos esenciales. La prolina actúa como una reserva de nitrógeno y osmoregulador durante el estrés ( Martín-Sauceda, 2016).

### **3.6.3 Compartimentalización**

Las plantas necesitan transportar, compartimentalizar, extraer y movilizar los iones de  $\text{Na}^+$  como una forma de escape de los efectos de la salinidad. Los antiportes  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  vacuolar pueden secuestrar el exceso de iones de  $\text{Na}^+$  del citosol a la vacuola cuando hay un alto nivel de sal sódica en la planta (Amin *et al.*, 2016).

El transporte de Sodio es conducido por un gradiente electroquímico de protones generados por  $\text{H}^+$  vacuolares traslocado por las enzimas  $\text{H}^+/\text{ATPasa}$  y  $\text{H}^+/\text{PPasa}$ . El antiporte  $\text{NHX}$  ha sido reportado como un mediador de la absorción de  $\text{K}^+$  citosólica en presencia de  $\text{Na}^+$ , este transporte es regulado por el Calcio mediante la calmodulina como proteínas sensibles el incremento de pH en condiciones salinas. Los  $\text{NHXs}$  vacuolares han sido identificados como determinantes en la tolerancia a la salinidad en plantas (Amin *et al.*, 2016).

La  $\text{ATPasa V}$  facilita el secuestro de  $\text{Na}^+$  en los endosomas para reducir los iones citosólicos. La evidencia fisiológica indica que los antiportadores  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  son responsables del eflujo de  $\text{Na}^+$  en la vacuola y posiblemente en los endosomas. La actividad de los antiportadores se ha atribuido a la familia de transportadores catiónicos  $\text{NHX}$  que facilitan la homeostasis de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  y pH. Los antiportadores de  $\text{NHX}$  también pueden facilitar la tolerancia a la sal mediante la acumulación de  $\text{K}^+$

vacuolar necesaria para el ajuste osmótico, expansión celular, y homeostasis  $K^+$  intracelular (Hasegawa, 2013).

La afluencia de  $Na^+$  unidireccional probablemente se produce a través de diferentes sistemas de transporte, como la familia de canal de catión no selectivo (NSCC); HAK/JUP/KT y AKT1, que están implicados en la adquisición de  $K^+$  de alta afinidad, (HKT) clase 1, estas proteínas HKT1 muestra selectividad de  $Na^+$  y las de clase 2 son selectivos para  $K^+$ . El flujo de  $Na^+$  a través de la membrana plasmática se atribuye al antiportador  $Na^+/H^+$  salino excesivamente sensible1 (SOS1). SOS1 funciona en las células de raíz y brote. El  $Ca^{2+}$  externo reduce la afluencia neta intracelular de  $Na^+$  y facilita el mantenimiento del homeostasis de  $K$  y  $Na^+$ . La activación de  $Ca^{2+}$  que interacciona con la cinasa/calcineurina B(CBL/CIPK) es responsable de la fosforilación de AKT1 y la absorción de  $K^+$  que reduce el  $Na^+$ . Además  $Ca^{2+}$  induce la activación de SOS1 para facilitar el flujo de salida de  $Na^+$  al apoplasto (Hasegawa, 2013).

#### **3.6.4 Vía de Señalización de Calcio**

La vía de señalización SOS  $Ca^{2+}$  está definida por la homeostasis de  $Na^+$ . La vía SOS regula la actividad del antiportador  $Na^+/H^+$  SOS1 que facilita el flujo de salida de  $Na^+$  a través de la membrana plasmática que regula la captación neta. NaCl induce un aumento de  $Ca^{2+}$  citosólico que es decodificado por la calcineurina B y la proteína neuronal  $Ca^{2+}$  tipo sensor SOS3. El SOS3 activado por  $Ca^{2+}$  interactúa con el dominio auto inhibidor de SOS2, un miembro de la familia SnRK (serina/treonina quinasa relacionada con la sacarosa no fermentada). La unión de SOS3 al dominio inhibidor automático SOS2 activa la actividad de la cinasa y facilita la localización del complejo SOS2-SOS3 en la membrana plasmática. SOS2 luego se asocia con SOS1  $Na^+/H^+$  en la membrana plasmática, fosforilando el transportador y activando el eflujo de  $Na^+$  del citosol al apoplasto (Hasegawa, 2013).

### **3.7 SEQUÍA**

Las plantas están expuestas a diferentes condiciones de estrés en cualquier etapa de su desarrollo. En los sistemas naturales, el déficit por agua es provocado por diferentes factores como las bajas precipitaciones, la baja capacidad de retención de agua del suelo, la excesiva salinidad, temperaturas extremas frías o calientes, la baja presión de vapor atmosférica o una combinación de los factores. Por un lado, la aridez de ciertas superficies del planeta, y las superficies con periodos temporales de déficit hídrico (Martin-Sauceda, 2016).

El agua es un limitante ambiental en la producción y distribución de cultivos en todo el mundo. Una de las consecuencias del periodo intermitente de la sequía, causa una reducción significativa en el rendimiento de las tierras cultivadas, las restricciones sobre el potencial de rendimiento son motivo de gran preocupación en términos de satisfacer la demanda de alimentos con el acelerado incremento de la población (Deveci y Pitir, 2016). La escasez de agua es el principal estrés abiótico y de mayor incidencia en los sistemas agrícolas por causar grandes pérdidas económicas. Se plantea que el 85% de las tierras están sometidas a la sequía, el cual afecta a la mayoría de los cultivos agrícolas (Quintal *et al.*, 2012).

El déficit hídrico se produce en respuesta a un ambiente escaso en agua, donde la tasa de transpiración excede de la toma de agua. No solo se presenta por la poca disponibilidad de agua, sino que también ocurre en consecuencia a las temperaturas bajas y por una alta salinidad en el suelo que inducen la disminución de agua disponible del citoplasma de las células conocido también como estrés osmótico (Florido y Bao, 2014).

#### **3.7.1 Respuesta de la Planta al Déficit Hídrico**

Los cultivos son sensibles al estrés en diferentes estadios de desarrollo. La respuesta de la planta va depender del genotipo y en la etapa en la que se encuentra en el

momento del estrés y de los factores ambientales que lo provoquen. Dependiendo de la duración y severidad del estrés, la planta activa sus diferentes mecanismos de defensa a nivel molecular, fisiológico y celular. A pesar de la susceptibilidad de los cultivos hay algunas especies silvestres que son fuente de variación genética que representa una fuente para el mejoramiento de los cultivos agrícolas. Seleccionando a partir de características deseables, aunque el progreso es lento debido a los numerosos genes y la gran influencia ambiental que afecta al mejoramiento (Florido y Bao, 2014).

Las plantas responden a los diferentes ambientes a través de adaptaciones evolutivas, que les permite vivir en condiciones constantes de estrés. Las plantas que son capaces de adquirir más agua o que hacen uso eficiente de ella son las que presentan resistencia al estrés por sequía, como por ejemplo las plantas que han desarrollado un metabolismo C4 y del metabolismo del ácido de las crasuláceas o CAM, les permite habitar en ambientes más áridos (Moreno, 2009).

Un mecanismo de respuesta para el mantenimiento del consumo de agua en la célula es el ajuste osmótico. Se produce por la biosíntesis de osmolitos y acumulación de iones principalmente de  $K^+$  y  $NO_3^-$ . La acumulación de iones principalmente es en la vacuola, mientras que en el citoplasma se acumulan los solutos. Algunos de los solutos compatibles son la prolina, glicina betaina (GB) y trehalosa, que están involucradas en la tolerancia al estrés por la protección a las proteínas y estructuras de la membrana, actúan sobre el estado redox o desintoxicación de radicales libres (Florido y Bao, 2014).

### **3.7.2 Restricción en la Expansión Celular**

El cese o disminución del crecimiento celular es el proceso más sensible al estrés hídrico, en estas condiciones las células permanecen más pequeñas y las hojas tienen menor desarrollo y menor área foliar fotosintéticamente activa. El potencial hídrico de la hoja se reduce por lo que hay un menor crecimiento vegetativo y producción de

biomasa. Las hojas cambian su ángulo de inclinación, se enrollan o se recambian y se incrementa la relación del peso entre la raíz y la parte aérea (Quintal *et al.*, 2012).

El cierre de estomas es una respuesta que es regulada por el ácido abscisico, el cual se sintetiza en diferentes células de la planta, pero principalmente en las hojas maduras, tejidos estresados, semillas y ápices de la raíz, es transportado por el floema y en el xilema en ocasiones. El cierre de estomas involucra la reducción de pérdida de agua, pero también afecta la entrada del CO<sub>2</sub>, el cual está directamente relacionado con la producción de fuentes carbonadas requeridas en el crecimiento vegetativo, a bajas concentraciones de CO<sub>2</sub>, la síntesis de ATP es restringida y la concentración de NADP<sup>+</sup> es muy baja, lo cual conlleva a un exceso de energía de excitación en la fotosíntesis (Rosabal *et al.*, 2014).

Si los electrones no son disipados en la cadena de transporte y son transferidos al oxígeno se produce la reacción de Mehler, se generan especies reactivas de oxígeno. Tales como el oxígeno singulete (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>), el radical superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y el radical hidroxilo (OH<sup>•</sup>), afecta negativamente la fotosíntesis, la transpiración, acelera la senescencia y provoca un eflujo de electrolitos además de mutaciones genéticas en las plantas (Rosabal *et al.*, 2014). Estas pueden dañar las membranas, el ADN (ácido desoxirribonucleico), lípidos y contribuyen al estrés oxidativo. Dañan el centro de reacción fotoquímica del PSII causando foto inhibición (Florido y Bao, 2014).

### **3.7.3 Antioxidantes Enzimáticos de Respuesta**

La superóxido dismutasa es un antioxidante enzimático que remueve los oxidantes tóxicos, al igual que las peroxidasas y las catalasas, la deshidroascorbato reductasa, la monodeshidroascorbato reductasa y el glutatión reductasa. Por otro lado, los antioxidantes no enzimáticos pueden ser metabolitos lipofílicos como los tocoferoles, los carotenoides, los polifenoles y los alcaloides, o hidrofílicos como el glutatión ascorbato, prolina, poliamina y la cisteína que secuestra directamente las especies



reactivas al oxígeno o servir de sustratos para los sistemas de protección enzimática (Rosabal *et al.*, 2014).

La peroxidasa está implicado en varias reacciones en la planta, como la unión de polisacáridos, oxidación del ácido indol-3-acético, conexiones de monómeros, lignificación, oxidación de fenoles, defensa de patógenos, regulación de alargamiento de las células y previenen la oxidación de los lípidos (Mauad *et al.*, 2016).

La prolina es un aminoácido no proteico que se forma en los tejidos foliares de las plantas durante el estrés hídrico (Mauad *et al.*, 2016). La acumulación de prolina funciona en el mantenimiento del homeostasis, el balance redox y estado energético, además de actuar como una molécula de señalización para la modulación de las funciones de la mitocondria, influye en la proliferación o muerte celular (Rosabal *et al.*, 2014). Los brassinosteroides exógenos restaura e incluso estimula el nivel de contenido de prolina libre y un aumento de antioxidantes no enzimáticos tales como el ascorbato, carotenoides y una mayor actividad de enzimas antioxidantes tal como la catalasa, superóxido dismutasa y ascorbato peroxidasa (Todorova *et al.*, 2016).

#### **3.7.4 Precocidad**

Las plantas utilizan diferentes mecanismos con los que han evolucionado para sobrevivir en condiciones de sequía, uno de ellos es el acortamiento del ciclo de vida acelerando el tiempo de floración, reduciendo la pérdida de agua mediante el cierre estomático y aumentando el grosor de la cutícula foliar. Desarrolla un sistema radicular más profundo y grueso para explorar, acumulación de osmoprotectores, antioxidantes (Wang *et al.*, 2017).

#### **3.7.5 Respuesta de Poliaminas (PAs)**

Las poliaminas son compuestos nitrogenados orgánicos con un bajo peso molecular y una estructura alifática C3-C15. Tienen al menos dos grupos aminos primarios y uno

o más grupos aminos internos. La triamina espermidina (sdp), tetramina espermina (spm) y su precursor, la diamina putrescina (put) son las principales poliaminas entre las especies vegetales; debido a su naturaleza policationica posee propiedades antioxidantes y actividad de barrido de radicales libre que contribuye a la tolerancia de las plantas frente al estrés incluyendo la sequía (Todorova *et al.*, 2016).

El contenido de put mejora el equilibrio del agua celular mediante la regulación del potencial osmótico a través de la liberación de prolina. Put controla el nivel de ABA en respuesta a la sequía alterando su biosíntesis a nivel transcripcional. Las poliaminas conjugadas en las vesículas del tonoplasto se correlacionaron con el mantenimiento de la actividad de H<sup>+</sup>-ATPase y H<sup>+</sup>-PPase en las raíces, así como la tolerancia al estrés osmótico de la planta. La acumulación de PAs en las raíces y meristemos asume la respuesta del desarrollo ante el estrés facilitando la reiniciación del crecimiento (Todorova *et al.*, 2016).

La sequía moderada o severa incrementó la peroxidación de los lípidos, pero también elevó los niveles de prolina y PAs en las plántulas de trigo joven. Comúnmente, la acumulación de PAs (principalmente Spd y / o Spm) se asocia con una mayor tolerancia a la sequía, lo que confirma el papel de las PA en las respuestas de estrés de la planta y los mecanismos de tolerancia (Todorova *et al.*, 2016).

### **3.7.6 Desbalance Nutricional Durante el Déficit Hídrico**

Durante el estrés hídrico la absorción de N, P, K, Ca, Mg y Na se reduce el 17%, 28%, 35%, 27% y 25% respectivamente (Rodríguez-Delfín *et al.*, 2014). El estrés osmótico conduce a una disminución del contenido de proteínas en plántulas de sorgo (Todorova *et al.*, 2016).

Las proteínas chaperonas pertenecen al grupo de las proteínas de choque térmico constituyen un sistema de defensa filogenéticamente antiguo. Son de pequeño peso molecular, representa el 0.02% en proteínas de la hoja en condiciones óptimas, pero

bajo estrés su producción de eleva alrededor del 1%; estas proteínas juegan un papel importante en la síntesis de proteínas funcionales, tanto en condiciones óptimas como en el estrés. Son responsables de plegar correctamente y despliegue de proteínas transportadoras. Las chaperonas están directamente involucrados en los procesos de traducción, translocación y estabilización de la membrana (Król y Weidner, 2017).

### **3.7.7 Respuesta del Ácido Abscisico Durante el Déficit Hídrico**

Las señales de escasez de agua en el suelo son percibidas por las raíces, estas responden intensificando la síntesis de ácido abscisico (ABA), que posteriormente se transporta a través del xilema y floema hacia los órganos aéreos de la planta. En las hojas el ABA induce la expresión de genes en la vía dependiente de ABA. Además de una alta concentración de ROS e iones de calcio. También se sintetizan proteínas de estrés para la protección de los ácidos nucleicos, membranas celulares y otras proteínas de degradación (Król y Weidner, 2017).

El incremento de ABA en las hojas se debe principalmente a la compartimentalización y redistribución a los cloroplastos de las células del mesofilo. La síntesis y transporte desde las raíces, siendo liberado al apoplasto para llegar a las células guardas por la corriente de transpiración causando el cierre estomático (Florido y Bao, 2014). Provoca la pérdida de iones de  $K^+$  desde 100 mM hasta 400-800 mM, y de aniones de  $Cl^-$  o malato en las células guarda (Moreno, 2009).

El ABA es sintetizado a partir de su precursor carotenoide C40 por la vía 2-C-metil-de-eritritol-4-fosfato (MEP), 9-cis-epoxicarotenoide dioxigenasa (NCED) es la primera enzima directamente relacionada con su síntesis, se localiza en los plastidios y rompe un precursor epoxicarotenoide para formar xantosina (C15) y un metabolito (C25). La forma biológicamente activa de ABA es sintetizado a partir de cis-xantosina por dos pasos enzimáticos vía aldehído abscisico y catalizado por AtABA2. La oxidación de aldehído abscisico a ácido carboxílico es el último paso en la biosíntesis de ABA y es

catalizado por una abscisico aldehído oxidasa (AAO), el cual requiere un cofactor aldehído oxidasa (MoCo) para su actividad catalítica (Florido y Bao, 2014).

La expresión inducida de esta hormona depende de la presencia de elementos que actúan en cis, ABRE (Chávez, Álvarez y Ramírez, 2012) a los cuales se une los factores de transcripción característicos de las plantas que contienen un homeodominio bZIP (leucine-ziper o cremallera de leucina), son proteínas que unen los elementos de respuesta a ABA (ABRE) o factores ABRE (ABA response element binding factor, ABF) (Florido y Bao, 2014).

### **3.7.8 Genes de Respuesta al Déficit Hídrico**

Se ha demostrado que después de la percepción del estrés, las plantas desencadenan señales de transducción, activando genes de respuesta al estrés lo que finalmente lleva a los cambios a nivel fisiológico y bioquímicos (Florido y Bao, 2014). La expresión de varios genes reguladores como *RBOH*, *MAPK1*, *MAPK3* y otros genes implicados en la defensa (Todorova *et al.*, 2016).

En plantas de tomate bajo estrés hídrico la expresión de varios genes transportadores de azúcar tales como *LeSUT1*, *LeSUT2* y *LeSUT4* se inhibe. Las plantas regularmente usan azúcares para reducir el potencial osmótico en hojas evitando la deshidratación en condiciones de estrés, afectando finalmente el desarrollo de la fruta (Florido y Bao, 2014).

Otro mecanismo de protección es la regulación del movimiento del agua a nivel intracelular y a través de los tejidos y órganos de la planta, donde interviene las proteínas intrínsecas de la membrana (MIP). Estas constituyen canales de agua que facilitan el transporte activo y pasivo de agua y solutos a través de las membranas (Florido y Bao, 2014).

Las acuaporinas (AQP), están principalmente involucradas en el mantenimiento de la homeostasis del agua celular. Principalmente los PIP (Proteínas intrínsecas de la membrana plasmática) y TIP (proteínas intrínsecas del tonoplasto) localizados en la membrana plasmática y la membrana vacuolar respectivamente, están involucrados en el transporte del agua. Bajo el déficit de agua, hay un aumento en el nivel de transcripción de las AQP, resultando en una membrana permeable que facilita el transporte de agua, aunque otros sugieren que las plantas disminuyen la permeabilidad de la membrana para evitar la pérdida excesiva de agua mediante la regulación negativa de algunos AQP. La diferencia de respuesta en la regulación de AQP, sugiere que hay isoformas que contribuyen de manera diferente en el transporte de agua durante el estrés (Zargar *et al.*, 2017).

El déficit de agua, es detectado primeramente por las raíces. Se induce la síntesis de ABA como una respuesta de la deshidratación de las raíces lo que conduce a una regulación negativa de algunas isoformas de PIP y TIP presentes en el parénquima del xilema, disminuyendo la permeabilidad al agua en esas células. Esto a su vez reduce el flujo de agua a las hojas, reduce el potencial hídrico de la hoja, seguido de la conductancia hidráulica y la conductancia estomática. El ABA también se transporta de las raíces a las hojas, donde desencadena la expresión de genes de síntesis de ABA y aumenta el contenido de ABA en las hojas (Zargar *et al.*, 2017).

Por lo tanto, el ABA promueve el cierre estomático de una manera dual a través del efecto bioquímico en las células guarda y el efecto hidráulico indirecto a través de una disminución en la permeabilidad al agua dentro del tejido vascular foliar. Además, la señalización ABA en la célula protectora induce OST1, estomas abiertos 1 (OST1) / Snf1 relacionada con una proteína cinasa 2.6 (SnRK2.6), una proteína cinasa, para fosforilar un péptido citosólico PIP2;1 en Ser-121 que a su vez aumenta la permeabilidad de las células guardias al agua y posiblemente el peróxido de hidrógeno que desencadena el cierre estomático. La tasa de transpiración reducida conlleva a una regulación negativa de las AQP y reduce la permeabilidad del agua en la zona radicular (Zargar *et al.*, 2017).

### **3.8 CONTENIDO RELATIVO DE AGUA**

El contenido relativo de agua (CRA) se considera un parámetro integrado en los componentes aéreos y subterráneos que confiere a la planta la capacidad de tolerar el déficit hídrico. El contenido relativo de agua es un indicativo de la desecación en cultivos. En condiciones de estrés hídrico, la capacidad de la planta de mantener un CRA es un factor determinante en la producción y podría definir la sobrevivencia de las plantas jóvenes (Villalobos *et al.*, 1990).

Cuando el contenido relativo de agua es superior al 70% las capacidades máximas fotosintéticas no se afectan y se rehidratan las plantas recuperándose rápidamente del efecto de inhibición de la fotosíntesis. Cuando el contenido relativo de agua es menor a 70% hay menos actividad fotosintética con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (Rosabal *et al.*, 2014).

Normalmente en las plantas resistentes a sequias se evalúan rasgos morfológicos tales como la laminación de hojas, densidad y apertura estomática, rasgos fisiológicos como el contenido de cera cuticular y el contenido de ácido abscisico (ABA), el contenido relativo de agua, el potencial hídrico y la temperatura del dosel. El ajuste osmótico y el contenido de prolina se consideran como indicadores de tolerancia a sequia (Wang *et al.*, 2017).

### **3.9 MATERIA SECA**

El porcentaje de materia seca (MS) es uno de los parámetros que presenta mayor variabilidad, en algunos alimentos usados para animales de producción, esta variación es alta, los verdes de invierno y las pasturas pueden tener de hasta 12% de MS muy bajo, mientras que granos y henos tienen porcentajes cerca al 90%. El método tradicional para obtener el porcentaje de MS se realiza mediante el uso de estufas de circulación forzada a 65°C durante un lapso que varía entre las 24 a 72 horas

dependiendo del tipo de muestra. Donde se calcula el porcentaje de MS por diferencia de peso antes y después del secado (Petruzzi *et al.*, 2005).

Los alimentos contienen agua en diversas formas, el agua es absorbida por macromoléculas y retenida fuertemente, o se encuentra en combinación con carbohidratos, polisacáridos y diversas sales. La eliminación del agua libre por medio del calor es el método más usado para determinar la materia seca, sometiendo a las muestras a temperaturas que aseguran un secado rápido. Usualmente se recomienda 70°C en estufa de aire forzado de esta manera se puede evitar pérdidas de carbohidratos solubles y la formación de productos indigestibles proteína-carbohidratos (De la Roza-Delgado, Martínez y Argamenteria, 2002).

### **3.10 SILICIO EN EL SUELO**

El silicio está presente en el suelo como una molécula monomérica no cargada, ácido silícico a pH menor de 9. A pH superior de 9 se disocia a ion silicato. La solubilidad del ácido silícico en agua es 2 mM a 25°C se polimeriza cuando excede de esta concentración. El silicio se libera lentamente en pequeñas cantidades a través de la acidificación de los silicatos por medio del ácido carbónico producido por la respiración de los microorganismos del suelo y las larvas, también se acidifican con los ácidos orgánicos débiles y enzimas producidas por las raíces de las plantas (Pinedo, 2011).

El silicio también es requerido por los microorganismos del suelo y representan una medida importante de la fertilización del mismo. Sin embargo, se calcula que aproximadamente 210 – 224 millones de toneladas de silicio disponible para las plantas se renueven del suelo cada año con la cosecha de los cultivos y/o sus sistemas de raíces. Esto tiene resultados extremadamente negativos en la fertilidad del suelo, la erosión y la nutrición (Pinedo, 2011).

El ácido polisilícico, compuestos organosilícicos y ácido monosilícico ( $H_4SiO_4$ ) son las formas disponibles en el suelo, la mayor parte no disociada, es decir, la que está

disponible para la asimilación en las plantas (Castellanos *et al.*, 2015). Las concentraciones de ácido monosilícico oscilan entre 0.1 y 0.6 mM (Ma, 2004).

### 3.11 SILICIO EN LOS ORGANISMOS

El cuarzo se intemperiza lentamente formando ácido silícico disponible para la biota. Las esponjas *Tethaya aurantia* constituyen el 75% de Silicio de su peso seco, estos organismos depositan la sílice en espículas que le dan soporte y la defiende de los depredadores. Las diatomeas son organismos unicelulares que forman parte del ciclo biogeoquímico del silicio, toman el ácido silícico disuelto en el agua y lo precipitan en forma de sílice opalina para la formación de sus frustulas que las mantienen protegidas del exterior; el ácido silícico es tomado por transportadores específicos y polimerizado intracelularmente en vesículas especializadas dentro de una matriz orgánica que consiste de largas cadenas de poliamina y fosfoproteínas, llamadas silafininas. Otros organismos que requieren el silicio para la formación de conchas opalinas como son los protistas marinos, radiolarios (Raya y Aguirre, 2012).

Especies vegetales, diatomeas y esponjas son capaces de acumular, almacenar y procesar Si para crear un patrón elaborado de biosílicas. La producción de sílice por los organismos se forma a presión atmosférica y temperaturas que van desde 4 a 40°C en una fase acuosa de solución de sílice saturada. El material implicado en la polimerización de sílice que contiene grupos OH y las reacciones ambientales pueden diferir en diferentes especies debido a la solubilidad, composición, dureza, viscosidad y densidad (Sahebi *et al.*, 2015).

Los grupos funcionales de todos los residuos de aminoácidos en la estructura de la proteína son accesibles a la sílice y tienen un papel clave en la determinación de la estructura física y la naturaleza de las sustancias que se forman durante las etapas de maduración. Los péptidos y aminoácidos son eficaces en la creación de especies polisilícicas a través de interacciones con diferentes especies de silicato en la solución. El proceso de oxalación da como resultado la polimerización de Si mediante la



concentración de unidades de silanol y la liberación de moléculas de H<sub>2</sub>O en donde las especies de silicato (OH)<sub>4</sub> neutros y cargas negativas SiO(OH)<sub>3</sub> están estrechamente ligadas (Sahebi *et al.*, 2015).

El silicio como ácido ortosilícico se asume que está disponible únicamente como líquido en agua para beber y la cerveza, su disponibilidad es limitado en alimentos en los cuales existe como un polímero debido a las reacciones de condensación entre monómeros del ácido ortosilícico. El agua natural contiene de 0.8 a 44 mg de Si/L y a diferencia de la sílice cristalina (cuarzo) no se le ha asociado con efectos tóxicos (Raya y Aguirre, 2012).

### **3.12 SILICIO EN LAS PLANTAS**

Los nutrientes minerales pueden influir en los complejos nutricionales y estructurales de las plantas como consecuencia de los efectos sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos, como la fotosíntesis y la translocación de foto asimilados (Marodin *et al.*, 2016).

La cantidad de silicio en las plantas son equivalentes a los macronutrientes como Ca, Mg y P (Aguirre *et al.*, 2007). Su presencia en los vegetales es ubicua y dada la abundancia es difícil eliminarlo de los substratos donde crecen las plantas, incluso en cultivos de hidroponía su presencia como ácido silícico es posible por la molécula no cargada, pasa a través de los intercambiadores iónicos usados en la purificación de agua de grado laboratorio, además de que puede desprenderse de utensilios a base de vidrio (Aguirre *et al.*, 2007). El ácido monosilícico o ácido ortosilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) son las formas en que la planta puede absorber el silicio (Sahebi *et al.*, 2015).

Anteriormente el silicio no se consideraba como un elemento esencial dentro de los nutrientes de la planta. Sin embargo, un elemento es esencial sí, es parte de una molécula que es un componente intrínseco de la estructura o metabolismo de la planta, y si, la planta puede ser tan severamente deficiente en el elemento que presenta

anormalidades en el crecimiento, desarrollo o reproducción, es decir, "rendimiento", en comparación con las plantas con una deficiencia menor. De acuerdo con esta nueva definición, el Si es un elemento esencial para las plantas superiores debido a que su deficiencia causa diversas anomalías en la planta (Ma, 2004).

Parece que la habilidad de acumular silicio en las plantas se ha mantenido durante la evolución como un bien para sobrevivir, proteger los tejidos reproductivos, fortalece las estructuras y proporciona los mecanismos naturales de defensa contra el ataque de enfermedades e insectos (Pinedo, 2011).

### **3.12.1 Movimiento de Silicio en las Plantas**

El ácido monosilícico absorbido por las plantas, se transporta hacia los nuevos brotes, concentrándose debido a la pérdida de agua y polimerizándose primero a sílice coloidal y posteriormente a gel sílica al incrementar la concentración (Sánchez, 2015).

Las especies de la familia de *Poaceae*, *Equisetaceae* y *Cyperaceae* pueden acumular más del 4 % de silicio en peso seco. El arroz especialmente llega a acumular hasta el 10% en materia seca. La caña de azúcar puede extraer hasta 380 kg ha<sup>-1</sup> de silicio al año del suelo (Castellanos *et al.*, 2015). Las plantas llamadas cola de caballo (*Equisetum*) llegan a contener hasta un 4% de silicio, en el caso del té de limón (*Cymbopogon citratus*) se tiene valores de 3.8 % y para el bambú se ha registrado valores de hasta 5% de silicio con base en peso seco, plantas de interés agrícola que presentan una buena acumulación de silicio, sin alcanzar los niveles del arroz, son el jitomate (*Solanum lycopersicum*), calabaza (*Cucurbita* sp.), amaranto (*Amaranthus* sp.), frijol (*Phaseolus vulgaris*), trigo (*Triticum aestivum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), avena (*Avena sativa*), girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*Zea mays*) (Raya y Aguirre, 2012). El contenido de Si en la cubierta de grano de arroz llega a ser tan alto como 7% Si y el grano de cebada es de 1,5% (Vilela *et al.*, 2014).

Se sabe que el Si se acumula en concentraciones de hasta 4% en la paja de trigo, lo que es comparable a los macronutrientes esenciales de las plantas (Neu *et al.*, 2016). La planta de maracuyá se ha reportado como un acumulador intermedio de silicio en las raíces mientras que hojas y tallo no son acumuladores, en relaciones de más del 1 % de silicio acumulado se consideran plantas acumuladoras, mientras que de 0.5 a 1 % son acumuladores intermedios y menos de 0.5% no son acumuladores (Costa *et al.*, 2016).

Después de que el ácido monosilícico se carga en el xilema, es rápidamente trasladado a las hojas con la corriente de transpiración y se polimeriza en las hojas, en los apoplasto al concentrarse, apoyando el hecho de que la concentración de ácido monosilícico en las hojas es de <3 mM y > 90% del Si total está presente en forma de sílice. Al perder agua el gel de sílice depositado alrededor y externamente a la apertura de las estomas, se cristaliza como sílice y retrasa el índice de transpiración. En los tejidos epidérmicos forma una capa de membrana de celulosa-Si cuando hay presencia de iones de Ca y pectina. En gramíneas está presente en forma de cuerpos silicosos principalmente en células epidérmicas, estomas y tricomas foliares. La silificación también se puede dar en raíces, brotes, hojas, tallos y parte de la inflorescencia. En arroz la capa de sílice que se forma es de 2,5  $\mu\text{M}$  (Sahebi *et al.*, 2015).

La membrana de silicio-celulosa en el tejido epidérmico de las hojas evita la pérdida excesiva de agua por transpiración a través de la reducción del diámetro de los poros estomáticos. Sobre la fisiología de las plantas, el silicio actúa como protector y regulador de la fotosíntesis y otras actividades enzimáticas (Quero, 2008).

Dentro del tejido fotosintéticamente activo de trigo la precipitación de Si ocurre a niveles menores de 10 g pot<sup>-1</sup>, mientras que en niveles altos 50 g pot<sup>-1</sup> se producen fitolitos localizados en los tricomas desarrollados fuertemente, debido a la formación de tricomas fortificados impulsa la protección de planta contra los mamíferos, herbívoros, así como la forma de mascar y chupar de los insectos (Neu *et al.*, 2016).

El rol del silicio en las paredes celulares parece ser análogo a la lignina como un elemento de resistencia y mayor rigidez para la sustitución del agua entre las microfibrillas y otros componentes carbohidratos en las paredes de las células no lignificadas (Castellanos *et al.*, 2015). Incrementa el grosor de la pared celular y el tamaño de los haces vasculares, de esta manera la resistencia del vástago, ayuda a soportar los fuertes vientos (Sahebi *et al.*, 2015). La caña de azúcar responde bien a la fertilización con silicio por ser un cultivo acumulador, puede aumentar la longitud y el diámetro del tallo, número de tallos y, en última instancia, la productividad (Vilela *et al.*, 2014). La corteza de la fruta tiende a ser más gruesa, pierde la humedad más lentamente, resistiendo mejor el daño mecánico y la infección (Epstein, 1999).

La inducción de la resistencia adquirida sistémica (SAR) en el pepino, se mejoró por la expresión de un gen que codifica una nueva proteína rica en prolina. Esta proteína tiene secuencias repetitivas C-terminales que contienen una cantidad inusualmente alta de lisina y arginina. El péptido sintético derivado de las secuencias repetitivas fue capaz de polimerizar el ácido ortosilícico a sílice insoluble, que se sabe que está implicado en el refuerzo de la pared celular, en el sitio del intento de penetración de hongos en células epidérmicas. Este estudio proporcionó una base bioquímica y molecular de que el Si aumentó la resistencia a las enfermedades (Ma, 2004).

### **3.13 INTERACCIÓN DE SILICIO CON OTROS ELEMENTOS**

El silicio tiene una gran interacción con el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) promoviendo así su movilización más rápida. El ácido silícico formado como silicato de potasio capta y regula los balances de minerales en las plantas. Por tanto, el calcio y silicio son parte fundamental e inseparables de la estructura celular y de la función metabólica de las plantas (Quero, 2008).

La presencia de silicio en las plantas, hace que las hojas y tallos incrementen la cantidad de oxígeno que expulsan las plantas hacia la raíz llegando al parénquima, oxidando

de esta manera la rizosfera (zona aledaña a la raíz), logrando que el Fe y Mn reducido (forma en que lo toma la planta) se oxide, evitando una excesiva toma de estos elementos que pueden llegar a ser tóxicos para la planta (Quero, 2008).

En algunas plantas, altera la distribución subcelular de los metales aumentando la unión de estos a las paredes de las células para disminuir de ese modo la toxicidad, mientras que otros sugieren que estimula los sistemas antioxidantes y la reducción de la peroxidación lipídica de la membrana bajo estrés por metales pesados (Zhang *et al.*, 2015).

### **Manganeso**

Aunque el silicio no puede afectar todo el Mn en las hojas, particularmente en cebada es capaz de distribuirlo uniformemente a través de toda la hoja y no permite que este se concentre en manchas necróticas. El silicio reduce la concentración apoplástico de Mn soluble en la pared celular y desintoxica el apoplasto, oxidando el Mn a través de una relación con sustancias fenólicas y activando las actividades enzimáticas y no enzimáticas de los antioxidantes (Sahebi *et al.*, 2015).

### **Cadmio**

La deposición del silicio alrededor de la endodermis proporciona un potencial para controlar físicamente el transporte apoplástico del Cd obstruyendo el flujo en la raíz. Se ha sugerido que el silicio es capaz de unirse covalentemente con metales y forma un compuesto de silicatos inestables, que posteriormente suprime la toxicidad de los metales degradándolos fácilmente a dióxido de silicio. La actividad extracelular de silicio es limitado a la penetración de los metales pesados en el citoplasma dependiendo de su concentración, mientras que el secuestro de metales pesados en vacuolas es una actividad intercelular que ocurre en el citoplasma (Sahebi *et al.*, 2015).

*Cardaminopsis halleri* tolerante a los metales pesados, cultivado en suelo contaminado con Zn y Cd, el Zn coexistió con Si en el citoplasma. El silicato de Zn es un compuesto de almacenamiento transitorio para el metal y sufre un grado lento de degradación a  $\text{SiO}_2 \cdot \text{Zn}$  es entonces trasladado a las vacuolas y acumulado en una forma desconocida. La formación de silicato de Zn es parte del mecanismo de tolerancia de metales pesados y puede ser responsable del alivio de la toxicidad de Zn en *Cardaminopsis* (Ma, 2004).

## **Aluminio**

El efecto de reducción de aluminio es más pronunciado más en *Zea mays* (Teocintle L. spp. Mexicana), cebada (*Hordeum vulgare* L.), soya (*Glycine max* L. Merr) y sorgo (*Sorghum bicolor*). En maíz el silicio suprime la toxicidad de aluminio a través del metabolismo del compuesto fenólico, la producción de catequina, quercetina y otros flavonoides-fenólicos que aumenta la tolerancia de este metal en las plantas (Sahebi *et al.*, 2015).

## **Fósforo**

El P es controlado por otros metales especialmente los tóxicos en exceso, Mn y Fe. El Si, mejora indirectamente la accesibilidad del P disminuyendo la disponibilidad de Fe y Mn en las plantas, y por otra parte el exceso del mismo fosfato puede ser afectado por el silicio suprimiendo los efectos negativos al disminuir la absorción excesiva, actuando en las células de la endodermis de la raíz como una barrera apoplástica (Sahebi *et al.*, 2015).

### **3.14 SILICIO EN EL ESTRÉS BIÓTICO**

La resistencia a plagas puede ser disminuida o aumentada por el efecto de la nutrición mineral sobre las estructuras anatómicas como por ejemplo células epidérmicas y cutículas más finas, pared celular con menor grado de silificación, suberización y

lignificación. La nutrición puede afectar las propiedades bioquímicas como la reducción de compuestos fenólicos que actúan como inhibidores en el desarrollo de plagas o la acumulación de compuestos orgánicos como la glucosa, sacarosa y aminoácidos resultado de la actividad de enzimas descomponedores como amilasa, celulasa, proteasas y carbohidrasas que comúnmente se presenta por deficiencia de K (Castellanos *et al.*, 2015).

En varias especies de plantas se ha demostrado los efectos del silicio en aumentar la resistencia al ataque de insectos y patógenos. El incremento de resistencia al ataque de insectos por efecto del silicio se ha atribuido a la polimerización en las paredes celulares, lo cual constituye una barrera mecánica, sin embargo, se ha demostrado que el tratamiento a plantas con silicio trae consigo cambios bioquímicos como la acumulación de compuestos fenólicos, lignina, fitoalexinas y taninos (Castellanos *et al.*, 2015).

En especies como la calabaza (*Cucurbita sp.*), la avena (*Avena sativa* L.) y el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) se ha encontrado un aumento de síntesis de enzimas peroxidasa, polifenoloxidasa, glucanasa, quitinasas y fenilalanina amonio liasa; las cuales están relacionadas con el incremento de la producción de quinonas que tienen propiedades antibióticas, favorecen la lignificación, disminución de calidad nutricional y digestibilidad en la preferencia de los insectos a las plantas. Las larvas y pupas incrementan su mortalidad, las mandíbulas tienen un desgaste marcado cuando entra en contacto con hojas de alto contenido de silicio (Castellanos *et al.*, 2015).

Las fuentes de silicio más utilizadas para el manejo de insectos y plagas son la escoria de silicato de calcio y el silicato de potasio (Castellanos *et al.*, 2015). En los cultivos que fueron tratados con silicio la infestación de *Diatraea saccharalis* inducida disminuyó el número de orugas y pupas, al igual que el número de agujeros de entrada de barrenador en los tallos de las plantas se redujo, atribuyendo este efecto a la barrera mecánica contra la penetración de larvas (Vilela *et al.*, 2014). Se indujo un aumento de acumulación de silicio en las hojas, la microscopia electrónica de barrido de las

superficies foliares revelo pequeños cristales que cubren parcialmente las estomas de las hojas de las plantas tratadas con silicio, a comparación de las no tratadas en donde no se observó ningún cristal (Vilela *et al.*, 2014).

### **3.15 SILICIO Y ESTRÉS ABIOTICO**

En déficit hídrico, la aplicación de silicio induce menores concentraciones de prolina, podría estar asociado con el aumento de las defensas antioxidantes, una reducción en el daño oxidativo a las moléculas funcionales y las membranas y el mantenimiento de muchos factores fisiológicos como los procesos fotosintéticos (Mauad *et al.*, 2016). En especies como el garbanzo (*Cicer arietinum*), girasol (*Helianthus annuus L.*) y arroz disminuyó las concentraciones de prolina, peróxido de hidrogeno foliar y peroxidación lipídica y un alivio significativo del daño en la membrana aumentando el contenido relativo de agua de las hojas (Mauad *et al.*, 2016).

El aumento significativo en la captación de  $K^+$  y una disminución de  $Na^+$  en presencia de silicio conduce a un aumento de las actividades de las PPase (pirofosfatasas) y la ATPasa en las vacuolas. La separación de los iones sal en las vacuolas y el aumento de la relación  $K^+/Na^+$  en las células de las raíces y las hojas disminuyen la toxicidad de  $Na^+$  (Sahebi *et al.*, 2015). En cultivos de trigo la unión de Si soluble con  $Na^+$  en las raíces, retardo su movimiento a las partes aéreas de la planta, lo que redujo significativamente el contenido de  $Na^+$  en hojas de bandera y raíces (Anser *et al.*, 2012).

El silicio reduce el daño oxidativo inducido por la salinidad, a través de las actividades de guayacol peroxidasa, ascorbato peroxidasa, superóxido dismutasa, deshidroascorbato reductasa y glutatión reductasa. Aumenta el contenido de proteínas solubles en las hojas permitiendo a las plantas superar el estrés, sustituyendo la pérdida de proteínas solubles cuando estuvo en estrés salino (Sahebi *et al.*, 2015). La formación de complejos Si-polifenol o la sustitución de lignina provoca cambios físicos en la pared celular de las plantas, facilitando el proceso de aflojamiento



y promoviendo la extensión celular, y como resultado el crecimiento de las plantas bajo estrés salino (Sahebi *et al.*, 2015).

Los cultivares de trigo cultivados en campo salino y no salino, fertilizado con 150 mg kg<sup>-1</sup> de silicio redujo significativamente la concentración de Na<sup>+</sup> en la paja de trigo en ambos sitios, se incrementó el contenido silicio y potasio en ambos sitios, ello indica que los campos fertilizados con silicato de calcio, mejoro el rendimiento biológico, es decir la contribución mutua de componentes de rendimiento; número de granos por espiga y el peso del grano aumento tanto en campos salinos como en no salinos, corroborando que el silicio depositado en las plantas ayudo a mantener una absorción equilibrada y eficiente y la translocación de elementos minerales necesarios para un mejor crecimiento (Anser *et al.*, 2012).

### **3.16 CALIDAD DE FRUTO**

El contenido de solidos solubles en frutos de tomate aumento a un valor máximo de 5.08° Brix cuando se le aplico 600 kg/ha de silicio; puede estar asociada con la eficiencia fotosintética donde se derivan los azucares producidos en las hojas, se traslocan a lo frutos. La vitamina C fue influenciada positivamente al incrementarse de un cultivar control con 13,97 mg/100 g a 21,34 mg/100 g en la dosis estimada de 498 kg/ha de Si, al igual que el contenido de licopeno se ve favorecido mostrando un contenido de 30,13 µg/g, con una dosis equivalente a 491 kg/ha de silicato de calcio y sodio (Marodin *et al.*, 2016).

De la misma forma la fuente de silicato de sodio produjo frutos con valores más altos en firmeza en fruta madura de 10,6 N, correspondiente a una dosis de silicato sódico equivalente a 561 kg / ha, el factor responsable de la mayor firmeza de las frutas es el engrosamiento de las células epidérmicas al mayor grado de silificación, este factor es importante en la reducción de frutos agrietados, lo cual se clasifica como no comercial, ya que la firmeza de la fruta es considera una característica esencial para

la conservación postcosecha durante el transporte y comercialización, está estrechamente relacionada con la vida útil de la fruta (Marodin *et al.*, 2016).

### **3.17 TRANSPORTADORES DE SILICIO**

La absorción de silicio por las plantas es muy variable dependiendo de la especie, en tres especies diferentes arroz (*Oryza sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y pepino (*Cucumis sativus*), el transporte de la solución exterior a la célula cortical es controlado por un transportador particular (Sahebi *et al.*, 2015).

#### **3.17.1 Lsi1 Transportador de Afluencia**

Lsi1 pertenece a un Nod26-como la principal proteína intrínseca (NIP) subfamilia de las acuaporinas. El ADN complementario de *Lsi1* es de 1409 pb, y la proteína deducida es de 298 aminoácidos. La secuencia de aminoácidos predicha tiene seis dominios transmembrana y dos motivos Asn-Pro-Ala (NPA), que se conserva bien en acuaporinas. La expresión de *Lsi1* es mucho menor en la región de la punta de la raíz entre 0-10 mm que en las regiones basales de la raíz (> 10 mm), al igual que la captación de silicio en la región de la punta de la raíz 0-10 mm es menor que en las regiones basales (>10 mm de la punta de las raíces). Por lo tanto, el sitio de absorción de Si se encuentra en las regiones maduras de las raíces y no en la punta, incluyendo las raíces seminales, laterales y la corona. La proteína de *Lsi1* se localiza en la membrana plasmática tanto de la exodermis como de la endodermis, donde las bandas de caspari impide el transporte apoplástico en la estela de la raíz. Además, *Lsi1* muestra la localización polar en el lado distal de ambas células exodermis y endodermis (Feng *et al.*, 2007).

#### **3.17.2 Homólogos de Lsi1**

En otras especies, cebada (HvLsi1), maíz (ZmLsi1) y calabaza (CmLsi1) se han identificado los homólogos de Lsi1, el cual pertenece al arroz (OsLsi1). Sin embargo

los homólogos en maíz y cebada difieren de la localización, estas se encuentran en las células epidérmicas, hipodérmicas y corticales (Feng *et al.*, 2007).

CmLsi1 se localiza en toda la raíz. Las secuencias de aminoácidos predichas de CmLsi1 comparten un 58% de identidad con el OsLsi1. El transportador contiene dos motivos típicos asparagina-prolina-alanina (NPA) bien conservados en la mayoría de las acuaporinas, perteneciente al subgrupo de proteínas intrínsecas (NIP) nodulina-26. Se localiza en el lado distal de la membrana plasmática tanto de la exodermis como de la endodermis (Mitani *et al.*, 2011). ZmLsi1 se expresa altamente en las raíces laterales y ligeramente en las raíces de la corona (Sahebi *et al.*, 2015).

La secuencia de aminoácidos predicha de HvLsi1 indica que es una proteína de membrana similar a OsLsi1, con un 81.8% de identidad. Tiene seis dominios transmembranales y dos motivos conservados Asn-Pro-Ala (NPA), conserva cuatro residuos que forman un filtro de selectividad aromático/arginina (ar/R) que se piensa son importantes para el transporte de silicio. Los mRNA de HvLsi1 se expresan específicamente en las raíces en las zonas basales de 15-30 cm. Se localiza en las células epidérmicas y en todas las células corticales de las raíces seminales y en células hipodérmicas en las raíces laterales, la localización de lado distal de las células indica que es un transportador de afluencia (Chiba *et al.*, 2009).

### **3.17.3 Lsi2 Transportador de Eflujo**

Lsi2 es un transportador de eflujo en arroz, el supuesto es que pertenece a un transportador de aniones. El patrón de expresión y localización es similar a Lsi1 pero en el lado proximal de las células de exodermis y endodermis, este transportador es impulsado por un gradiente de protones (Ma, Yamaji y Mitani-Ueno, 2007).

Los homólogos se han identificado también en cebada y maíz. pero difieren en la localización de ZmLsi2 y HvLsi2 ya que estos sólo se localizan en la endodermis de las raíces sin ninguna polaridad. Las secuencias de aminoácidos predichas de ZmLsi2

y HvLsi2 consisten en 477 y 474 aminoácidos. Ambos comparten 86% de identidad con el LSi2 y también son transportadores putativos de aniones con 11 dominios transmembranales (Mitani *et al.*, 2009).

#### **3.17.4 Mecanismo de Transporte de Silicio**

El silicio es tomado de la solución externa es decir del suelo, por HvLsi1 /ZmLsi1 en diferentes células, desde las células epidérmicas, hipodérmicas y corticales, después de ser introducido en las células de la raíz es transportado a la endodermis por vía simplástica y liberado a la estela por HvLsi2 / ZmLsi2 (Ma, Yamaji y Mitoni-Ueno, 2011). Mientras en arroz, es absorbido en las células exodérmicas por OsLsi1 y es liberado por OsLsi2 al apoplasto y luego transportado a la estela por OsLsi1 y OsLsi2 de nuevo en las células endodérmicas (Ma, Yamaji y Mitoni-Ueno, 2011).

La diferencia en la vía de transferencia de silicio en arroz con respecto a las vías de transporte en maíz, cebada y calabaza se puede atribuir a la estructura de la raíz, la estructura radicular del arroz posee dos bandas de caspari uno en la exodermis y otro en la endodermis, mientras que en maíz y cebada generalmente tiene una sola banda de caspari. Además, posee un aerenquima altamente desarrollado, en el que la mayoría del córtex entre el exodermis y la endodermis son destruidos. Entonces, el silicio en las células de la exodermis es transportado por OsLsi1, y es liberado por OsLsi2 en el apoplasto a través del aerenquima. La polaridad que desencadena el modo de localización de estos transportadores en arroz, son razones que influyen en las capacidades de las plantas en la captación de silicio (Ma, Yamaji and Mitani-Ueno, 2011).

#### **3.17.5 LSi6**

Aproximadamente el 90% de silicio absorbido en las raíces es traslocado a los brotes, en el caso de arroz. La concentración de silicio en la savia se estima que puede ser de 20 mM el cual se encuentra como ácido monosilícico. El responsable de exportar el

ácido silícico desde el xilema a las células foliares es *Lsi6*, fue aislado como responsable de este proceso (Feng *et al.*, 2007).

*Lsi6* es similar a *Lsi1* y *Lsi2* y consta de cinco exones y cuatro intrones con un marco de lectura abierta de 894 pb (ORF). Al igual que *Lsi1*, *Lsi6* codifica una proteína de 298 aminoácidos. La proteína predicha de *Lsi1* y *Lsi6* consta de dos dominios NPA bien conservados (Asn-Pro-Ala) y cuatro dominios transmembranales (Sahebi *et al.*, 2015). El knockout de *Lsi6* no afecta la absorción de Si por las raíces, pero afecta al patrón de deposición de sílice en las hojas y vainas (Yamaji y Feng, 2009).

*Lsi6* se expresan en las hojas y vainas foliares. Se localiza en el lado adaxial de las células del parénquima del xilema con una polaridad mirando hacia los vasos. Estas células están situadas en la región límite externa de los haces vasculares agrandados y se caracterizan por una gran superficie debido al crecimiento interno de la pared celular (Ma, Yamaji y Mitani-Ueno, 2011). La expresión de *Lsi6* en las células de transferencia de xilema sugiere que *Lsi6* es responsable de la transferencia intravascular de silicio en los grandes haces vasculares difusos en una vía simplástica, de descarga de ácido silícico de la corriente transpiracional. También se encontró expresión en las regiones inmaduras de la raíz de 0-20 mm de la punta que contiene el meristemo apical y la zona de alargamiento (Yamaji y Feng, 2009).

Se ha especulado que las proteínas ricas en serina, prolina, y otros polisacáridos están involucrados en la acumulación de Si. El gen de la proteína rica en serina se aisló de las raíces de los manglares (*Rhizophora apiculata*) posiblemente es responsable de la absorción y acumulación de Si en las plantas. El análisis computacional del ADNc (ADN complementaria) clonado y aislado de raíces de manzano tratadas con diferentes concentraciones de Si en diferentes períodos de tiempo a través de la hibridación sustractiva por supresión (SSH) indicó que el gen de la proteína rica en serina tiene una región codificadora de 696 pb para una proteína de 223 aminoácidos y es más probable que participen en la absorción de Si y el transporte en las raíces de las plantas (Sahebi *et al.*, 2015).

## **IV. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

La presente investigación se realizó en el periodo comprendido de agosto 2016 a Julio de 2018, en el invernadero y en los laboratorios del Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) del Instituto Tecnológico de Roque (ITR), ubicado en la Carretera Celaya - Juventino Rosas Km.8, Celaya, Gto., con una ubicación geográfica entre los paralelos 20° 42´ y 20° 21´ de latitud Norte; los meridianos 100° 38´ y 100° 56´ de longitud Oeste; altitud entre 1700 y 2700 msnm.

El sitio de experimentación presenta un clima semiárido semicálido con temperaturas que oscilan entre 14°C y 20°C, la temperatura promedio anual es >18°C, la precipitación pluvial varía de 600 a 800 mm (milímetros), con lluvias en verano (INEGI, 2009).

#### **Localización del Experimento**

El experimento se realizó en dos ciclos, el primer ciclo se hizo durante verano-otoño en el año 2017. El segundo ciclo se realizó durante primavera-verano en el año 2018, ambos ciclos se llevaron a cabo en el mismo lugar, en el invernadero del DEPI, en las instalaciones del ITR. El invernadero tiene medidas de 10 x 20 metros aproximadamente, tiene una forma rectangular, con piso de tierra, cubierta de plástico traslucido.

### **4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL**

El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial de 2x4, en el caso del primer ciclo; para el segundo ciclo se usó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 2X4; el factor A corresponde a dosis de silicio con dos niveles: 0 y 1.7 mM (milimolar). Y el factor B fueron las

condiciones de crecimiento con cuatro niveles; estrés salino alto, estrés salino moderado, déficit hídrico y sin estrés. La comparación de medias de llevo a cabo mediante la prueba de Tukey.

### **4.3 EQUIPOS**

✓ Mufla Digital FURNACE

Horno diseñado para reducir a cenizas las muestras orgánicas e inorgánicas, determinar solidos volátiles y suspendidos, el análisis gravimétrico, el termotratamiento de pequeñas piezas de acero y las pruebas de ignición. Tiene una temperatura máxima de operación de 1093°C (ELICROM).

✓ Balanza digital ADAM.

Tiene una capacidad de 120 g (gramos) y una legibilidad de 0.0001 g, una capacidad de retención de 0.00015 g (ADAM Equipment Company).

✓ Microscopio invertido IX71 OLYMPUS.

✓ NANODROP 2000C, Spectrophotometer, Thermo SCIENTIFIC.

✓ Microplate Spectrophotometer, xMark, BIO-RAD.

### **4.4 MATERIAL VEGETAL**

Se emplearon semillas de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) de la variedad M marca Caloro. Es una planta anual, herbácea con hábito de crecimiento indeterminado con porte entre 1 y 2 metros de altura. Los frutos van desde los 7 hasta los 10 cm (centímetros) dependiendo del manejo del cultivo.

#### **4.4.1 Cultivo de Material Vegetal**

##### **Siembra**

Las semillas fueron germinadas en charola de unicel de 136 cavidades. Se usó vermiculita estéril como medio de crecimiento. Se colocó una semilla en cada cavidad a 2 cm de profundidad. La charola se colocó en un cuarto de germinación con un fotoperiodo de 16/8 horas luz/oscuridad a una temperatura de 25°C y una humedad relativa del 80%. Cuando las plántulas tuvieron hojas verdaderas se irrigaron con una solución de Hoagland con y sin silicio a 1.7 mM, se usó metasilicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) como fuente de silicio. El pH de las soluciones Hoagland y silicio fueron ajustadas a 6.6-6.7.

##### **Trasplante**

El trasplante se realizó 45 días después de la siembra, cuando las plantas tuvieron cuatro hojas verdaderas. Las plántulas fueron colocadas en bolsa de polietileno color negro para vivero con medidas de 30 x 30 centímetros. Calibre 500 con capacidad de 5.68 litros, las bolsas se llenaron con Peat most (Premier®) y fueron colocados en el invernadero en doble hilera con una densidad de cuatro plantas por metro cuadrado. Las plantas fueron regadas cada cuatro días con una solución de Hoagland, conteniendo o no silicio. Se dejó adaptar las plántulas en el nuevo sustrato antes de inducir algún estrés.

##### **Condición uno: estrés salino alto**

Para inducir el estrés salino alto, la mitad de la población de plantas para este tratamiento fueron regadas con una solución de NaCl (Cloruro de Sodio) a 180 mM, que es una concentración muy alta para un cultivo como el chile, en conjunto se le suministro silicio a 1.7 mM y la solución de Hoagland, y para comparar si las plantas en estrés salino, el silicio confería una mejora en las plantas, la otra mitad de población



de plantas fue regada solo con NaCl a 180 mM y una solución de Hoagland. El pH de las soluciones fue ajustado a 6.6 -7. Todas las plantas se regaron cada cuatro días durante tres semanas usando una regadera para vivero con una capacidad de un litro.

#### **Condición dos: estrés salino moderado**

Para el estrés salino moderado, de igual forma del total de plantas para este tratamiento, solo la mitad de ellas fueron regadas con una solución de NaCl a 60 mM más una solución de silicio a 1.7 mM y la solución de Hoagland, de igual manera para comprobar si el silicio confiere una mejora en las plantas en salinidad, la otra mitad de la población fue regada únicamente con una solución NaCl a 60 mM y la solución de Hoagland. El pH de las soluciones fue ajustado a 6.6 -7. Todas las plantas se regaron cada cuatro días durante tres semanas usando una regadera para vivero con una capacidad de un litro.

#### **Condición tres: estrés por déficit de hídrico**

Antes de inducir las plantas a déficit hídrico se aplicó el último riego a capacidad de campo, la mitad de la población de las plantas fueron regadas con una solución nutritiva y silicio a 1.7 mM, la otra mitad se le suministro únicamente la solución nutritiva, esto para poder comparar si las plantas con silicio tenían un mejor desarrollo. A partir del último riego aplicado en las plantas, se contó 12 días, fueron los días transcurridos, hasta que las plantas llegaron a su punto de marchitez y se cosecharon. El pH de las soluciones fue ajustado a 6.6 -7. Las plantas fueron regadas con una regadera para vivero con una capacidad de un litro.

#### **Condición cuatro: sin estrés**

Para evaluar en qué condiciones de crecimiento el silicio tiene mayor efecto en las plantas, se cultivaron plantas estresadas y no estresadas. Las plantas que crecieron sin estrés, fueron aquellas que tuvieron un riego constante en la duración del

experimento, para este tratamiento, una parte de la población se le suministro una solución nutritiva y silicio a 1.7 mM, la parte restante se le suministro únicamente una solución nutritiva para poder comparar si había un mejor desarrollo en las plantas que se le suministro silicio. El pH de las soluciones fue ajustado a 6.6 -7. Las plantas fueron regadas cada cuatro días durante las siguientes tres semanas con una regadera para vivero con una capacidad de un litro.

**Cuadro 1. Tratamientos aplicados a plantas de chile Jalapeño**

<b>Tratamientos</b>	<b>Factor A</b>	
<b>Factor B</b>	<b>1.7 mM</b>	<b>0 mM</b>
<b>NaCl a 180 Mm</b>	T1	T5
<b>NaCl a 60 Mm</b>	T2	T6
<b>Déficit de agua</b>	T3	T7
<b>Sin estrés</b>	T4	T8

**Cuadro 2. Solución de Hoagland**

<b>Elementos</b>	<b>Concentración</b>	<b>Cantidad</b>
<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b>	2 mM	0.16 g/L
<b>Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	1.35 mM	0.32 g/L
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	0.184 mM	0.023 g/L
<b>KNO<sub>3</sub></b>	1.25 mM	0.126 g/L
<b>MgSO<sub>4</sub></b>	0.25 mM	0.5 g/L
<b>NaSO<sub>4</sub></b>	0.5 mM	0.07 g/L
<b>ZnSO<sub>4</sub></b>	0.41 mM	0.12 mg/mL
<b>MnCl<sub>2</sub></b>	0.02mM	0.145 mg/mL
<b>CuSO<sub>4</sub></b>	2.10 mM	0.005 mg/mL
<b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></b>	1.6 mM	0.13 mg/mL
<b>(NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub></b>	0.0016 mM	0.002 mg/mL

Nota: g/L (gramos/litros), mg/mL (miligramos/mililitros)

## 4.5 VARIABLES DETERMINADOS

### 4.5.1 Determinación de Contenido Relativo de Agua (CRA)

El CRA se considera un indicativo de la desecación de las plantas, es un parámetro que confiere a la planta la capacidad de crecer en condiciones de sequía. Mientras mayor sea el CRA las capacidades fotosintéticas operan a sus capacidades máximas (Villalobos *et al.*, 1990).

Se determinó la sección media de la hoja, las hojas se colocaron en bolsas herméticas sin aire, y puestos en hielo. Se extrajeron los discos con un sacabocados de las hojas y se obtuvo el peso fresco. Posteriormente, los discos se colocaron en cajas Petri saturadas de agua, durante 24 horas hasta alcanzar la máxima imbibición. Los discos se secaron superficialmente si presionar y se obtuvo su peso túrgido. Luego se secó en un horno de convección a 70°C durante 24 horas y se obtuvo su peso seco. El CRA se calculó mediante la siguiente fórmula (Villalobos *et al.*, 1990).

$$\%CRA = \frac{(PF - PS)}{(PT - PS)} \times 100$$

Donde:

%CRA = contenido relativo de agua

PF= peso fresco

PT=peso túrgido

PS=peso seco

### 4.5.2 Desarrollo de Brote y Radícula y Contenido de Materia Seca Total (MS)

El contenido de materia seca tiene una gran variabilidad en los diferentes cultivos, puede ir desde el 12%, muy bajo, a 90% en granos y henos. El tejido vegetal puede contener agua de diversas formas, absorbida y retenida por macromoléculas con

frecuencia o ligadas a carbohidratos y sales. La eliminación del agua comúnmente se hace por deshidratación, de esta manera se determina la materia seca (Petruzzi *et al.*, 2005).

Se recolectaron las plantas de cada tratamiento, se obtuvieron las medidas de longitud de brote (LB) y radícula (LR) con una regla numérica.

Utilizando las mismas plantas se obtuvo el peso fresco en una balanza analítica, posteriormente se colocaron en sobres y se transfirieron a un horno de convección a 75 °C durante 24 horas. Por diferencia de peso se calculó el porcentaje de materia seca contenida en cada planta de cada uno de los tratamientos (De la Roza-Delgado, Ramírez y Argamenteria, 2002).

#### **4.5.3 Contenido de Cenizas Totales (CEN)**

Las cenizas totales determinan la cantidad de sales, minerales, metales pesados presente en cualquier tejido vegetal o alimentos. El principio se basa en la eliminación de la materia orgánica por medio de la calcinación y la determinación gravimétrica. Las cenizas blancas o grisáceas se obtienen incinerando la muestra en una mufla a 550°C (ley N ° 066, 1978).

$$\% \text{ cenizas totales} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

Donde:

M2: masa en gramos del crisol con las cenizas

M1: masa en gramos del crisol con la muestra

M0: masa en gramos del crisol vacío

#### **4.5.4 Determinación de Contenido de Silicio (Si)**

Se recolecto material vegetal fresco, las plantas enteras de cada tratamiento se pesaron en una balanza analítica para obtener el peso fresco, fueron deshidratadas en

un horno de convección para obtener el peso seco. Las muestras se colocaron en crisoles de porcelana, y se introdujeron en una mufla para obtener cenizas, primero se dejó por 30 minutos a 300 ° C y después se incrementó la temperatura a 550°C por 30 minutos (Parra-Terraza *et al.*, 2004).

Las muestras contenidas en los crisoles fueron enfriadas y se les añadió 4.5 mL de NaOH al 50%. Los crisoles con las muestras fueron cubiertos parcialmente y se calentaron en una plancha hasta evaporar la solución. Se enfriaron los crisoles conteniendo las muestras y se les adiciono 10 mL de agua destilada, estas se dejaron reposar 24 horas (Parra-Terraza *et al.*, 2004).

Para el desarrollo de color, de las muestras reposadas de cada tratamiento se tomó 500 µL (microlitros), se transfirió en un tubo eppendorf y se adiciono 290 µL de ácido acético al 20%, 100 µL de solución de molibdato de amonio pH 7, 50 µL de ácido tartárico al 2% y 10 µL de solución reductora y se aforo con ácido acético al 20%, se dejó en reposo 30 minutos. Después de los 30 minutos, las muestras fueron vaciadas en una placa de poliestireno de 96 pocillos y las absorbancias fueron leídas a 650 nm de longitud de onda (Parra-Terraza *et al.*, 2004).

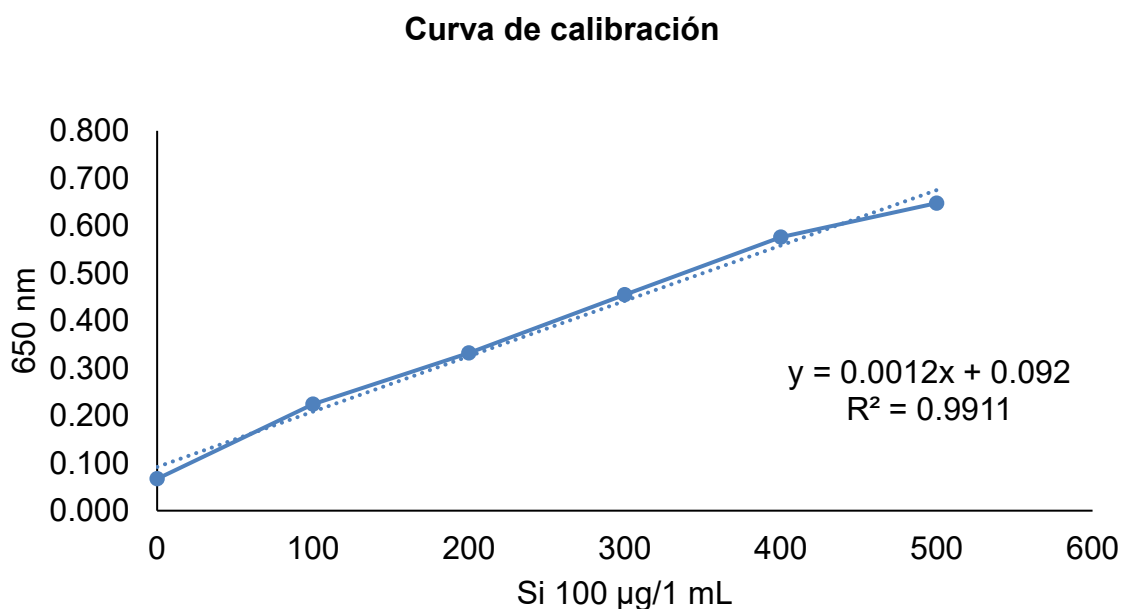
### **Solución reductora**

La solución reductora se formó mezclando la solución A y B. La solución A está formada por: 2 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, 0.4 g de 1-amino-2-naphthol-4-ácido sulfónico aforados a 25 mL con agua destilada.

solución B: 25 g de NaHSO<sub>3</sub> disuelto en 200 mL de agua destilada. Las soluciones fueron aforadas a 250 mL.

## Curva de calibración

Para poder cuantificar el contenido de silicio en las muestras se desarrolló una curva de calibración para interpolar las lecturas de las absorbancias. Se preparó una solución patrón de 100 µg/mL de Si a partir de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O, grado reactivo. La curva de calibración se preparó tomando concentraciones de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 µg/mL las cuales fueron cuantificadas por espectrofotometría para obtener las absorbancias. Los valores obtenidos de la absorbancia estuvieron entre 0 y 0.6 nm, estableciéndose en una relación lineal ( $Y=0.0012x + 0.092$ ) y un coeficiente de correlación (r) de 0.9911.



**Figura 1. Curva de calibración de Si 100 µg/mL**

### 4.5.4 Detección de Cuerpos de Sílice

Se recolectaron hojas y raíces frescas de cada tratamiento, las cuales se sumergieron en etanol al 70% durante 24 horas, contenida en frascos cubiertos de aluminio, el etanol sirvió para la decoloración de las hojas y raíces. Las hojas y raíces se hirvieron durante 5 minutos en fenol puro con gotas de safranina, se usaron frasco cubierto de aluminio o frascos ámbar para evitar la reacción del fenol con la luz. Se hicieron cortes

a las hojas y raíces y fueron fijadas en un portaobjetos y observadas en un microscopio invertido (Ma *et al.*, 2001).

#### **4.6 EXTRACCIÓN DE ÁCIDO RIBONUCLEICO (ARN) POR EL METODO DE TRIZOL**

Se recolectó tejido vegetal fresco al termino de los días de estrés por salinidad y déficit hídrico, los tejidos de hojas y raíces de las plantas de chile Jalapeño fueron recolectados y transportaron en nitrógeno líquido para no alterar el estrés de la planta y se guardaron a -80°C hasta su procesamiento.

Para la extracción de ARN total se molió 0.1 gramo de tejido con nitrógeno líquido en un mortero estéril, el tejido molido finamente se transfirió a un tubo eppendorf de 1.5 mL, se adiciono 1 mL de trizol y se puso en vortex. Se incubo 5 minutos a temperatura ambiente, posteriormente se añadió 200 µL de cloroformo por cada mililitro de trizol y se agito moderadamente. La muestra se centrifugo a 10000 rpm (revoluciones por minuto) durante 15 minutos a 4°C, se recuperó el sobrenadante superior sin tocar la parte inferior. La fase recuperada se transfirió a un nuevo tubo eppendorf estéril, se le adiciono 500 µL de 2-propanol frio.

La muestra se dejó precipitando durante 60 minutos a una temperatura de -80°C. Después de la precipitación en frío se centrifugo a 10000 rpm durante 15 minutos a 4°C. se decantó el sobrenadante y se adiciono 1 mL de etanol frio al 70%, se volvió a centrifugar a 10000 rpm durante 15 minutos a 4°C, se hicieron dos lavados más con las mismas condiciones.

El pellet al fondo del tubo se secó completamente y se suspendió 50 µL de agua DEPC (Pirocarbonato de Dietilo) y se conservó a -80°C hasta su uso. Para comprobar la calidad del ARN se cuantifico 1 µL en el Nanodrop.

## **Electroforesis en Gel de Agarosa**

Para asegurar la integridad del ARN se separó en un gel de agarosa al 1.5%. El gel de agarosa se preparó disolviendo 1.5 gramos de agarosa en 100 mL de buffer TAE 1x, se disolvió en un horno de microondas y se adiciono 1  $\mu$ L de bromuro de Etidio.

Para la preparación de la electroforesis, la agarosa con Bromuro de Etidio se vació en un soporte y se dejó gelificar por 15 minutos con el peine puesto para crear los pocillos. Una vez que se gelifico la agarosa se colocó dentro de la cámara de electroforesis y se cubrió con buffer TAE 1X, posteriormente se prosiguió a cargar las muestras en cada pocillo, la muestra de ARN fue de 2  $\mu$ L y 2  $\mu$ L de marcador para visualizar el avance de separación del ácido nucleico. Se dio una corriente de 60 voltios por 40 minutos.

## **4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico que se utilizó fue un arreglo factorial, dos concentraciones de silicio (factor A) y cuatro condiciones de crecimiento (factor B), con tres repeticiones para el análisis de los variables en caso del primer ciclo, para el segundo ciclo se utilizó cinco repeticiones por cada variable evaluado. Se usó el programa de SAS versión 9.4 para el analisis de varianza y se hizo una comparación de medias por la prueba Tukey con un  $\alpha=0.05$ .

### **Modelo estadístico: diseño completamente al azar con un diseño factorial**

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, a;$$

$$j = 1, 2, \dots, b;$$

$Y_{ij}$ =variable de respuesta observado en la ij-esima unidad experimental.

$\mu$  = media general.

$\alpha_i$  =efecto de i-esimo nivel del factor A.



$\beta_j$ =efecto del j-esimo nivel del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$ =efecto de la interacción entre el i-esimo nivel del factor A y el j-esimo nivel del factor B.

$\epsilon_{ij}$  = error experimental asociado a la ij-esima unidad experimental.

### ANOVA de dos vías: partición de la variación total

**Cuadro 3. Analisis de varianza para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial. Celaya, Gto. 2018**

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculada	P
Repetición	r-1	SCR	$\frac{SCR}{glR}$	$\frac{CMR}{CMEe}$	
Tratamientos	ab-1	SCTrat	$\frac{SCA}{glTrat}$	$\frac{CMTrat}{CMEe}$	
Factor A	a-1	SCA	$\frac{SCA}{glA}$	$\frac{CMA}{CMEe}$	> 0.05 ns
Factor B	b-1	SCB	$\frac{SCB}{glB}$	$\frac{CMB}{CMEe}$	< 0.05 *
Factor A*B	(a-1)(b-1)	SCAB	$\frac{SCAB}{glAB}$	$\frac{CMAB}{CMEe}$	< 0.01 **
Error	ab(r-1)	SCT-SCA- SCB-SCAB	$\frac{SCEe}{glEe}$		
Total	abr-1	SCT			

<sup>ns</sup> no significativo, \* significativo, \*\* altamente significativo

### Modelo estadístico: diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, a;$$

$$j = 1, 2, \dots, b;$$

$Y_{iik}$ =variable de respuesta observado en la ijk-esima unidad experimental

$\mu$  = media general.

$\alpha_i$  =efecto de i-esimo nivel del factor A.

$\beta_j$ =efecto del j-esimo nivel del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$ =efecto de la interacción entre el i-esimo nivel del factor A y el j-esimo nivel del factor B.

$\gamma_k$ = efecto del K-esimo bloque.

$\epsilon_{ij}$  = error experimental asociado a la ij-esima unidad experimental

**Cuadro 4. Analisis de varianza para un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial. Celaya, Gto, 2018.**

Fuente de variación	de Grados de libertad	Suma de cuadrados	de Cuadrado medio	F calculada	P
<b>Bloque</b>	r-1	SCR	$\frac{SCR}{glR}$	$\frac{CMR}{CMEe}$	
<b>Factor A</b>	a-1	SCA	$\frac{SCA}{glA}$	$\frac{CMA}{CMEe}$	> 0.05 <i>ns</i>
<b>Factor B</b>	b-1	SCB	$\frac{SCB}{glB}$	$\frac{CMB}{CMEe}$	< 0.05 *
<b>Factor A*B</b>	(a-1) (b-1)	SCAB	$\frac{SCAB}{glAB}$	$\frac{CMAB}{CMEe}$	< 0.01 **
<b>Error</b>	Ab-1(r-1)	SCT-SCA- SCB-SCAB	$\frac{SCEe}{glEe}$		
<b>Total</b>	abr-1	SCT			

<sup>ns</sup> no significativo, \* significativo, \*\* altamente significativo

### **Coefficiente de variación**

Indica el grado de precisión con el que se compara los tratamientos. Es un índice de confiabilidad del experimento, a mayor valor, menor es la confiabilidad. Este varía gradualmente con el tipo de experimento, el cultivo desarrollado y el carácter medido. El coeficiente de variación se calcula con la siguiente formula.

$$cv = \frac{\sqrt{CMError}}{Media\ general} x(100)$$

Si se ha rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias esto supone: que existe al menos una diferencia entre las medias de los tratamientos. Para conocer entre cuantas y que medias hay diferencia se establece una comparación múltiple de medias.

### **Comparación múltiple de medias por la prueba de TUKEY (Honestly Significant Difference).**

Donde se estima las diferencias entre las medias de los grupos y así se calcula la desviación típica según Tukey. Los cocientes entre estos se comparan con la tabla de Tukey que indicara que diferencias son significativamente distintas a un  $\alpha$  prefijado.

Para el factor A

$$WP = q_{(a,gle;\alpha)} \frac{\sqrt{CME}}{ra}$$

Donde

$q_{(t,gle;\alpha)}$  = amplitud estudentizada de Tukey (tratamientos, grados de libertad del error; probabilidad prefijada). Valor obtenido en la tabla de Tukey

a= niveles del factor A.

CME = cuadrado medio del error

r = número de repeticiones

b = número de niveles del factor B.

Para el factor B

$$WP = q_{(b,gle;\alpha)} \frac{\sqrt{CME}}{rb}$$

Para la interacción AB

$$WP = q_{(ab,gle;\alpha)} \frac{\sqrt{CME}}{r}$$

## V. RESULTADOS

Para evaluar el efecto del silicio en las plántulas de chile Jalapeño, cultivado en condiciones de salinidad y déficit hídrico se hizo un análisis de dos vías con una significancia  $P \geq 0.05$  para los variables de determinados.

En contenido relativo de agua que se expresó en porcentaje (%), para el primer ciclo, el análisis del factor A (dosis de silicio) presento significancia, para el factor B (condiciones de crecimiento) si fue altamente significativa, pero en la interacción del factor A\*B no hubo significancia estadística. El análisis del segundo ciclo, coincide con el primer ciclo, en el factor A no se detectó diferencias significativas, para el factor B y la interacción de A\*B se hubo diferencias altamente significativas.

**Cuadro 3. Análisis de varianza de CRA de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018.**

<b>CICLO 1</b>				
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>
<b>Repetición</b>	2	27.048	13.524	0.33
<b>Factor A</b>	1	5.522	5.522	0.15 ns
<b>Factor B</b>	3	9709.489	3236.496	85.32 **
<b>Factor A*B</b>	3	119.824	39.941	1.05 ns
<b>Error</b>	16	606.935	37.933	
<b>Total</b>	23	10441.772		
<b>CV %</b>	18.448			
<b>CICLO 2</b>				
<b>Bloque</b>	4	41.961	10.49	0.41 ns
<b>Factor A</b>	1	4.866	4.866	0.19 ns
<b>Factor B</b>	3	3149.023	1049.674	40.94 **
<b>Factor A*B</b>	3	452.403	150.801	5.88 **
<b>Error</b>	28	717.907	25.64	
<b>Total</b>	39	4366.16		
<b>CV%</b>	7.405			

ns indican no significancia estadística

a\* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad

b\*\* indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad

El análisis de varianza para longitud de brote, el cual se expresó de centímetros (cm), en el primer ciclo, el análisis para el factor A no hubo ninguna significancia, mientras que para el factor B si fue altamente significativa, pero la interacción no fue significativa. El análisis del segundo ciclo, difiere con el factor A, donde si fue altamente significativa, al igual que el factor B y la interacción A\*B.

**Cuadro 5. Análisis de varianza de LB de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018.**

<b>CICLO 1</b>				
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>
<b>Repetición</b>	2	32.252	16.126	3.41
<b>Factor A</b>	1	0.183	0.183	0.03 ns
<b>Factor B</b>	3	88.647	29.549	4.8 *
<b>Factor A*B</b>	3	2.051	0.683	0.11 ns
<b>Error</b>	16	98.413	6.15	
<b>Total</b>	23	189.296		
<b>CV %</b>	17.584			
<b>CICLO 2</b>				
<b>Bloque</b>	4	43.924	10.981	3.22 *
<b>Factor A</b>	1	96.1	96.1	28.17 **
<b>Factor B</b>	3	379.701	126.567	37.1 **
<b>Factor A*B</b>	3	166.514	55.505	16.27 **
<b>Error</b>	28	95.513	3.411	
<b>Total</b>	39	781.751		
<b>CV%</b>	9.114			

ns indican no significancia estadística

a\* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad

b\*\* indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad

El análisis de varianza de longitud de radícula del ciclo uno, expresado en centímetros (cm), en análisis del factor A fue significativo, así como el factor B fue altamente significativa, mientras que la interacción de estos factores A y B solo fue significativo. El análisis del segundo ciclo mostro diferencia altamente significativa en el factor B únicamente.

**Cuadro 6. Análisis de varianza de LR de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018.**

<b>CICLO 1</b>				
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>
<b>Repetición</b>	2	3.985	1.992	0.24
<b>Factor A</b>	1	60.166	60.166	7.92 *
<b>Factor B</b>	3	342.208	114.069	15.02**
<b>Factor A*B</b>	3	112.463	37.487	4.94*
<b>Error</b>	16	121.5	7.593	
<b>Total</b>	23	636.338		
<b>CV %</b>	13.681			
<b>CICLO 2</b>				
<b>Bloque</b>	4	20.138	5.034	0.94 ns
<b>Factor A</b>	1	11.342	11.342	2.12 ns
<b>Factor B</b>	3	786.516	262.172	48.97 **
<b>Factor A*B</b>	3	17.122	5.707	1.07 ns
<b>Error</b>	28	147.909	5.353	
<b>Total</b>	39	985.029		
<b>CV%</b>	13.454			

ns indican no significancia estadística

a\* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad

b\*\* indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad

El análisis de varianza del primer ciclo en contenido de MS de plántulas de chile Jalapeño, que fue expresado en porcentaje (%) el factor A presentó una significancia al 95%, mientras que el factor B fue altamente significativa al igual que la interacción. En el caso del segundo ciclo solo el factor B fue altamente significativa.

**Cuadro 7. Análisis de varianza contenido de MS de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018.**

<b>CICLO 1</b>				
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>
<b>Repetición</b>	2	39.847	19.923	2.24
<b>Factor A</b>	1	57.772	57.772	5.62*
<b>Factor B</b>	3	693.403	231.134	22.49**
<b>Factor A*B</b>	3	237.41	79.136	7.7**
<b>Error</b>	16	164.446	10.277	
<b>Total</b>	23	1153.033		
<b>CV %</b>	15.415			
<b>CICLO 2</b>				
<b>Bloque</b>	4	19.096	4.774	1.39 ns
<b>Factor A</b>	1	1.321	1.321	0.39 ns
<b>Factor B</b>	3	243.639	81.213	23.72 **
<b>Factor A*B</b>	3	9.064	3.021	0.88 ns
<b>Error</b>	28	95.862	3.424	
<b>Total</b>	39	368.982		
<b>CV%</b>	13.171			

ns indican no significancia estadística

a\* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad

b\*\* indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad

El análisis de varianza del ciclo uno para el contenido de cenizas totales en plántulas de chile Jalapeño, que también se expresó en porcentaje (%), solo el factor B fue altamente significativa. En análisis del ciclo dos, los dos factores A y B fueron altamente significativa y la interacción tuvo una significancia al 95%.



**Cuadro 8. Análisis de varianza de contenido de CEN de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018.**

<b>CICLO 1</b>				
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>
<b>Repetición</b>	2	62.377	31.188	1.89
<b>Factor A</b>	1	30.809	30.809	1.68 ns
<b>Factor B</b>	3	1068.888	356.296	19.47**
<b>Factor A*B</b>	3	7.279415	2.426	0.13ns
<b>Error</b>	16	292.814	18.3	
<b>Total</b>	23	1399.791		
<b>CV %</b>	34.449			
<b>CICLO 2</b>				
<b>Bloque</b>	4	2.433	0.608	0.2 ns
<b>Factor A</b>	1	59.015	59.015	19.58 **
<b>Factor B</b>	3	118.867	39.622	13.14 **
<b>Factor A*B</b>	3	28.532	9.511	3.15 *
<b>Error</b>	28	84.411	3.015	
<b>Total</b>	39	293.258		
<b>CV%</b>	10.517			

ns indican no significancia estadística

a\* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad

b\*\* indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad

El contenido de silicio fue expresado en miligramos sobre gramos con base a peso seco, el análisis de varianza del primer ciclo, los dos factores A y B y la interacción entre estos fue altamente significativa. Lo que concuerda con el análisis del segundo ciclo ambos factores y la interacción fueron altamente significativa.

**Cuadro 9. Análisis de varianza de contenido de Si de plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de silicio. Celaya, Gto. 2018.**

<b>CICLO 1</b>				
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>
<b>Repetición</b>	2	0.002	0.001	0.79
<b>Factor A</b>	1	0.27	0.27	163.73**
<b>Factor B</b>	3	0.283	0.094	57.06**
<b>Factor A*B</b>	3	0.283	0.094	57.06**
<b>Error</b>	16	0.026	0.001	
<b>Total</b>	23	0.864		
<b>CV %</b>	38.286			
<b>CICLO</b>				
<b>Bloque</b>	4	0.005	0.002	1.34 ns
<b>Factor A</b>	1	0.595	0.595	684.49 **
<b>Factor B</b>	3	0.614	0.204	235.23 **
<b>Factor A*B</b>	3	0.614	0.204	235.23 **
<b>Error</b>	28	0.247	0.009	
<b>Total</b>	39	1.852		
<b>CV%</b>	24.173			

ns indican no significancia estadística

a\* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad

b\*\* indica significancia estadística al nivel 0.01 de probabilidad

Para detectar específicamente en que tratamiento se presentó alguna diferencia estadísticamente significativa se hizo una comparación de medias por la prueba de Tukey  $P \geq 0.05$ .

## **5. 1 CONTENIDO RELATIVO DE AGUA**

Como se mostró anteriormente en el análisis de varianza de CRA, tanto para el ciclo uno como el ciclo dos, en el factor B fue altamente significativa. Como era de esperarse

las plantas que crecieron en condiciones sin estrés presentaron un mayor CRA 67.64 % y 71.95 % en el ciclo uno y dos, seguido de estrés por salinidad moderada (NaCl 60 mM) con 27.77 % y 29.02 %, déficit hídrico con 20.31 % y 24.19 %, salinidad alta (NaCl 180 mM) 17.82 % y 16.88 %. En este factor el primer ciclo los tres tipos de estrés fueron estadísticamente iguales y el tratamiento sin estrés fue significativamente superior. En caso del segundo ciclo las cuatro condiciones de crecimiento fueron diferentes. Siendo el tratamiento sin estrés significativamente superior, seguido de salinidad moderada, déficit hídrico y por último salinidad alta.

En la interacción, en el ciclo uno las plantas sin estrés fueron significativamente superiores con y sin silicio. En segundo ciclo, nuevamente las plantas sin estrés fueron significativamente superior, seguido del tratamiento de salinidad moderada con silicio, los tratamientos de déficit hídrico con y sin silicio fueron estadísticamente iguales, pero numéricamente en el cuadro 10 se puede observar que el tratamiento de Si favoreció un mayor contenido de agua en las hojas en ambos ciclos, los tratamientos más afectados, que formaron el último grupo de Tukey, fueron las plantas con salinidad alta tuvieron un CRA menor de 17.99 % y 15.782 % con y sin silicio.

## **5.2 LONGITUD DE BROTE**

En longitud de brote, el factor A no presento diferencias en el ciclo uno, pero si en el ciclo dos, donde el tratamiento con silicio fue superior el valor. Para el Factor B en ambos ciclos los tratamientos de déficit hídrico y plantas sin estrés fueron estadísticamente iguales y superiores a los tratamientos de Salinidad alta y moderada. En la interacción de los factores, en el primer ciclo no se detectaron diferencias. En el caso del segundo ciclo, las plantas que crecieron en déficit hídrico con silicio tuvieron una mayor longitud de brote, seguido de salinidad moderada con Si, salinidad alta con Si y plantas sin estrés; los tratamientos de salinidad alta y moderada sin silicio fueron los tratamientos con menor longitud de brote. El patrón que se observa en estos tratamientos, cuando hay presencia de silicio parece que el crecimiento del brote se mejora.

**Cuadro 10. Comparación de medias CRA y LB en plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de Si. Celaya, Gto. 2018.**

FACTOR A	CICLO 1		CICLO 2	
	CRA %	LB cm	CRA%	LB cm
1.7 mM de Si	33.865 a	12.45 a	35.531 a	21.815 a
0 mM de Si	32.906 a	12.275 a	35.497 a	18.715 b
<b>FACTOR B</b>				
NaCl 180 mM	17.821 b	11.567 ab	16.886 d	15.54 c
NaCl 60 mM	27.773 b	9.583 b	29.022 b	19.53 b
Déficit Hídrico	20.307 b	14.267 a	24.192 c	23.31 a
Sin estrés	67.641 a	14.033 a	71.956 a	22.68 a
<b>INTERACCION AXB</b>				
NaCl 180 mM + Si	17.962 b	11.567 a	17.991 d	23.04 bc
NaCl 60 mM + Si	28.245 b	9.233 a	32.470 b	23.58 b
Déficit Hídrico + Si	24.106 b	14.567 a	25.505 c	27.56 a
Sin estrés + Si	65.148 a	14.433 a	70.588 a	19.48 cd
NaCl 180 mM-Si	17.681 b	11.567 a	15.782 d	17.08 de
NaCl 60 mM-Si	27.3 b	9.933 a	25.306 c	14 e
Déficit Hídrico -Si	16.508 b	13.967 a	22.881 c	19.58 cd
Sin estrés-Si	70.135 a	13.633 a	73.324 a	17.8 de

Letras iguales en columna no presentan diferencia significativa estadísticamente Tukey  $P \geq 0.05$ .

### 5.3 LONGITUD DE RADÍCULA

La comparación de medias de longitud de radícula, en el factor A se observaron diferencias en el ciclo uno, las plantas sin Si presentaron una mayor longitud radicular que las plantas con Si. Para el factor B, las plantas que crecieron sin estrés, fueron significativamente superiores en su longitud radicular, seguidas de las plantas con salinidad moderada y déficit hídrico, las plantas más afectadas fueron las que crecieron en salinidad alta. En el ciclo dos las plantas que crecieron en déficit hídrico fueron

estadísticamente superiores, es decir, tuvieron una longitud radicular mayor en comparación con los tratamientos de salinidad y sin estrés. Es aceptable que las plantas en déficit hídrico desarrollen más el tejido radicular como una consecuencia de la poca disponibilidad de agua, se ven en la necesidad de explorar más en el sustrato.

En la interacción de los factores, en el ciclo uno las plantas sin estrés tuvieron una LR superior seguido de salinidad moderada y alta y déficit hídrico sin Si, estas fueron estadísticamente iguales junto con el tratamiento de déficit hídrico con Si. En el ciclo dos, también se observaron diferencias, donde el tratamiento de déficit hídrico tuvo mayor desarrollo radicular con y sin Si. Por efecto de la falta de disponibilidad de agua las plantas en déficit hídrico tienden a desarrollar más el sistema radicular. Aunque las plantas en salinidad también tienen la necesidad de adquirir más agua, tienen la desventaja de que los iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  afectan negativamente el crecimiento celular. En cuanto a las plantas sin estrés, tienen disponibilidad de agua por lo tanto no necesitan explorar una gran área en el sustrato. Numéricamente en el cuadro 11 se puede observar que el silicio favorecía un mayor desarrollo radicular de 25.78 cm comparado con una planta sin silicio de 22.98 cm en déficit hídrico. Al parecer el Si influye en el crecimiento celular de alguna manera.

#### **5.4 CONTENIDO DE MATERIA SECA**

La comparación de medias del contenido de materia seca, el factor A, el tratamiento con silicio estadísticamente fue inferior al tratamiento con 0 mM de Si. En el factor B, durante el ciclo uno los tratamientos de salinidad moderada y déficit hídrico fueron estadísticamente iguales, siendo estos superiores al tratamiento de salinidad alta y sin estrés. Mientras que para el ciclo dos el tratamiento de déficit hídrico fue estadísticamente superior con respecto al resto de los tratamientos, las cuales no presentaron diferencia significativa.

En la interacción de los dos factores, en el ciclo uno los tratamientos que acumularon mayor contenido de materia seca fue el tratamiento de salinidad moderada con Si y

déficit hídrico sin Si, seguido de los tratamientos sin estrés, déficit hídrico con silicio y salinidad alta sin silicio. Mientras que, en el segundo ciclo, los tratamientos que fueron significativamente superior fueron déficit hídrico con y sin silicio. El resto de los tratamientos no mostraron diferencias. El caso de las plantas que crecieron en déficit hídrico, la poca disponibilidad de agua, obliga a la planta a tener un mayor desarrollo radicular, el crecimiento celular aumentado en esta zona pudo haber influido en un mayor contenido de MS.

**Cuadro 11. Comparación de medias de LR y MS en plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de Si. Celaya, Gto, 2018.**

	CICLO 1		CICLO 2	
FACTOR A	LR cm	MS %	LR cm	MS%
1.7 mM de Si	18.558 b	19.245 b	17.73 a	14.23 a
0 mM de Si	21.725 a	22.348 a	16.665 a	13.867 a
<b>FACTOR B</b>				
NaCl 180 mM	15.183 c	17.224 b	16.16 a	12.086 b
NaCl 60 mM	22.267 ab	25.594 a	12.24 bc	12.348 b
Déficit Hídrico	18.1 bc	26.471 a	24.38 a	18.216 a
Sin estrés	25.017 a	13.898 b	16.01 b	13.543 b
<b>INTERACCION A*B</b>				
NaCl 180 mM + Si	9.967 c	12.421 c	16.38 bc	12.371 b
NaCl 60 mM + Si	17.267 bc	29.746 a	11.9 c	13.238 b
Déficit Hídrico + Si	20.4 ab	22.027 ab	25.78 a	17.81 a
Sin estrés + Si	18.933 ab	23.195 ab	16.86 b	13.502 b
NaCl 180 mM-Si	22.767 ab	21.762 ab	15.94 bc	11.802 b
NaCl 60 mM-Si	24.233 ab	13.05 c	12.58 bc	11.459 b
Déficit Hídrico -Si	21.767 ab	29.425 a	22.98 a	18.621 a
Sin estrés-Si	25.8 a	14.745 bc	15.16 bc	13.585 b

Letras iguales en columna no presentan diferencia significativa estadísticamente Tukey  $P \geq 0.05$ .

## **5.5 CONTENIDO DE CENIZAS**

En la comparación de medias del contenido de cenizas totales, durante el ciclo uno, el factor A no presentó diferencias, mientras que en el ciclo dos el tratamiento con silicio fue significativamente menor. El análisis del factor B, en el ciclo uno, mostró que los tratamientos de déficit hídrico y salinidad moderada fueron significativamente superiores con respecto a salinidad alta y plantas sin estrés. Aunque se puede notar en el cuadro 12, que numéricamente en tratamiento de salinidad moderada acumulo mayor cantidad de cenizas frente al resto de los tratamientos. Para el segundo ciclo el tratamiento de salinidad alta fue significativamente inferior en contenido de cenizas, el resto de los tratamientos fueron estadísticamente iguales y superiores.

En la interacción de los factores A y B, durante el ciclo uno, el tratamiento de salinidad moderada sin silicio fue significativamente superior, seguido del mismo tratamiento con silicio, déficit hídrico con y sin silicio. En el segundo ciclo todos los tratamientos excepto el tratamiento de salinidad alta con silicio fueron estadísticamente iguales y superiores. Aunque en el cuadro 12, se puede observar que los tratamientos de déficit hídrico y sin estrés con Si acumularon mayor cantidad de cenizas, podría ser que estos tratamientos absorbieran algunos nutrientes minerales para su desarrollo. En caso de salinidad, la presencia de Na y Cl pudo haber interferido en la absorción de algunos elementos requeridos en el desarrollo de la planta.

## **5.6 CONTENIDO DE SILICIO**

En el contenido de silicio, solo se logró cuantificar en los tratamientos de déficit hídrico y plantas sin estrés. El análisis del factor A, tanto en el ciclo uno y dos la presencia de silicio se detectó en las plantas que fueron tratadas con Silicio a 1.7 mM. En el factor B, para el ciclo uno, el contenido de silicio en plantas con déficit hídrico y sin estrés fueron estadísticamente iguales, mientras que el segundo ciclo, el tratamiento de déficit hídrico fue estadísticamente superior. En la interacción de factores, durante el ciclo uno el contenido de silicio en déficit hídrico fue estadísticamente superior.

Mientras que en el segundo ciclo dos tratamientos, déficit hídrico y sin estrés fueron estadísticamente iguales.

**Cuadro 12. Comparación de medias de contenido de CEN y Si en plantas de chile Jalapeño en diferentes condiciones de estrés y concentraciones de Si. Celaya, Gto. 2018.**

	CICLO 1		CICLO 2	
FACTOR A	CEN %	Si mg/g	CEN %	Si mg/g
1.7 mM de Si	11.285 a	0.213 a	15.295 b	0.244 a
0 mM de Si	13.551 a	0 b	17.724 a	0 b
<b>FACTOR B</b>				
NaCl 180 mM	7.855 b	0 b	13.768 b	0 b
NaCl 60 mM	22.034 a	0 b	18.527 a	0 b
Déficit Hídrico	14.995 a	0.245 a	17.014 a	0.274 a
Sin estrés	4.789 b	0.180 a	16.727 a	0.213 b
<b>INTERACCION A*B</b>				
NaCl 180 mM + Si	5.983 cd	0 c	11.148 b	0 b
NaCl 60 mM + Si	21.004 ab	0 c	16.39 a	0 b
Déficit Hídrico + Si	13.704 abcd	0.489 a	18.046 a	0.548 a
Sin estrés + Si	4.45 d	0.361 b	19.009 a	0.427 a
NaCl 180 mM-Si	9.727 bcd	0 c	16.371 a	0 b
NaCl 60 mM-Si	23.065 a	0 c	17.659 a	0 b
Déficit Hídrico -Si	16.286 abc	0 c	15.616 a	0 b
Sin estrés-Si	5.127 cd	0 c	17.839 a	0 b

Letras iguales en columna no presentan diferencia significativa estadísticamente Tukey  $P \geq 0.05$ .

## 5.7 CUERPOS DE SÍLICE

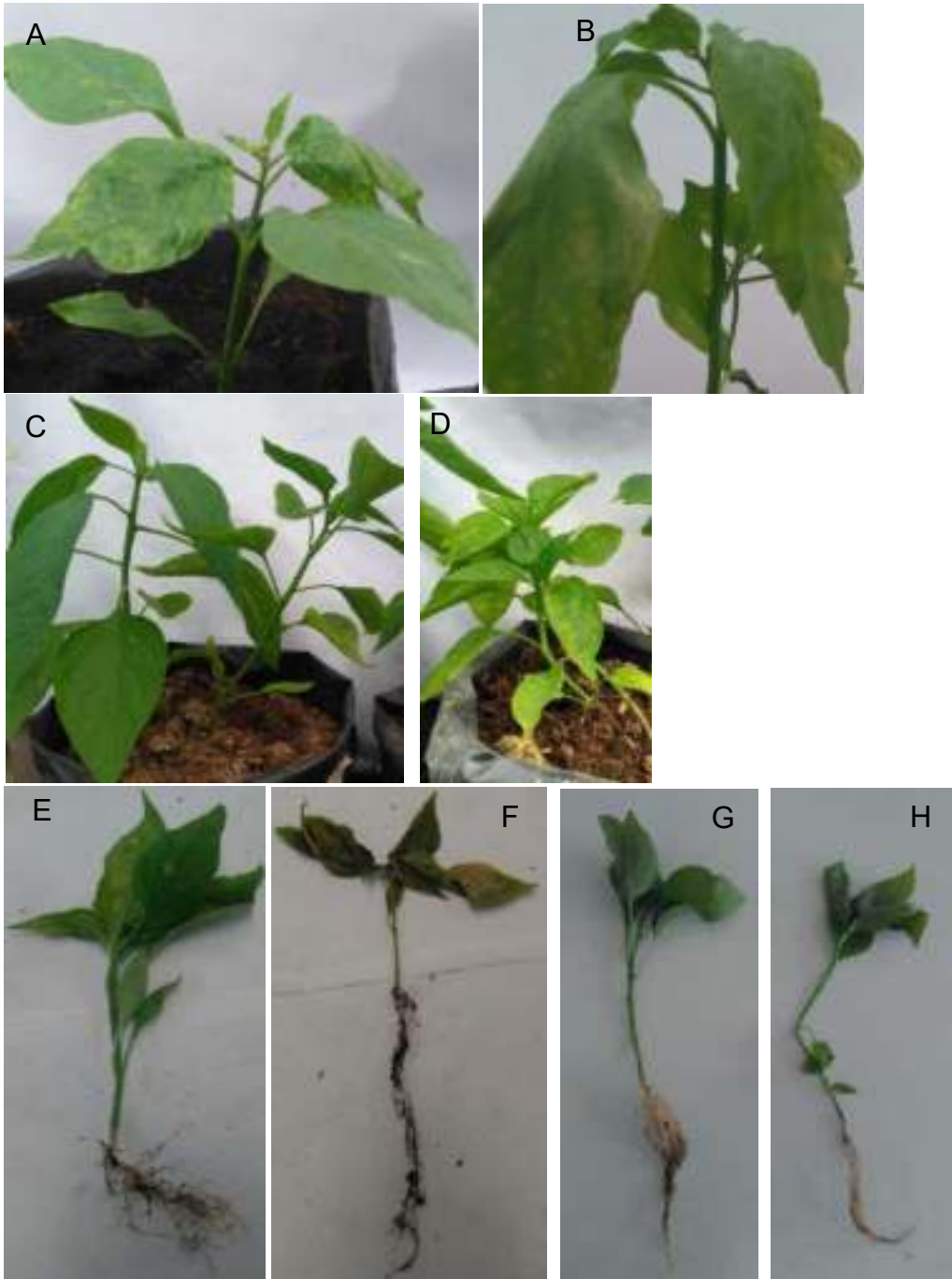
Dentro de las observaciones físicas de las plantas, los tratamientos con NaCl a 180 mM tuvieron una apariencia muy afectada, en el día cinco con riego salino, las hojas empezaron a tornarse de color verde pálido, posteriormente esta apariencia empeoró hasta tornarse las hojas de color amarillo, el crecimiento del brote se detuvo. Las



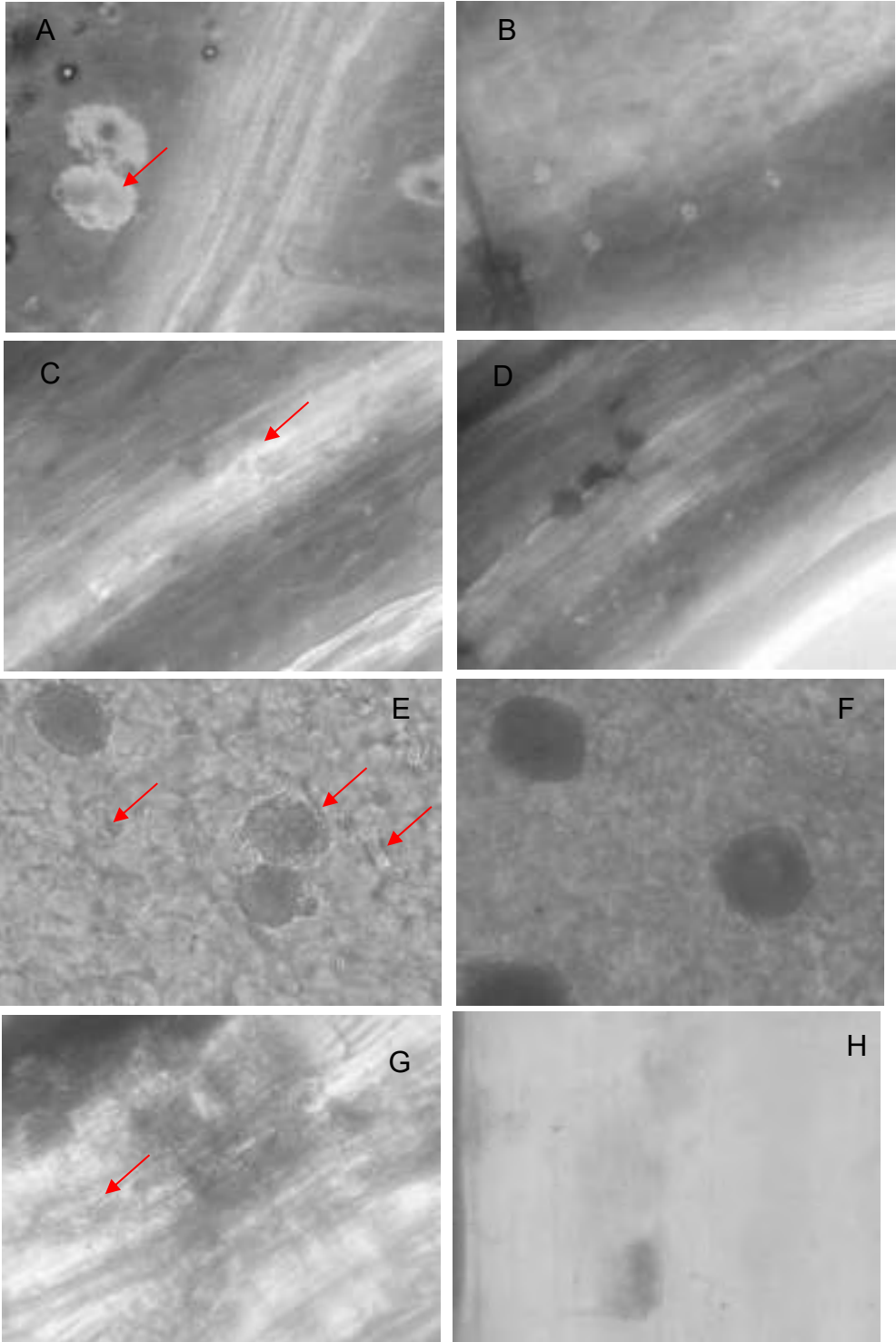
plantas que se le suministro silicio, las hojas tuvieron un tamaño mayor que las plantas sin silicio. La zona de la raíz, las plantas con silicio desarrollaron mayor número de raíces secundarios, aunque de menor longitud. Por el contrario, las plantas sin silicio tuvieron un crecimiento radicular en mayor longitud y con menor número de raíces secundarios. Estas observaciones fueron en ambos ciclos.

Para detectar la presencia de cuerpos de sílice en la planta, se hicieron tinciones de fenol-safranina en hojas y raíces, las cuales fueron observados en un microscopio invertido a 40x. En las hojas de las plantas con NaCl a 180 mM con silicio se observaron aglomeraciones de elementos granulados, en diferentes zonas de la hoja, esta aglomeración de cuerpos puede ser debido a la presencia de sales en conjunto con el silicio, la disposición de estos cuerpos fue en ambos ciclos, pero en el segundo ciclo, en las hojas se observó un cuerpo definido en forma rectangular.

En plantas sin silicio tuvieron un patrón diferente, solo se observaron pequeños cuerpos granulados en toda la hoja, pero las aglomeraciones fueron más frecuentes y de menor tamaño esto en el caso de hojas del ciclo uno, en el ciclo dos se presentaron las mismas aglomeraciones, pero no eran de tamaño pequeño, estas difieren de las plantas con silicio. Mientras que en las raíces de las plantas con silicio de igual forma de observaron cuerpos granulados dispuestos en toda la raíz, aglomeraciones pequeñas al igual que en plantas sin silicio se observó el mismo patrón durante el ciclo uno. En el segundo ciclo, nuevamente se observaron pequeños cuerpos esféricos en algunas zonas de la raíz de plantas con silicio.



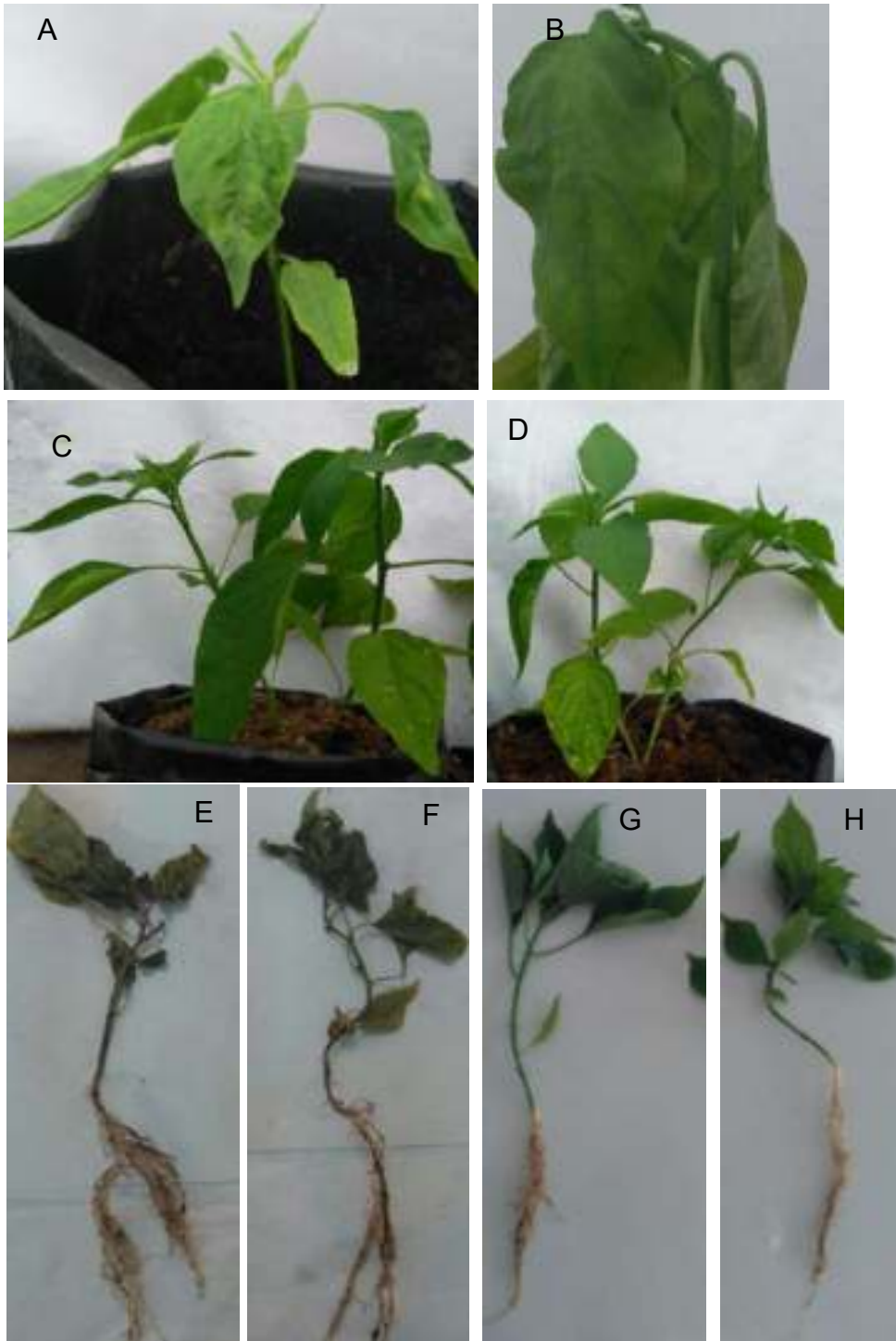
**Figura 2. Plantas de chile Jalapeño A) T1, B) T5, E) T1 y F) T5 del primer ciclo. C)T1, D) T5, G) T1 y H) T5 del segundo ciclo. Celaya, Gto. 2018.**



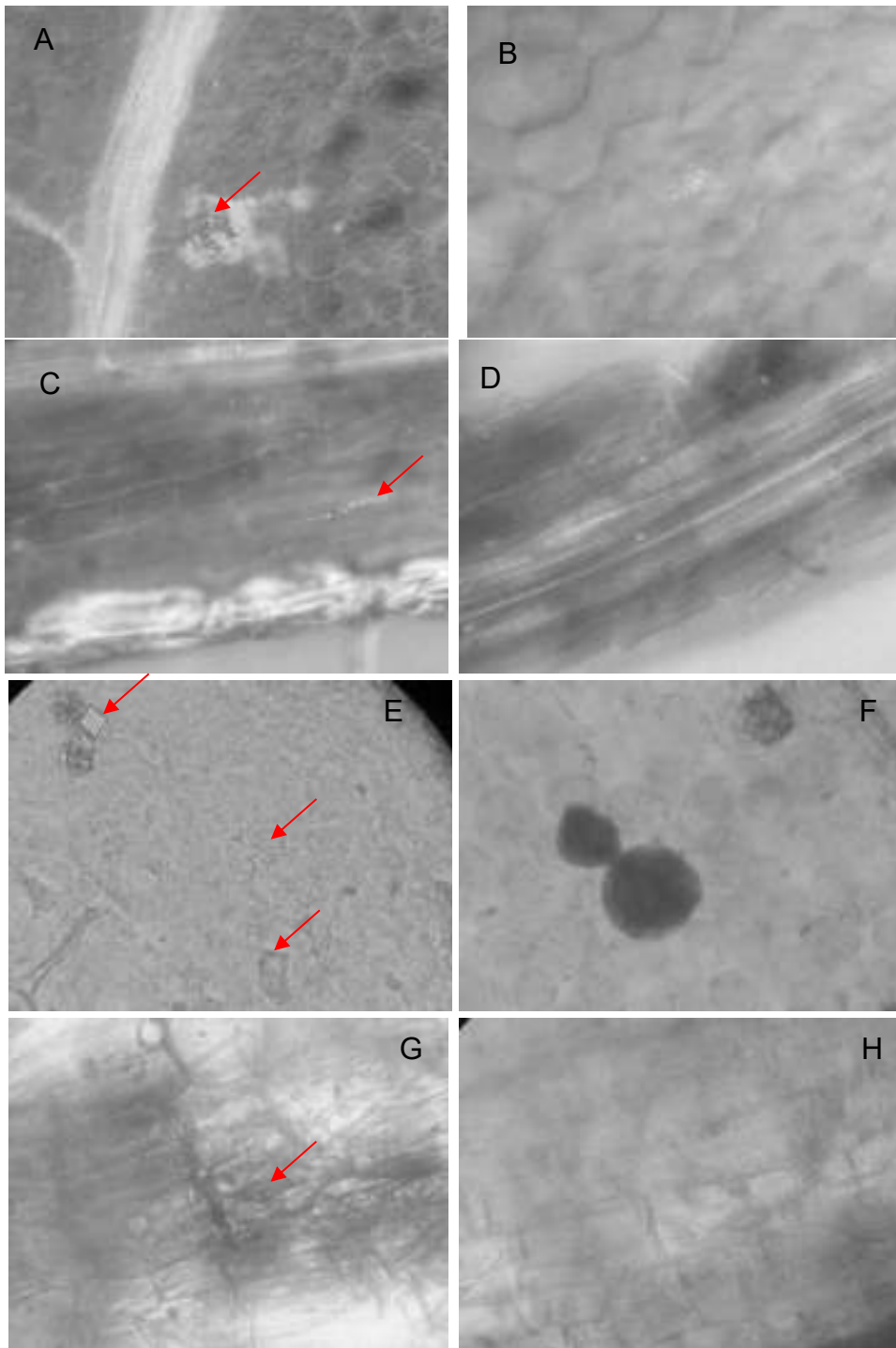
**Figura 3. Hoja de planta de chile Jalapeño A) T1, B) T5; raíz de planta de chile Jalapeño C) T1 y D) T5, ciclo uno, microscopio invertido 40X. Hoja E) T1, F) T5; Raíz G) T1 y H) T5, ciclo dos, microscopio óptico, 40X.Celaya, Gto. 2018.**

En las plantas tratadas con NaCl a 60 mM también presentaron amarillamiento en las hojas, inicialmente las hojas se tornaron de verde pálido, posterior a color a amarillo después de tres semanas en irrigación con NaCl, el crecimiento de los brotes se detuvo, las hojas de las plantas sin silicio tenían un menor tamaño en comparación con las plantas con silicio. En cuanto al desarrollo del sistema radicular, la presencia de silicio permitió el desarrollo de mayor número de raíces laterales, mientras que las plantas sin silicio se enfocó más en una mayor longitud de la raíz primaria y menor número de raíces laterales, las plantas del segundo ciclo presentaron características similares al primer ciclo, en cuanto al grado de desarrollo.

En la localización de cuerpos de sílice en las hojas con tinción de fenol-safranina, en el primer ciclo, en la epidermis de las hojas, se localizaron cuerpos granulados aglomerados en algunas zonas de las hojas de plantas con silicio, mientras que en plantas sin silicio solo se observaron aglomeraciones de cuerpos similares con más frecuencia en la superficie de la hoja. Durante el segundo ciclo también se observaron cuerpos granulados, pero difieren en algunas características, además de aglomeraciones, se observaron cuerpos definidos con forma geométrica; mientras que en hojas sin silicio solo había aglomeraciones de pequeños cuerpos granulados en toda la hoja. En la raíz, así como en NaCl a 180 mM también se observaron cuerpos cristalinos distribuidos en toda la zona en raíces en ambos ciclos. En el caso del segundo ciclo fue más notorio la presencia de estos cuerpos en raíces que fueron tratados con silicio.



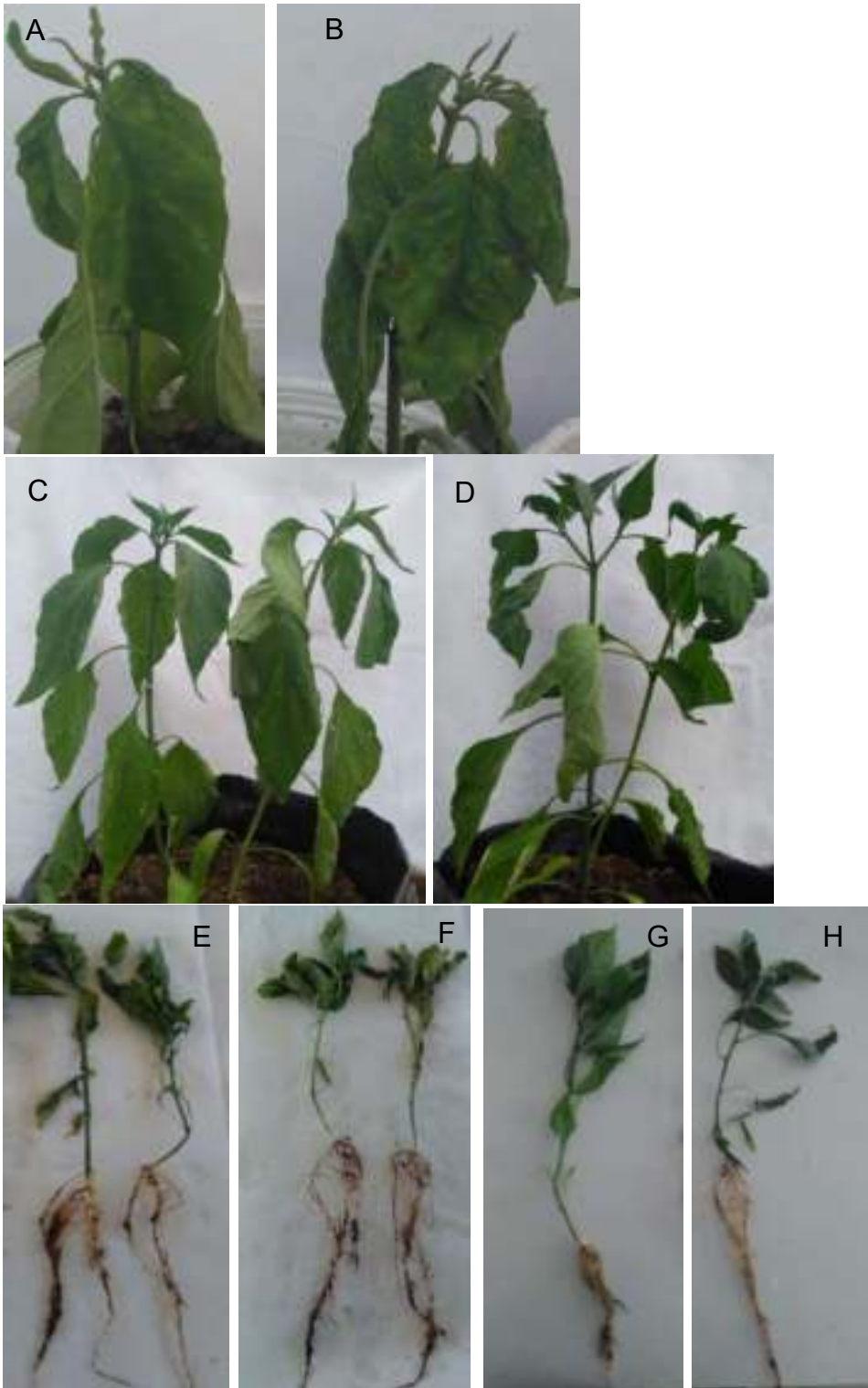
**Figura 4. Plantas de chile Jalapeño A) T2, B) T6, E) T2 y F) T6, ciclo uno. C) T2, D) T6, G) T2 y H) T6, ciclo dos. Celaya, Gto. 2018.**



**Figura 5. Hoja de Planta de chile Jalapeño A) T2, B) T6, raíz C) T2 y D) T6, ciclo uno, microscopio invertido 40X. Hoja E) T2, F) T6, raíz G) T2 y H) T6, ciclo dos, microscopio óptico 40X. Celaya, Gto. 2018.**

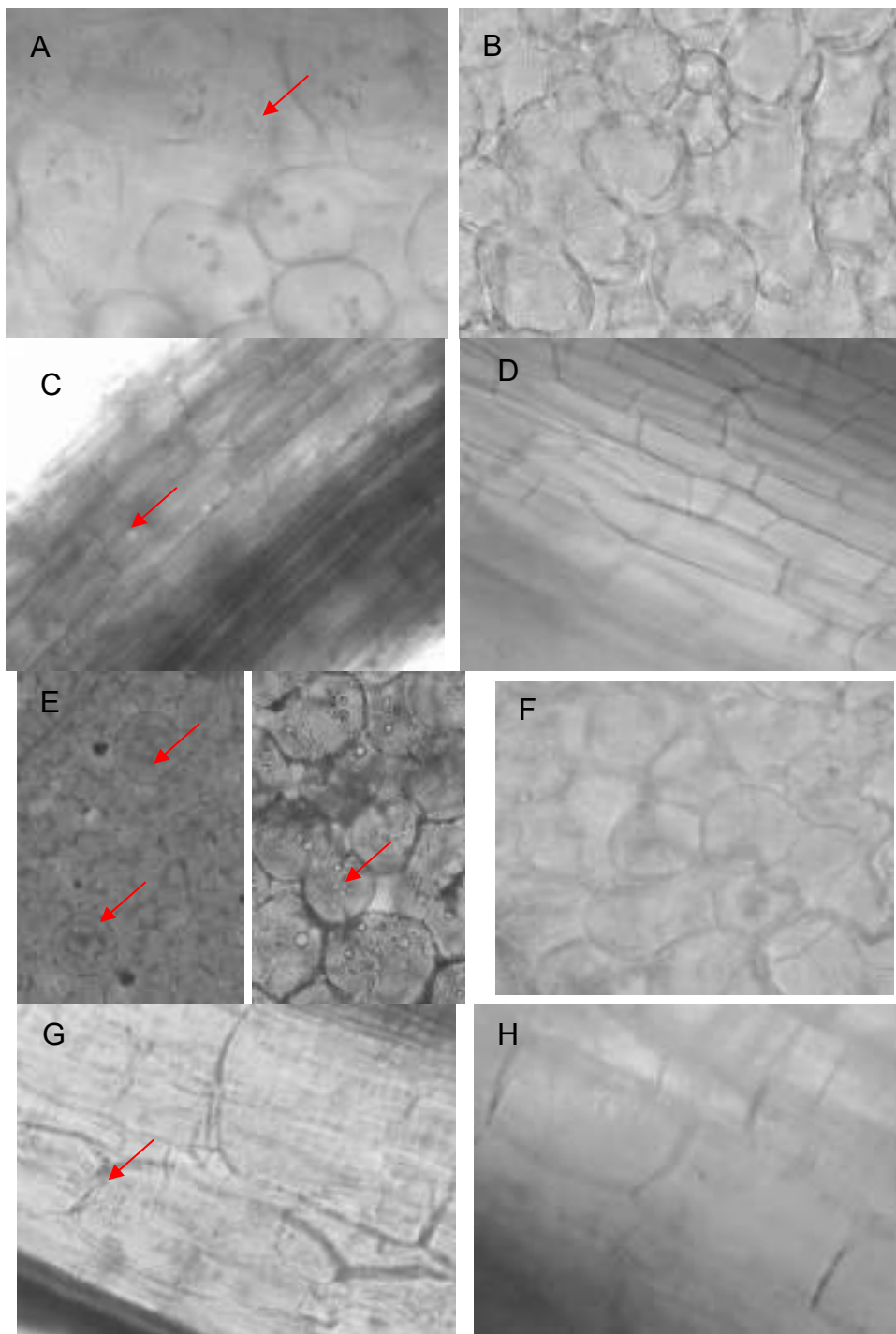
En plantas con déficit hídrico, tanto el primer ciclo como el segundo ciclo, a los ocho días después del último riego empezaron a decaer la posición erecta de las hojas, por la falta de agua. A los diez días las hojas tenían una apariencia de menor turgencia, se empezaron a encoger. La falta de agua causa una deshidratación de las células y por lo tanto pierde la turgencia. El crecimiento del brote se detuvo. El desarrollo del sistema radicular, en las plantas con silicio desarrollaron una raíz primaria poco profunda y con raíces laterales, al igual que sin silicio desarrollaron una raíz primaria profunda y raíces laterales como consecuencia de la privación de agua en el sustrato, tiene un desarrollo higroscópico.

En la búsqueda de cuerpos de sílice por tinción de fenol-safranina, las hojas de las plantas con silicio, observadas en el microscopio invertido a 40X se observaron pequeños cuerpos esféricos y amorfos distribuidos en toda la hoja, aunque se distribuían en pequeños grupos en el primer ciclo; además de esta observación, en el segundo ciclo se vio una característica específica en las células, estas disponían de la formación de un tipo anillo que limitaba la célula hacia el interior, este patrón terminaba en forma puntiaguda. Estos patrones de cuerpos no se observaron en las hojas de plantas sin silicio. Lo que podría indicar que posiblemente corresponde a cristales de silicio. En la zona radicular, también se observaron cuerpos esféricos distribuidos a lo largo de la raíz en ambos ciclos, aunque en esta zona de la planta, las presencias de estos cuerpos no fueron muy frecuentes. En caso, de raíces de plantas sin silicio no se observó ninguna presencia de cuerpos como las que se localizaron en plantas con silicio.



**Figura 6. Hoja de planta de chile Jalapeño A) T3, B) T7, E) T3 y F) T7, ciclo uno. C) T3, D) T7, G) T3 y H) T7, ciclo dos. Celaya, Gto.**

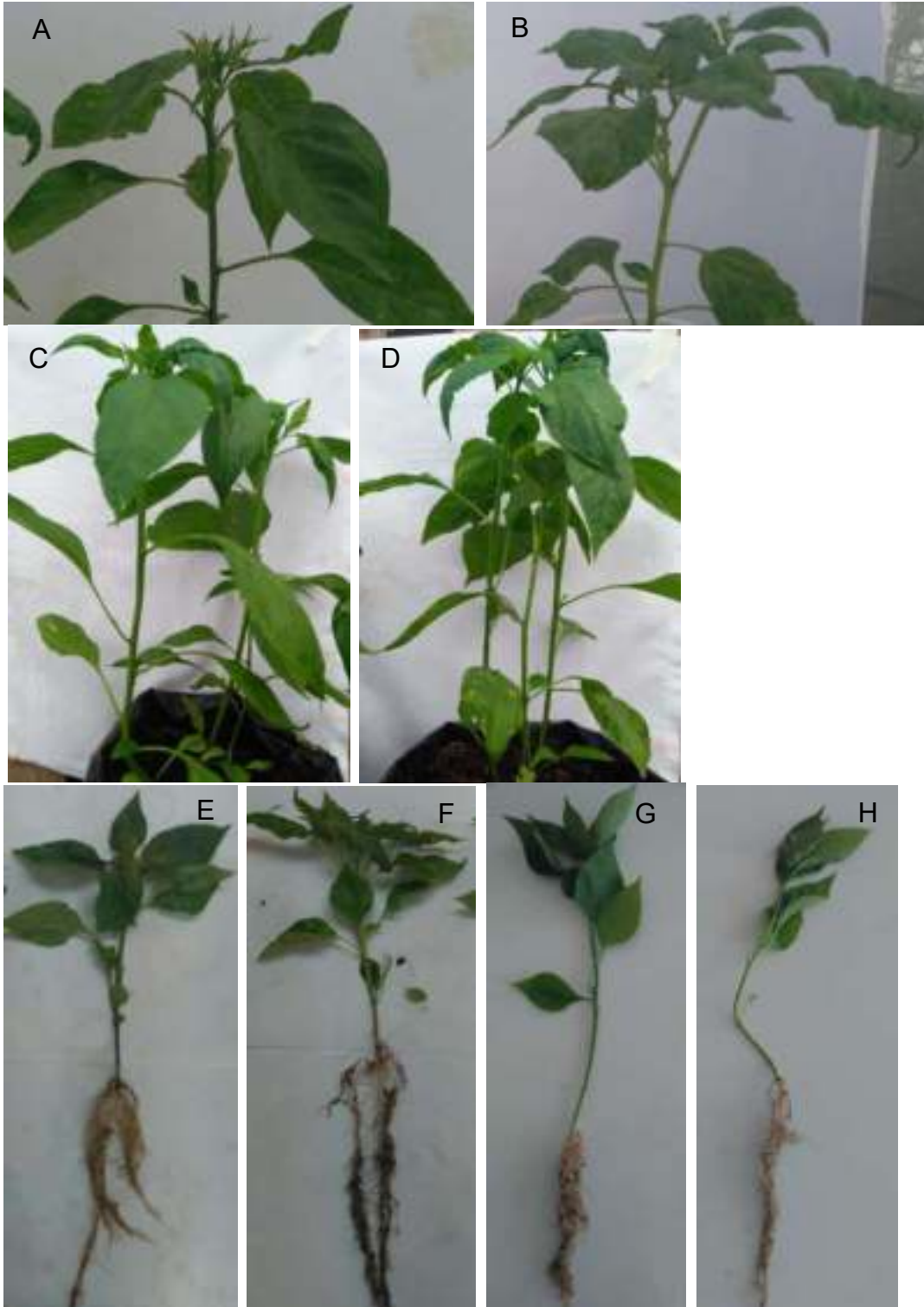




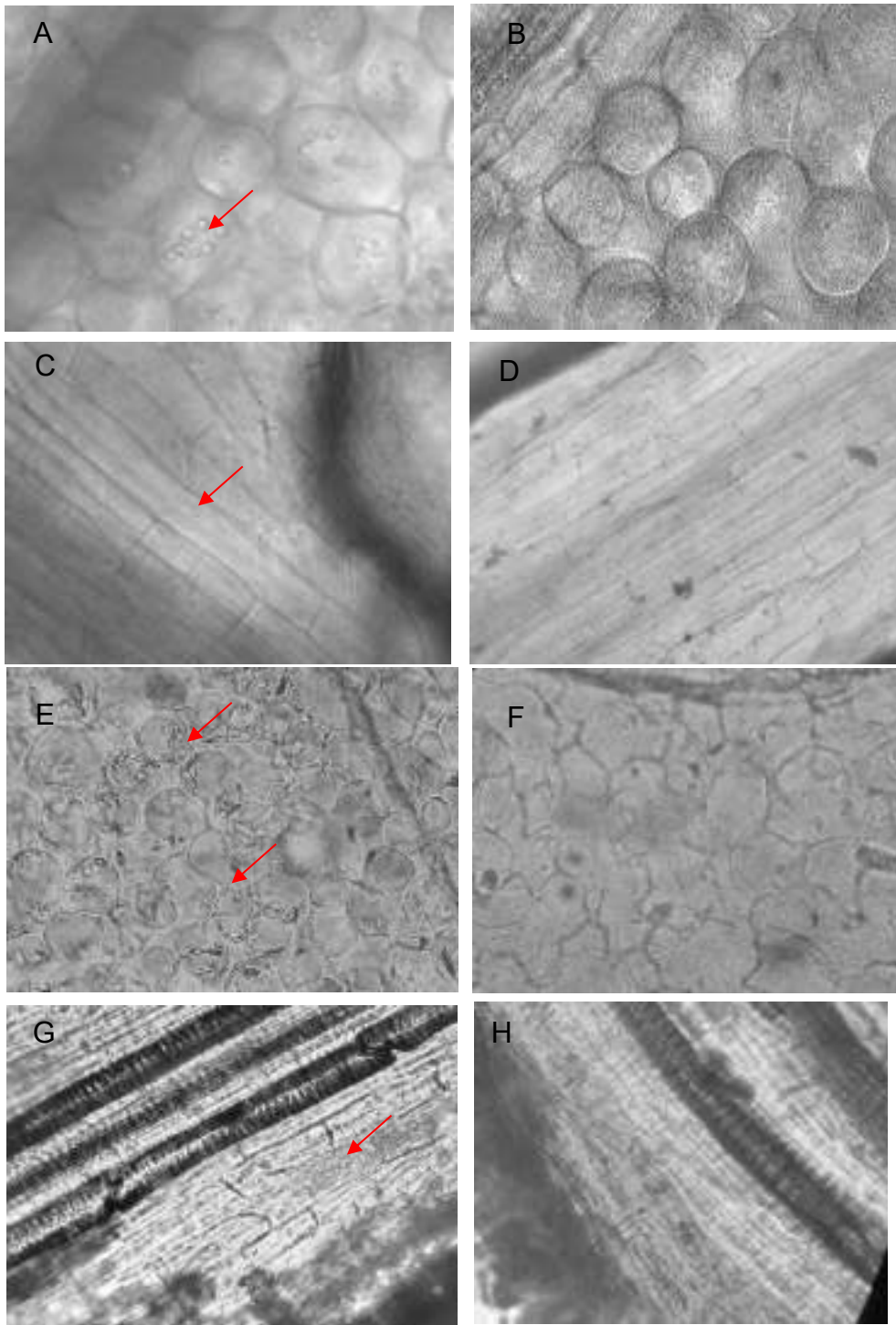
**Figura 7. Hoja de planta de chile Jalapeño A) T3, B) T7, raíz C) T3 y D) T7, ciclo uno, microscopio invertido 40X. Hoja E) T3, F) T7, raíz G) T3 y H) T7, ciclo dos, microscopio óptico 40X. Celaya, Gto. 2018.**

Las plantas que crecieron en condiciones libre de algún estrés biótico o abiótico, la apariencia física en ambos ciclos fue similar, las hojas de las plantas con silicio eran más grandes y verdes, mientras que las hojas de las plantas sin silicio produjo hojas de menor tamaño. En el desarrollo radicular, las plantas con silicio desarrollaron una raíz primaria menos profunda y mayor número de raíces secundarios, mientras que las raíces de plantas sin silicio tuvieron una raíz primaria más profunda y menor número de raíces secundarios.

En la localización de los cuerpos de sílice, las hojas de las plantas con silicio del primer ciclo, se observaron cuerpos esféricos y amorfos distribuidos en grupos en toda la hoja; en el segundo ciclo también se observaron estos cuerpos, pero además de eso, como el caso de plantas con déficit hídrico, se observaron cuerpos de forma puntiaguda que limitaba las células en el interior. Mientras en las hojas de las plantas sin silicio no se observó la presencia de ningún cuerpo. En la zona de la raíz, de igual forma se observaron los mismos cuerpos esféricos distribuidos con menor frecuencia a lo largo de la raíz. En las raíces de plantas sin silicio no se observó la presencia de estos mismos cuerpos, por lo que se podría atribuir a la presencia de silicio estos cuerpos.



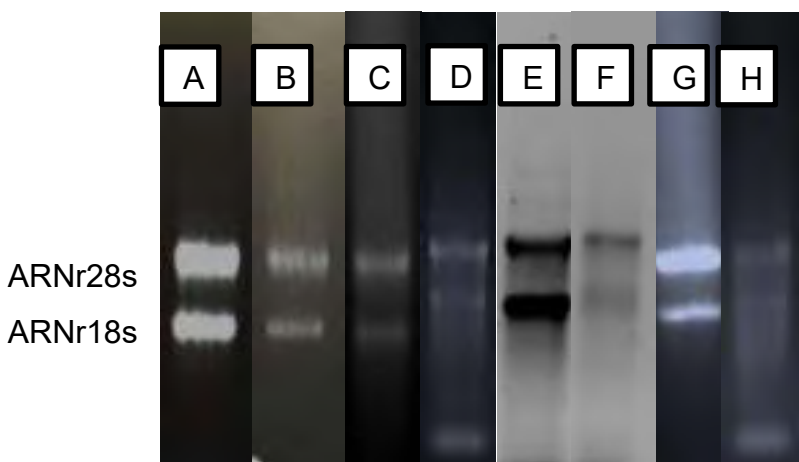
**Figura 8. Plantas de chile Jalapeño A) T4, B) T8, E) T4 y F) T8, ciclo uno. C) T4, D) T8, G) T4 y H) T7 ciclo dos. Celaya, Gto. 2018.**



**Figura 9. Hoja de planta de chile Jalapeño A) T4, B) T8, raíz C) T4 y D) T8, ciclo uno, microscopio invertido 40X. Hoja E) T4, F) T8, raíz G) T4 y H) T8, ciclo dos, microscopio óptico, 40X. Celaya, Gto. 2018.**

## 5.8 CONTENIDO DE ÁCIDO RIBONUCLEICO (ARN)

El contenido de ARN en el tejido radicular de las plantas fue variado en referencia a las condiciones de crecimiento. En el tratamiento de estrés salino a 180 mM con Si la concentración recuperada de ARN fue menor en presencia de Si, la producción de transcritos es menos del 50% con respecto a plantas sin silicio, en cuanto a la calidad A260/280 varía por 0.13 unidades. En los geles de agarosa con Bromuro de Etidio, las bandas de ambos tratamientos se observan integras, se puede observar perfectamente las dos bandas de 28s y 18s.



**Figura 10. Ácido Ribonucleico de tejido radicular de chile Jalapeño. A) T1, B) T5, C) T2, D) T6, E) T3, F) T7, G) T4 y H) T8.**

En el tratamiento con NaCl a 60 mM, de igual forma en plantas que fueron tratadas con Si, se vio menor concentración de ARN, fue solo la sexta parte de lo que se extrajo de plantas que no se les administro Si, en cuanto a la pureza, las plantas con Si, tuvieron un ARN con una pureza de 1.85, mientras que sin Si fue de 2.00 el A 260/280. En los geles de agarosa se pueden observar ambas bandas de 28s y 18s en ambos tratamientos.

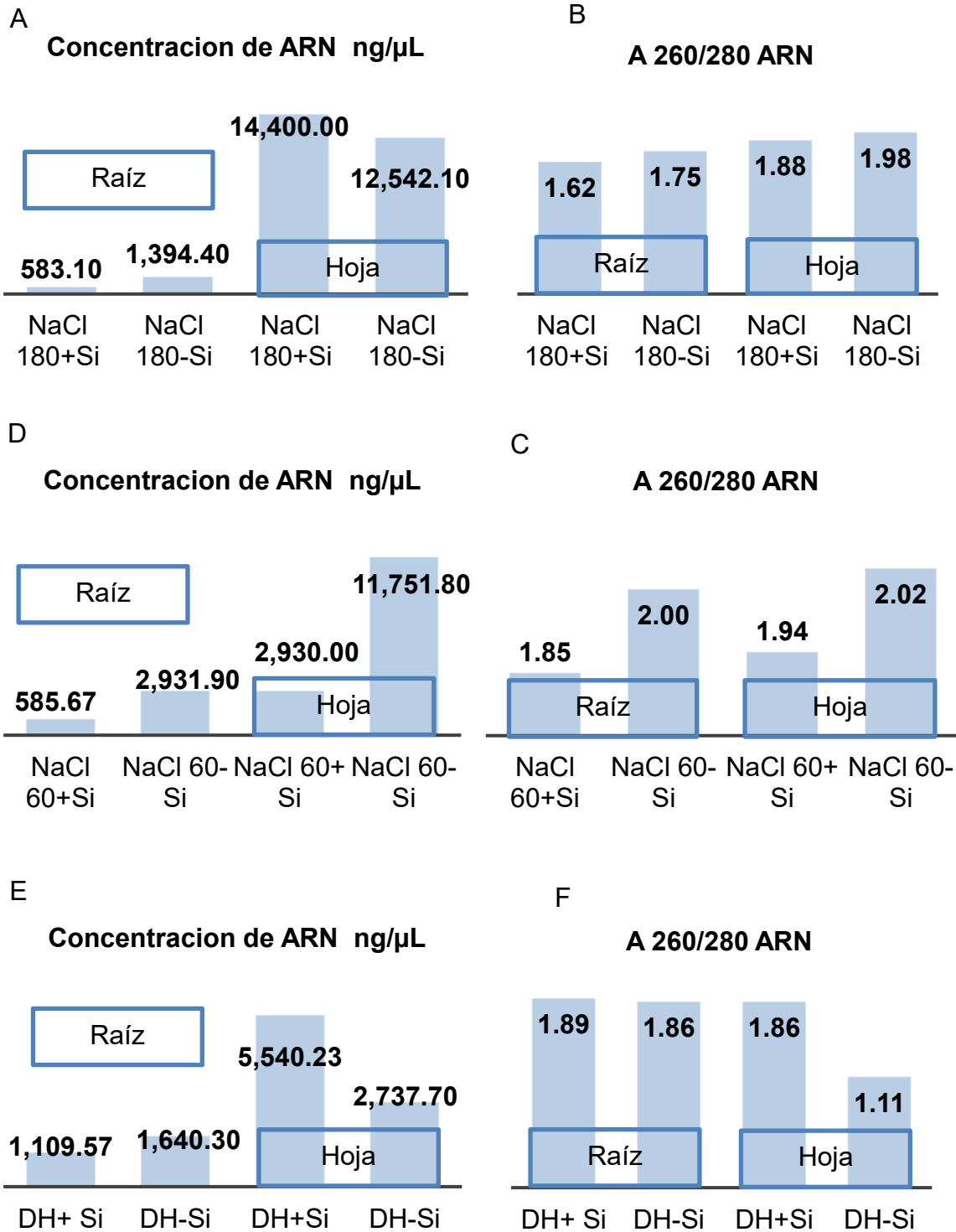
En el tratamiento con déficit hídrico el contenido de ARN en plantas con Si fue una menor concentración de 1109.57 ng/ $\mu$ L (nanogramos/microlitros) mientras que en

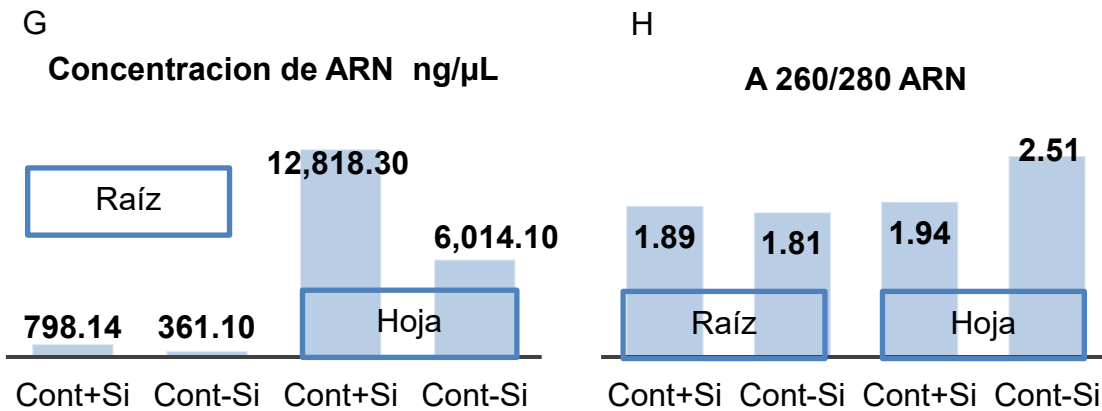
plantas sin Si fue superior, 1640.30 ng/μL, en la pureza del ARN fue casi similar solo hubo una variación de 0.3 unidades, siendo menor el valor de A260/280 de plantas sin Si. En gel de agarosa se puede observar perfectamente la presencia de las bandas de 28s y 18s en ambos tratamientos.

En las plantas que fueron cultivadas en un ambiente sin la inducción de algún estrés biótico o abiótico, y que fueron suministradas con Si, tuvieron mayor concentración de ARN que las plantas sin silicio, tuvieron una concentración menos del 50% comparado con el ARN de plantas con Si. Al igual que en la pureza, el valor de A260/280 de ARN de plantas con Si fue de 1.89, mientras que en ARN de plantas sin Si fue de 1.81. la visualización en geles de agarosa, se puede observar las dos bandas de 28s y 18s de ambos tratamientos.

**Cuadro 13. Contenido de ARN en raíces de plantas de chile Jalapeño crecida en diferentes condiciones de estrés. Celaya Gto, 2018.**

No.	Tratamiento	A260/280	concentración ng/μL)	concentración μg/μL
1	NaCl 180 mM +Si	1.62	583.10	0.58
2	NaCl 180 mM -Si	1.75	1394.40	1.39
3	NaCl 60 mM +Si	1.85	585.67	0.59
4	NaCl 60 mM -Si	2.00	2931.90	2.93
5	Déficit Hídrico +Si	1.89	1109.57	1.11
6	Déficit Hídrico-Si	1.86	1640.30	1.64
7	Control +Si	1.89	798.14	0.80
8	Control -Si	1.81	361.10	0.36





**Figura 11. Contenido de ácido Ribonucleico de hoja y raíz de planta de chile Jalapeño. A) T1, B) T5, C) T2, D) T6, E) T3, F) T7, G) T4 y H) T8. Celaya, Gto. 2018.**

El contenido de ARN en tejido foliar de plantas de chile Jalapeño cultivadas en diferentes condiciones de crecimiento, la concentración de ARN supera al contenido en tejido radicular.

En las plantas con salinidad alta, la concentración de ARN en hojas de plantas que fueron tratadas con Si, tuvieron una mayor concentración de ARN en comparación con plantas sin Si, pero la concentración es 20 veces más en comparación con el ARN contenido en raíces de ambos tratamientos. En cuanto a la pureza el valor de A260/280 fue incrementando de 1.62 y 1.75 en raíz a 1.88 y 1.98 en tejido foliar con y sin Si. En cuanto a plantas con salinidad moderada el contenido de ARN también fue mucho mayor la concentración en hojas que en tejido radicular. Pero se observa que en hojas sin silicio la concentración es cuatro veces más que en hojas con Si. En cuanto a la pureza del ARN en raíces y hojas varia muy poco de 1.92 y 2 en raíces y 1.94 y 2.02 en hojas con y sin Si.

En las plantas que fueron cultivadas en déficit hídrico, de igual forma se observa que el contenido de ARN es mucho mayor en hojas que en raíces independientemente del tratamiento con Si. En las plantas que fueron tratadas con Si, el ARN foliar es casi el doble del contenido de las hojas sin Si. En cuanto a la pureza el valor de A260/280 es



mayor en raíces, junto con ARN foliar con Si, fue de 1.89 y 1.86 y en ARN foliar sin Si fue mucho menor de 1.11 el valor.

Ahora en plantas que se cultivaron sin la inducción de algún estrés biótico o abiótico, se observa el mismo patrón, las raíces tiene menor concentración de ARN comparada con las hojas. Pero en hojas que fueron tratadas con Si el contenido de ARN es casi el doble que el contenido de hojas sin Si. En cuanto a la pureza el valor de A 260/280 es ligeramente menor en raíces de 1.89 y 1.81 con y sin Si. Mientras que, en hojas, el tratamiento con Si, la pureza es menor de 1.94, comparada con el tratamiento sin Si de 2.51.

## VI. DISCUSIÓN

La salinidad afecta la síntesis y estructura de la celulosa, puede despolimerizar los microtúbulos en el citoplasma. Se modifican las paredes celulares. Las raíces pueden desarrollar una barrera de difusión, la exodermis o hipodermis; las cuales van a influir en el movimiento de solutos y prevenir la pérdida de agua. Evita la entrada de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  al xilema. Las paredes celulares en estas capas contienen cantidades grandes de lignina, suberina, proteínas, carbohidratos que van a variar en función del tipo de estrés y el nivel de tensión (Zhao *et al.* 2013).

La variación en el desarrollo espacial de las capas endodérmicas y exodérmicas influye en el transporte de  $\text{Na}^+$ . Además de evitar la entrada de  $\text{Na}^+$  en la estela, las bandas de caspari también pueden retener  $\text{K}^+$  en estas condiciones, por lo tanto, mantener una relación mayor de  $\text{K}^+:\text{Na}^+$  es vital (Byrt *et al.*, 2018). El silicio aumentó el número de capas de células del esclerénquima y aumentó el grosor de la pared celular en *P. lactiflora*, mejoro su resistencia mecánica. Aumento el contenido de lignina del tallo, como una acción cooperativa de los genes de biosíntesis de lignina, siendo este un segundo componente principal de biopolímero de la pared celular de la planta después de la celulosa. La distribución del silicio en esta planta se alojó en la corteza y xilema (Zhao *et al.*, 2013).

### **Contenido relativo de agua**

Las plantas que crecen en un ambiente seco y salino sufren de estrés osmótico, como se muestra en el cuadro 10 de los resultados de esta investigación, el CRA de los tratamientos de salinidad y déficit hídrico presentaron un bajo CRA en comparación con las plantas sin estrés. Aunque no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de salinidad y déficit hídrico con y sin Si en el primer ciclo, cuando las plantas fueron crecidas en déficit hídrico más Silicio, el CRA fue mayor que las plantas sin Si, al igual que en salinidad moderada en el segundo ciclo las plantas con Si fueron estadísticamente superiores que cuando se creció sin Si.

Dentro de los efectos del silicio en ambientes salino, reduce la producción de etileno y aumenta la producción de poliaminas, las cuales regulan el transporte de  $K^+$  y  $Na^+$ , también mejorando la capacidad antioxidante y modificando el potencial osmótico. Dentro de la planta el silicio se polimeriza en el apoplasto, formando una barrera de sílice amorfa, esta reduce la permeabilidad de la membrana y mejora la estructura y estabilidad de las células de la raíz, obstaculiza la penetración de iones de  $Na^+$  en la corriente simplástica (Etesami y Jeong, 2018).

Al igual que la deposición de Si en la exodermis disminuye la entrada de  $Na^+$  al xilema y por consiguiente evita la acumulación en los brotes. En los vasos del xilema el Si regula en transporte de agua, da estabilidad a la unión de hemicelulosa en escases de agua. Y la doble capa de sílice que se forma con la cutícula reduce la pérdida de agua transpiracional (Etesami y Jeong, 2018).

La reducción de la pérdida de agua ayuda a mantener un CRA mayor en plantas cuando se encuentran en un estado de estrés, forma parte de los mecanismos de defensa para la tolerancia. La relación de  $K^+/Na^+$ , el estado iónico es importante en la mejora del estado hídrico de las células, el contenido de Si esta correlacionado positivamente con el contenido de  $K^+$  en los brotes, la aceptación de  $K^+$  reduce la absorción de  $Na^+$  en la salinidad, por inclusión de Si en medio de crecimiento, también aumenta la actividad de la ATPasa/ $H^+$  en la membrana plasmática (Alzahrani *et al.*, 2018). En un estado salino, la mejora de la relación de  $K^+/Na^+$ , contribuye al aumento de materia seca y contenido de cenizas en las plantas estresadas.

Alzahrani *et al.*, (2018) reportó que el Si mantuvo un CRA superior en plantas de trigo durante la sequía y salinidad aproximadamente en un 20% comparadas con plantas con el mismo estrés, pero sin silicio, pero cuando se cultivaron en condiciones normales el efecto de silicio no fue notorio, no hubo diferencias entre el CRA de plantas con Si y sin Si. Al igual que este experimento no se observaron efectos mayores de Si en el CRA en plantas sin estrés.

Los beneficios del Si en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) cuando fueron crecidas en salinidad se debieron a la reducción de  $\text{Na}^+$  en los brotes, pero este efecto no fue observado en cultivo de tomate (*L. esculentum*, Mill. cv. Moneymaker) en las mismas condiciones de crecimiento; en realidad las que fueron tratadas con Si mostraron un mayor contenido de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  que las no tratadas. Sin embargo, las plantas que se trataron con Si mostraron un mayor contenido de agua, fue significativamente mayor que en las plantas no tratadas (Romero-Aranda *et al.*, 2006).

Lo más probable es que la deposición de cristales de silicio debajo de las células de la epidermis de la hoja y los tallos podría disminuir la pérdida de agua. Lo que aumenta la turgencia en la planta, el Si también podría estar involucrado en el metabolismo mejorando la capacidad de expansión celular. Probablemente el contenido de agua de las plantas salinizadas en presencia de silicio contribuyo en la dilución de sales. La naturaleza hidrofílica de la silicona ( $\text{SiO}_2\text{-nH}_2\text{O}$ ), la deposición de  $\text{nH}_2\text{O}$  podría ayudar a mantener el agua y diluir sales para proteger los tejidos fisiológicos del estrés osmótico (Romero-Aranda *et al.*, 2006). La respuesta del Si a diferentes condiciones de crecimiento es variable dependiendo de la especie de planta, los mecanismos de defensa que induce, cambian de un cultivar a otro.

La actividad de las acuaporinas es estrés salino está confirmada que son potenciadas por el silicio, en particular la investigación de la proteína intrínseca de la membrana plasmática de la raíz, desempeña un papel central en la regulación del transporte acuático de célula a célula, los niveles de transcripción de SbPIP1;6, SbPIP2;2 y SbPIP2;6 fueron regulados positivamente por Si. Lo que resulta en una absorción rápida de agua que diluye la concentración de  $\text{Na}^+$ . El mantenimiento de actividad de las acuaporinas puede ser debido a la disminución de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y mejora de los antioxidantes enzimáticos SOD, CAT y APX (Liu *et al.*, 2015).

Etesami y Jeong, (2018) coinciden que el Si aumenta la conductancia hidráulica de la raíz. Atribuyendo este efecto a una alta regulación en la transcripción de algunos genes

en plántulas de Colza (*Brassica napus*) con suplemento de silicio. En sequia se aumentó el CRA de la hoja en comparación con un estrés por sequia solo. También hubo una reducción de los niveles de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y MDA (malondialdehído), un aumento de la actividad de MDHAR (monodehidroascorbato reductasa) y DHAR (dehidroascorbato reductasa) que reciclan el AsA (ascorbato) y aumenta su contenido, el Ascorbato es un potente secuestrador de ROS ayuda a su disminución y daño oxidativo (Hasanuzzaman *et al.*, 2018).

La sequía disminuyó la actividad de CAT, enzima captadora de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Pero la aplicación de silicio revirtió y mejoró la actividad de CAT, en comparación con estrés por sequia solo. Al igual que el glutatión peroxidasa es otra enzima vital que cataliza la reacción de eliminación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mediada por GSH (glutatión reducido). Su actividad se ve reforzado por la aplicación exógena de Si (Hasanuzzaman *et al.*, 2018).

La GB (glicina-betaina) es un osmoregulador, este estabiliza la actividad de las enzimas y proteína, y mantiene la integridad de las membranas celulares durante las tensiones ambientales. La concentración de GB aumenta por la sequía. El silicio disminuye el nivel de GB, esta regulación haría posible que la planta regule el bajo potencial del agua que permite la absorción, amortiguando los efectos del estrés. Al igual que el anabolismo de azúcares solubles es disminuido por el Si, aunque la variación de aumento o disminución de azúcares en ciertos cultivos puede estar relacionada con la diferencia genética entre acumuladores como el arroz, trigo, sorgo y excluidores como las lentejas y el tomate (Biju, Fuentes y Gupta, 2017).

### **Desarrollo de brote y sistema radicular**

En esta investigación, las condiciones de salinidad afectó el desarrollo radicular de las plántulas de chile Jalapeño. La salinidad provoca que las plantas inhiban el crecimiento gravitropico de la raíz. Esta respuesta varía según la concentración de sales en el medio (Galván-Ampudia *et al.*, 2013). En estrés salino las plantas sufren un estrés osmótico, la concentración de iones de sal en la zona radicular dificulta la absorción

y disponibilidad de agua en la planta, es posible que cuando se administra silicio, las plantas tienen mejor conductancia en xilema y mayor disponibilidad de agua dentro de la misma, sin afectar los procesos en la expansión celular.

Las plantas tienen diferentes respuestas al silicio. Este elemento aumentó el crecimiento de brotes de tres cultivares de arroz sin estrés. Aumentó la altura de plántula y peso seco de brote. Pero no tuvo efecto en el peso de la raíz (Shi *et al.*, 2013).

El peso fresco y seco de las plantas de eneldo (*Anethum graveolens*) son disminuidos significativamente por el estrés salino, la salinidad afecta la raíz más que los brotes causando una relación baja de raíz/brotes. Como resultado de la salinidad el peso seco de las plántulas disminuyó el 70%. Su inhibición se mejoró por la adición de Si, sin embargo, todavía era más bajo que en las plantas control (Shekari, Abbasi y Mustafavi, 2017).

Tanto la salinidad como el déficit hídrico afectó el desarrollo de la raíz y brote de las plantas de Chile Jalapeño, los más afectados en el desarrollo de brote fueron los tratamientos de salinidad, el Si no mejoró el crecimiento de la raíz ni de brote en salinidad alta, en salinidad moderada las plántulas aumentaron la relación de raíz/brotes, igual que el eneldo reportado por (Shekari, Abbasi y Mustafavi, 2017). Tanto en el primer ciclo como el segundo el desarrollo radicular de plantas en déficit hídrico fue mayor en el tratamiento con silicio, numéricamente, ya que estadísticamente fueron iguales, como se observa en el cuadro 11.

Sin embargo, en déficit hídrico el desarrollo de brote no se afectó, las plantas tratadas con Si, la longitud de brote fue mayor que las plantas sin Si, tuvieron un desarrollo similar a las plantas sin estrés, pero difieren en el desarrollo radicular, como resultado de la sequía la longitud de raíz es mucho menor que en plantas sin estrés en el primer ciclo. En el segundo se observó un resultado diferente, el desarrollo radicular de plantas en déficit hídrico fue mayor con y sin silicio.

La sequía también impide el crecimiento de los rasgos morfológicos como la altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar. Mientras hay un aumento en la longitud de raíz a expensas de la producción de la materia seca del brote. Hay una reducción de la producción de biomasa fresca y seca debido a la disminución del área foliar seguido de la reducción de fotosintatos (Hussain *et al.*, 2018). La mejora de un sistema de raíces es importante, ya que puede maximizar su capacidad de absorción de agua durante la sequía. El Si aumenta la asignación de materia seca en las raíces a expensas de las hojas y tallos, mejora el sistema de transporte de agua y aumenta la supervivencia de las plantas (Sun *et al.*, 2016).

El silicio ayuda a las plantas a absorber y retener más agua, mejorando el estado de las partes aéreas. La aplicación de 4 mM de Si en trigo durante la sequía, una humedad del 50% de la capacidad de campo, aumento la longitud de brotes de 24.8 cm a 36.2 cm, aunque esta no supero a una planta crecida con Si y sin sequía, que fue de 44.1 cm. El peso fresco de las plantas disminuyo más del 50%, el Si aumento el peso fresco de 1.92 g a 3.09 g, aunque no supero a los controles, 4.21 y 4.62 g sin y con Si. Mientras que en un estrés salino de 200 mM de NaCl y 4 mM de Si elevo de 21.2 cm a 30.3 cm la longitud de brote comparado con una planta en salinidad sin Si y el peso fresco aumento de 1.78 g a 1.98 g (Alzahrani *et al.*, 2018).

Al igual que Qadir *et al.*, (2017) mencionan que el estrés salino con NaCl a 100 mM redujo el área foliar, longitud de hoja y longitud de brote de *Abelmoschus Esculentus* L. en un 58%, 48% y 50%, sin embargo, el silicato cálcico en el follaje mejoro estos parámetros agronómicos en 47%, 42% y 38% respectivamente. Rohanipoor *et al.*, (2013) confirma que la salinidad reduce el peso fresco y seco del brote, y la raíz, área foliar y longitud de tallo, mientras que el Silicio aumento significativamente estos parámetros en maíz. Al igual que el CRA se mejora cuando se aplica silicio. Los procesos de crecimiento son criterios para la evaluación de la sensibilidad de las plantas al estrés abiótico como la salinidad. Donde se afecta la extensibilidad de la pared celular afectando el crecimiento y la división celular.

Por otra parte Torabi, Majd y Enteshari, (2015) mencionan que la salinidad disminuye el índice de estomas en un 21%, reduce la longitud y el ancho de las células estomáticas en un 47% y 37%. Pero en la combinación de silicio y salinidad aumento el índice estomático, alargó las células estomáticas. El aumento del grosor del parénquima empalizada, junto con la succulencia de la hoja parece ayudar a disminuir la saturación de sales y es una característica de compatibilidad para mantener grandes cantidades de agua bajo estrés (Torabi, Majd y Enteshari, 2015).

La alta concentración de NaCl a 250 mM no solo causa la inhibición del crecimiento de brotes y raíces, también disminuyen los niveles de fructanos en tubérculos de alcachofa de Jerusalén (*Helianthus tuberosus*). En el comienzo de la germinación se induce la síntesis de fructanos, mientras que la salinidad activa la enzima degradadora de fructanos (FEH), que aumenta la fructosa libre y reduce la longitud media de la cadena del fructanos, apoya la hipótesis de que los fructanos pueden ayudar a resistencia al estrés salino ya que no solo funciona como reserva de carbohidratos sino que también participa en el ajuste osmótico (Luo *et al.*, 2018).

### **Contenido de materia seca y cenizas totales**

La pérdida de peso seco de brote en genotipos de chile puede variar de 92% en habaneros a 58% en jalapeños (Niu *et al.*, 2010). Estas pérdidas varían dependiendo de las tensiones ambientales en la que están expuestas. La combinación de sequía y Si aumento el contenido de materia seca en cultivos de trigo (*Triticum aestivum*), la presencia de Si como fertilizante aumento la actividad fotosintética, el cual está relacionado con la producción de foto asimilados (Gong *et al.*, 2005). En los resultados obtenidos el silicio aumento la acumulación de MS en déficit hídrico en ambos ciclos.

Katschnig, Broekman y Rozema, (2013) indican que, en condiciones salinas el Si tiene un efecto negativo en la acumulación de materia seca en plantas de *Salicornia dolichostachya* Moss. Mientras que cultivos de arroz con silicio, el porcentaje de



llenado de grano y biomasa seca fueron estadísticamente similares a las plantas control. El silicio tiene diferentes roles en el crecimiento y rendimiento del arroz, mejora las actividades fotosintéticas, pero afecta los atributos de calidad (Mo *et al.*, 2017).

Las cenizas contribuyen al peso seco de los brotes, que aumenta gradualmente a concentraciones más altas de NaCl en las halofitas. La discriminación de isotopos de carbono a menudo está relacionada con la conductancia de estomas, este disminuye con el aumento lineal de la salinidad en el medio de la raíz (Katschnig, Broekman y Rozema, 2013).

Las plantas tratadas con NaCl a 60 mM con y sin Si fueron las que presentaron mayor contenido de cenizas, estadísticamente estos tratamientos fueron iguales en el primer ciclo. En el segundo ciclo esta respuesta varía, las plantas con déficit hídrico y plantas sin estrés y con Si, fueron las que acumularon mayor contenido de cenizas. En la cuantificación de cenizas, se está determinando la cantidad de materia inorgánica presente en la materia vegetal como sales, minerales y metales pesados (Adolf, Jacobsen y Shabala, 2013).

Cuando se aplica Si a plantas con salinidad el porcentaje de cenizas disminuye, posiblemente la planta acumule menor cantidad de sales que cuando está sin Si, así como la acumulación de otros metales. Los tratamientos sin estrés el porcentaje de cenizas es mucho menor en el primer ciclo, se puede inferir que la cantidad de cenizas en salinidad se debe a la presencia de NaCl. En el caso del segundo ciclo, el contenido de cenizas es similar al de los otros tratamientos, pero, sin embargo, se observa en la tabla 12 que las plantas con silicio, numéricamente es menor este porcentaje. La tolerancia de salinidad en Quínoa (*Chenopodium quinoa*) se le atribuye a la retención de K<sup>+</sup>, mantiene altas concentraciones de K<sup>+</sup> en los cotiledones, xilema y savia foliar, mejora la relación de K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>, está involucrada en la turgencia celular, células estomáticas y relaciones hídricas (Adolf, Jacobsen y Shabala, 2013).

Dentro de las cenizas también se está cuantificando el  $K^+$  que podría haberse acumulado positivamente por efecto del silicio. Por otra parte, las plantas tratadas con salinidad y sin Si pudieron haber acumulado una gran cantidad de iones salinos que también se cuantifican en las cenizas. La alta concentración de  $Na^+$  disminuye la captación de  $K^+$  en las raíces, debido al antagonismo de  $Na^+$  y  $K^+$  en las zonas de captación en las raíces. Los efectos del Si en la reducción de concentración de  $Na^+$  en los brotes y raíces puede deberse a la formación de algún complejo entre el Si y el  $Na^+$  en la raíz, que resulta en obstaculizar su movimiento apoplástico de la raíz a las brotes (Shekari *et al.*, 2017).

A si como en salinidad en plantas de tomate, el silicio aumento el contenido de MS en todas las partes de la planta, hubo un aumento de 19.5, 25.4, 13.4 y 21.2% en hoja, tallo, raíz y planta total (Al-aghabary, Zhu y Shi, 2004). El silicio protege el PSII del exceso de energía excitado mediante la promoción de procesos fotoquímicos. Es probable que la capacidad de fijación de carbono mejore y haya un mayor consumo de electrones que es consistente con la mejora inducida por el silicio en la fotosíntesis (Cao *et al.*, 2015).

En plántulas de lenteja (*Lens culinaris*) el peso fresco es modulado por diferentes condiciones de crecimiento, este parámetro disminuye en condiciones de sequía, pero cuando se aplica silicio se mejora, pero no en su totalidad comparado con un crecimiento normal, cuando se aplica únicamente silicio, el peso fresco mejoró significativamente superando los controles. El silicio aumento totalmente el peso seco de las plantas cuando estuvo sin estrés (Biju *et al.*, 2017). Como indica varios autores, el Si puede mejorar el contenido de materia seca de algunos cultivares, y dependiendo de las condiciones de crecimiento, no todas las plantas responden de la misma forma a la presencia de Si, ni desencadena los mismos mecanismos para evadir o superar las tensiones ambientales.

## Contenido de silicio

La acumulación de silicio en plantas de Chile Jalapeño fue en cantidades muy pequeñas, la cantidad más elevada fue de 0.548 mg/g de materia seca, que fue en plantas con déficit hídrico durante el segundo ciclo, lo cual representa una cantidad mínima en comparación con otras plantas como el arroz que acumula hasta el 10% de Si de su peso seco, en plantas de tomate se llega a acumular entre 0.36 y 0.52 mg/g de materia seca en condiciones sin estrés y en estrés abiótico (Kurabachew y Wydra, 2013). El tomate tiene una absorción lenta de silicio, pero aun así, puede acumular cierta cantidad de silicio con la extensión del tiempo de absorción (Cao *et al.*, 2015).

Según Kurabachew y Wydra, (2013) el silicio aplicado a las plantas sin ningún estrés no tiene un efecto, solo después de un estrés desencadena un efecto protector, en observaciones fenotípicas y bioquímicas de tomate, respalda que la idea de protección se basa en la inducción de la resistencia sistémica en lugar de una formación de una barrera mecánica.

No todos los cultivos responden de igual forma a la aplicación de silicio. Esta respuesta varía según la especie, pocas son las especies que acumulan Si, principalmente las monocotiledóneas y gramíneas como el arroz, la familia de las *Poaceae*, *Equisetaceae* y *Cyperaceae*, poco se ha informado sobre las dicotiledóneas (Vilela *et al.*, 2014). Bakhat *et al.*, (2018) hicieron una clasificación de las plantas acumuladoras, intermedias y no acumuladoras, dentro de las solanáceas se ha estudiado el tomate como una planta no acumuladora de Si debido a la poca cantidad de Si que puede acumular menos del 0.5 %. Al igual que el tomate, el Chile (*Capsicum annuum*) pertenece a las solanáceas, puede que acumule Si, pero este será en pequeñas cantidades. Por lo tanto, los efectos del silicio en este cultivo habría de investigar más en diferentes concentraciones más elevadas.

La acumulación de silicio en condiciones de sequía, se va hacia las paredes celulares que reduce los impactos del estrés. Fortalece las membranas de las células y cambia

su permeabilidad. El silicio mejora los efectos de la sequía en genotipos de lentejas por inducción de capacidad de absorción de agua, modula los niveles de osmolitos, regula las actividades enzimáticas hidrofílicas y maquinaria antioxidantes. Su naturaleza hidrofílica y su depósito en las células permite conservar el agua, diluir sales y proteger la fisiología de los tejidos. Modula el metabolismo de las plantas y altera los cambios de las actividades fisiológicas especialmente bajo estrés (Biju *et al.*, 2017).

Las plantas desarrollan diferentes sistemas de defensa, por ejemplo, un sistema antioxidante contra los ROS, a través de las enzimas antioxidantes como el SOD, POD y CAT. Los aumentos de la actividad de POD bajo estrés hídrico podría ser una adaptación de respuesta que contribuye a la tolerancia al estrés. El Silicio puede interferir en el metabolismo del fenol y el efecto depende de las especies de plantas y el tejido, el fenol es uno de los sustratos de la POD como donante de electrones para reducir el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Durante la sequía, el efecto del Si sobre las enzimas antioxidantes varían, no solo entre las especies de plantas sino también en diferentes etapas de crecimiento de la misma planta (Etesami y Jeong, 2018).

También se ha visto que, en cultivo de mango bajo estrés hídrico, hay un aumento de carotenoides, flavonoides y altas concentraciones de antocianinas debido a la suplementación con K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>. El estrés hídrico disminuye significativamente las concentraciones de N, P y K en hojas mango. La aplicación de Si contrarresta estos efectos negativos a través de la mejora de absorción de agua y nutrientes. También se aumenta las concentraciones de carbohidratos totales, fenoles totales, azúcares totales y aminoácidos libres, así como concentraciones de prolina en hojas. La reducción de hormonas de auxinas, giberelinas y citocininas son mejoradas por el silicio (Helaly *et al.*, 2017).

### **Cuerpos de sílice**

Los glucanos de enlace mixto permiten el movimiento de ácido silícico a través de porciones no lignificadas de paredes celulares sin precipitación espontánea. La

distribución organizada de glucanos de enlace mixto y lignina puede regular el movimiento apoplástico de ácido silícico y establecer sitios para la deposición de sílice (Soukup *et al.*, 2017). Algunos autores han observado los cuerpos de sílice en la hoja bandera de arroz con una tinción con safranina, los cuerpos estaban dispuestos a lo largo de la hoja con una forma variada entre cuadrados y rectangulares (Ma *et al.*, 2007). Ma *et al.*, 2001 también observaron cuerpos de sílice dispuestos en forma lineal a lo largo de la hoja de arroz, formando tres hileras de cuerpos amorfos.

Usando una tinción de fenol-safranina observaron células silificadas en la epidermis de hojas de arroz, dispuestas en forma lineal (Yamaji, Mitatni y Ma, 2008). En hojas bandera de trigo observadas en microscopía electrónica de barrido reveló distintas formas de células de silicio, formas de tricomas, fitolitos, estos dispuestos dentro de la epidermis (Neu *et al.*, 2016). Por las diferencias en la morfología de las plantas de arroz, siguen un patrón lineal en la deposición de sílice sobre la hoja. La planta de Chile es una dicotiledónea con una morfología completamente diferente al arroz, por lo tanto, no se esperaba que los cuerpos de sílice siguieran el mismo patrón.

En hojas tratadas con NaCl a 180 mM del segundo ciclo el cuerpo identificado, la forma podría ser similar a un fitolito elongado encontrado en *herbáceas* (Zurro, 2006), está clasificado como almohadas (Albert, 1995). Los otros cuerpos en forma semicircular en estas hojas de Chile Jalapeño poseen cierta similitud con los fitolitos aislados de *Phoenix canariensis* (Afonso, 2004), el cual entra en la clasificación como esqueletos de sílice (Albert, 1995); al igual que los fitolitos de *Cucurbita* recuperados de sedimentos precerámicos tempranos directamente asociados con piedras de moler (Piperno *et al.*, 2008); también fueron aislados en *C. moschata*, son fitolitos esféricos, festoneados de diferentes tamaños en células hipodérmicas y mesocarpales, característicos de especies y variedades de *Cucurbita* (Piperno *et al.*, 2002). En caso de plantas con salinidad a 60 mM el cuerpo en forma de rombo, tiene una estructura similar a un fitolito de sílice recuperado de plantas dicotiledóneas (Albert, 2006), el cual está clasificada como un cuerpo buliforme (Albert, 1995).

Los fitolitos de células cortas de la subfamilia de *Festucoides* se forman en ambientes húmedos y templados principalmente en plantas C3, los fitolitos son producidos principalmente en la epidermis de la hoja y agrupa formas esféricas, rectangulares elípticas o cuadradas. La subfamilia de *Panicoides* se forman en climas secas y templados, principalmente en la epidermis de la hoja. Las células buliformes son frecuentes en monocotiledóneas, se forman en ambientes de alta humedad (Albert, 1995). La formación de fitolitos varía consistentemente con el tipo de ambiente en donde crece la planta y el tipo de especie.

Los fitolitos aislados de mandioca presentan una superficie lisa, de forma campanada, redonda, con múltiples cóncavos. En frutos de Cucurbita los fitolitos recuperados tienen una forma esférica grande con profundas superficies festoneadas de concavidades contiguas en el interfaz de la epidermis y del parénquima. En especies silvestres de Cucurbita acumulaban fitolitos como un medio de defensa hacia los depredadores (Piperno *et al.*, 2000).

La ausencia de fitolitos grandes y sólidos en muchas razas de Cucurbita domesticadas parece estar relacionado con la estructura epidérmica de la corteza. Los cambios pueden ser resultado de la menor presión de herbívoros, redujeron la defensa física que estuvo acompañado de la domesticación. Los fitolitos festoneados son más pequeños en cultivos silvestre que en las domesticadas que también podría estar relacionada con el tamaño de fruta y semilla (Piperno *et al.*, 2000).

La formación de fitolitos en Cucurbita está determinada por un locus genético dominante llamado corteza dura (Hr) que previamente fue identificado como el responsable de la deposición de lignina. Hr es un locus único que controla más de una diferencia fenotípica en plantas silvestres y domesticadas y establece la estructura de dureza de las células del tejido de la corteza bajo los efectos de Hr como un determinante de la morfología de fitolitos (Piperno *et al.*, 2002). Al igual que en *Teosinte* formación de lignina y fitolitos está controlado por un locus tga1 (Piperno *et al.*, 2009).

## Contenido de ácido ribonucleico

El déficit de agua en cultivos de maní (*Arachis hypogaea*) redujo la producción de ARN, la ARNasa del cloroplasto se reguló positivamente en ese cultivo, razón por la cual se puede causar la degradación del ARN durante un estrés hídrico. También se vio la disminución de ribosomas y polirribosomas, el estrés provoca que los ribosomas se amontonen a los ARNm para protegerlos de la degradación, pero los ribosomas se rompen y es una razón más para la degradación del ARNm.

En tejido radicular de maní inducidos a estrés hídrico con Polietilén Glicol (PEG) la concentración de ARN disminuyó conforme aumentaba el porcentaje de PEG, el tratamiento con 0% de PEG tuvo 2.56 µg/µL de ARN y a 20% de PEG disminuyó a 0.58 µg/µL de ARN (Meher *et al.*, 2018). Con respecto a las concentraciones de ARN de los tejidos radiculares de plantas de Chile Jalapeño evaluados en este trabajo la mayor concentración fue de 1.93 µg/µL de ARN en plantas con estrés salino a 60 mM de NaCl y los valores más bajos fueron en tratamientos con salinidad a 180 y 60 mM de NaCl con Si, de 0.58 y 0.59 µg/µL de ARN. La pureza del ARN en la raíz de maní el valor de A260/280 estuvo de 1.88 y 1.83, mientras que en este trabajo estuvo entre 1.62 en plantas con salinidad alta más Si y 2.00 en plantas con salinidad moderada sin Si.

La estructura de las paredes celulares, pigmentos, polisacáridos, polifenoles y otros metabolitos secundarios precipita con el ARN afectando el rendimiento y calidad del mismo. El método de Trizol (Invitrogen) utilizado para extracción de ARN en *Solanum tuberosum* la calidad estuvo entre 1.65 y 2.05 indicando que la contaminación por proteínas es baja en este rango, en las extracciones de ARN de tejido de Chile Jalapeño los indicadores de calidad se encuentran dentro de este rango. Observaron que la extracción de la raíz presentó una menor integridad con respecto al resto de los órganos, posiblemente porque la raíz es más difícil de macerar y la maceración es crítica para conservar la integridad del RNA, si el proceso no se realiza de manera adecuada se producen nucleasas que conducen a la degradación de los ácidos

nucleicos (Hernández y Guzmán-Barney, 2013). En plantas de Chile Jalapeño estresadas con salinidad los tejidos radiculares refuerzan sus barreras de difusión para evitar la entrada de iones salinos lo cual puede afectar también el proceso de mayor aislamiento de ARN.

La concentración de ARN recuperado de tejido radicular en plantas de Chile Jalapeño es menor que la recuperada en tejido foliar. Inicialmente las raíces son las que perciben las primeras señales de estrés durante la sequía lo que podría explicar una menor cantidad de transcritos. En los tejidos estresados se acumulan altos niveles de metabolitos secundarios como parte del mecanismo de defensa de la planta para tolerar condiciones ambientales, esto vuelve difícil el aislamiento de ARN de alta calidad e integridad y libre de proteínas. En las raíces aun es más difícil debido al alto contenido de fibra, alta concentración de carbohidratos, metabolitos secundarios, concentraciones elevadas de compuestos de almacenamiento, inhibidores de enzimas y algunas sustancias del suelo (Avico *et al.*, 2017).

### **Transportadores de silicio**

Los transportadores de Si de tipo canal que han sido identificados, pertenece a una subfamilia de proteína NIP de tipo acuaporinas. La secuencia de aminoácidos predicha está bien conservada en acuaporinas, tiene seis dominios transmembrana y dos motivos Asn-Pro-Ala (NPA). Los NIPs facilitan el transporte pasivo de agua/ o pequeños solutos no cargados como el glicerol, ácido láctico, amoníaco, ácido bórico, arsenito, selenito y ácido silícico. Todos los LSi1 de diferentes especies de plantas pertenecen al grupo NIPIII, que se caracterizan por un filtro de selectividad que comprende Gly (G), Ser (S), Gly (G) y Arg (R). Recientemente los canales de Silicio identificados en cola de caballo (*Equisetum arvense*) pertenecen a otro grupo de la subfamilia de acuaporinas NIP (EaNIP3s). Los EaNIP3s también son permeables al ácido silícico, pero a diferencia de otros transportadores Lsi1, EaNIP3 tienen un filtro de selectividad distinto que comprende S, Thr (T), Ala (A) y R (Ma y Yamaji, 2015).



Lsi2 pertenece a una supuesta familia de transportadores de aniones aun no caracterizados con 11 dominios predichos de la membrana plasmática. Esta muestra alguna similitud con el transportador de salida de arsenito, *ArsB*, identificado en bacterias y Archaea. Lsi2 también transporta arsenito en arroz. Hay tres patrones de efecto de Si en la expresión de los genes Lsi1. Los niveles de expresión de *OsLsi1* y *OsLsi6* y *GmBIP2-1* y *GmNIP2-2* están reguladas negativamente por Si. Mientras que, en maíz (*Zea mays*), cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum aestivum*) Lsi1 no se afectada por el Si, y en pepino (*Cucumis sativus*) es altamente regulada. Además de que *CSiT1* y *CSiT2* en pepino muestra un ritmo circadiano (Ma y Yamaji, 2015).

Una búsqueda de genes transportadoras de Si en la base de datos públicos muestra que genes que codifican para un canal de NIP III y similar a *Lsi2* se encuentra en monocotiledóneas y dicotiledóneas, *gramineae*, *rosaceae*, *cucurbitaceae*, leguminosas. Casi todos los canales de NIP III en angiospermas han conservado residuos de aminoácidos ar/R idénticos (G, S, G y R), por lo tanto, la mayoría se cree que son permeables al Si. Parece que la presencia de genes codificados por proteínas similares a NIP III y Lsi2 en angiospermas no siempre está asociado a la acumulación de Si. Por ejemplo, estos genes están presentes en tomate (*Solanum lycopersicum*), pero el tomate no acumula Si. Estos datos sugieren que otros factores como el nivel de expresión, localización celular y polaridad de Lsi1 y Lsi2 son más importantes para la acumulación de Si (Ma y Yamaji, 2015).

El patrón de deposición de Si en los brotes de cola de caballo es diferente a los observados en plantas superiores. Los cereales muestran una deposición de Si en lugares como tricomas y células guarda. La cola de caballo muestra una deposición abundante y extendida en las células epidérmicas. El Lsi2s de cola de caballo las secuencias comparten menos del 50% de identidad a nivel de aminoácidos con las plantas superiores, cola de caballo posee dos intrones mientras que los otros genes de *Lsi2* tienen solo un intrón y este se expresa en brotes y raíces en cola de caballo, lo que indica que contribuye al transporte de Si (Vivancos *et al.*, 2016).

## VII. CONCLUSIONES

En conclusión, el silicio tiene diferentes respuestas fisiológicas en las plantas dependiendo de las condiciones de crecimiento. En esta investigación el crecimiento en salinidad, la presencia de iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  interactúa con el Si.

Las plantas cultivadas en alta salinidad a 180 mM de NaCl fueron afectadas drásticamente en el contenido relativo de agua, la alta concentración de sales no permitió un mejor desarrollo a las células del sistema radicular tanto en el primer ciclo como el segundo, en crecimiento de brotes también fue afectado, se limitó la expansión celular, lo que condujo al desarrollo de hojas de menor área y amarillentas, lo que afecta negativamente a la captación de energía solar y dióxido de carbono, limitando la producción de fotosintatos, que posteriormente afecta la acumulación de materia seca. La presencia de silicio en este tratamiento, aunque no hubo un efecto significativo, permitió a las plantas desarrollar un área foliar de mayor tamaño.

La salinidad a 60 mM de NaCl fue una concentración que permitió a las plantas mantener un crecimiento mejor que las plantas con 180 mM de NaCl. La combinación con Si condujo a un efecto significativo en el contenido relativo de agua, desarrollo de brote y radícula, comparado con plantas sin silicio.

En el tratamiento de déficit hídrico, el silicio mejoró el contenido relativo de agua, desarrollo de brote, en ambos ciclos agrícolas. La aplicación de silicio, tendió a desarrollar más raíces secundarias en lugar de desarrollar una profunda raíz primaria como en plantas sin silicio.

En plantas que fueron cultivadas sin estrés, no hay una tendencia negativa en plantas con y sin silicio, la mayor observación, fue que en plantas con silicio aumenta el área foliar, y el desarrollo de raíces secundarias.

El contenido de cenizas fue muy variable en todos los tratamientos, la presencia de silicio pudo favorecer de algunos nutrientes minerales benéficos en plantas con déficit hídrico y sin estrés, lo que se ve reflejado en contenido de cenizas, pero en plantas con salinidad, el resultado pudo ser debido a la alta concentración de sales.

En la búsqueda de cuerpos de sílice, se localizaron algunos cuerpos de forma esférica, cuadrada y rectangular en hojas principalmente, en los tratamientos que se le administro silicio. Pero en la cuantificación de Silicio, solo fue posible detectarlo en tratamientos de déficit hídrico y plantas sin estrés, la causa más probable de no identificarlo en plantas con salinidad, es que, posiblemente los iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , pudieron estar conjugados dentro de las células afectando su liberación. Alterando la reacción con el método de cuantificación usando en este experimento.

Dentro de las investigaciones documentadas el chile no se encuentra dentro de los cultivos acumuladores, en este trabajo se demostró que si llega a acumular silicio en cantidades pequeñas y sus efectos en las plantas en salinidad y déficit hídrico no fueron muy marcados a una concentración de 1.7 mM, en un próximo estudio se podría evaluar una concentración más alta y una exposición de tiempo prologada, debido a que el chile absorbe cantidades pequeñas con el tiempo podrá acumular una cantidad significativa que le puede conferir una estabilidad a la planta en condiciones de estrés.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Adebayo, N. A. and Menkir, A. (2014). Assessment of híbridas of drought tolerant maize (*Zea mays* L.) inbred lines for grain yield and other traits under stress managed conditios. *Science Direct*, 28,19-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nigjg.2015.06.004>.
- Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., and Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004>.
- Afonso, V. JA. (2004). Aportaciones de analisis de fitolitos almidones y otros referentes microscópicos al estudio de la prehistoria y arqueología de las islas Canarias: resultados preliminares. *Tabona*. 12, 69-96.
- Aguirre, C., Tztzqui C., P. García, y Raya, JC. (2007). El Silicio en los Organismos Vivos. *Interciencia*, 32(8),504-9.
- Ahmad, P., Abdel, L. AA., Hashem, A., Abd, A. EF., Gucel, S. and Lamon son, P.T. (2016). Nitric Oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in Chickpea. *Frontiers in Plant Science* 7,347. <https://doi:10.3389/fpls.2016.00347>.
- Al-aghabary, K., Zhu Z., and Shi, Q. (2004). Influence of Silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in Tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27(12), 2101-15. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-200034641>.
- Albacete, A., Edmond, G. M., Martinez-Andujar, C., Acosta, M., Sánchez-Bravo, J., Martínez, V., Lutts, S., Dodd, I. C. and Perez-Alfocea, F. (2008). Hormonal changes un relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany*, 59(15), 4119-14131. <https://doi:10.1093/jxb/ern251>.
- Albert, R. M. (2006). Reconstrucción de la vegetación en África Oriental durante el Plio-Pleistoceno a través del estudio de fitolitos: La Garganta de Oldivai (Tanzania). *Asociación Española de Ecología Terrestre*, 15(1), 47-58. ISSN: 1697-2473.
- Albert, C. RM. (1995). Nuevo sistema de analisis descriptivo para fitolitos de Silice. *Pyrenae*, 26, 19-38.

- Aloisi, I., Parrotta L., Ruiz, K. B., Landi, C., Bini, L., Cail, G., Biondi, S. and Del Duca S. (2016). New Insight into Quinoa seed quality under salinity: changes in Proteomic and amino acid profiles, phenolic content, and antioxidant activity of protein extracts. *Frontiers in Plant Science*, 7,1-21. <https://doi:10.3389/fpls.2016.00656>.
- Alzahrani, Y., Kuşvuran, A., Alharby, H. F., Kuşvuran, S. and Rady, M. M. (2018). The Defensive role of Silicon in Wheat against stress conditions induced by drought, salinity or Cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154,187-96. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.057>.
- Amin, USM., Biswas, S., Elias, SM., Razzaque, S., Haque, T., Malo, R. and Seraj, ZI. (2016). Enhanced salt tolerance conferred by the complete 2.3 kb cDNA of the Rice vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> Antiporter Gene compared to 1.9 kb coding region with 5 UTR in transgenic lines of Rice. *Frontiers Plant Science*,7,14. <https://doi:10.3389/fpls.2016.00014>.
- Anser, A., Shahzad, M.A. B., Safdar, H., and Javaid, I. (2012) Increased growth and changes in Wheat mineral composition through Calcium Silicate fertilization under normal and saline field conditions. *Chilean Journal of Agricultura Research*,72 (1),98-103. <https://doi:10.4067/S0718-58392012000100016>.
- Avico, H. E., Acevedo, M. R., Calzadilla, I. P., Ruiz, A. O. and Sansberro, A. P. (2017). Isolation of high quality RNA soil-grown Ilex paraguariensis root suitable for next-generation sequencing and gene expression analyses. *Plant Omics Journal*,10(4), 205-209. <https://doi:10.21475/poj.10.04.17.pne745>.
- Bakhat, H. F., Bibi, N., Zia, Z., Abbas, S., Hammad, H. M., Fahad, S., Ashraf, M. R., Shah, G. M., Rabbani, F., and Saeed, S. (2018). Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: review. *Crop protection*, 104, 21-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.008>.
- Biju, S., Fuentes, S., and Gupta, D. (2017). Silicon improves seed germination and alleviates drought stress in lentil crops by regulating osmolytes, hydrolytic enzymes and antioxidant defense system. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 250-264. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.001>.
- Byrt, S. C., Munns, R., Burton, R. A., Gilliham, M. and Wege, S. (2018). Root cell wall

- solutions for crop plants in saline soils. *Plant Science*, 269,47-55. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.12.012>.
- Cao, B. L., Ma, Q., Zhao, Q., Wang, L., and Xu, K. (2015). Effects of silicon on absorbed light allocation, antioxidant enzymes and ultrastructure of chloroplasts in tomato leaves under simulated drought stress. *Scientia Horticulturae*, 194, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.037>.
- Caro, E. M., Morales C. L. y Santan J. R. (2014). Competitividad mundial de la producción de chile verde de México. *Revista de economía*. 32,95-128.
- Castellanos, G. I., de Mello, P. R., y Silva, C. C. N. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Revista cultivos tropicales*, 36,16-24. ISSN: 0258-5936. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193243640002>.
- Castellon-Martinez, E., Chavez-Servia, JL., Carrillo-Rodríguez, JC. y Vera-Guzmán AM. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annum* L.) nativos en los valles centrales de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 1-7. ISSN:0187-7380.
- Chávez, S. L., Álvarez, F. A. y Ramírez, F. R. (2012). Apuntes sobre algunos reguladores del crecimiento vegetal que participan en la respuesta de las plantas frente al estrés abiótico. *Cultivos Tropicales*, 33(3), 47-58. ISSN: 1819-4087.
- Chiba, Y., Mitani, N., Yamaji, N. and Feng M. J. (2009). HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. *The Plant Journal*. 57, 810-818. <https://doi:10.1111/j.1365-313X.2008.03728.x>.
- Costa, S. BN., Dias, G. GM., Silva, C. de J. I., Aparecida, De A. F., Aparecida, Da S. F. and Pasqual, M. (2016). Effects of Silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38(4),503. <https://doi:10.4025/actasciagron.v38i4.30939>.
- Decima, O. C., Otegui, M. E., Baronil, I., Beznec, A., Faccio, P., Bossio, E., Blumwald, E. and Lewi, D. (2016). Water deficit stress tolerance in maize conferred by expression of anisopentenyltransferase (IPT) gene driven by a stress-andmaturation-induced promoter. *Journal of Biotechnology*, 220, 66-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.01.0147>.
- De la Roza-Delgado, B., Martínez, H. A. y Argamenteria, G. A. (2002). Determinación

- de materia seca en pastos y forrajes de la temperatura de secado para analisis. *Pastos*, 32(1):91-104.
- Deveci, M. and Pitir, M. (2016). Effect of water deficiency on physiological and chemical properties of Pepper grown in greenhouse. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(3), 587-96. [http://dx.doi:10.15666/aeer/1403\\_587596](http://dx.doi:10.15666/aeer/1403_587596).
- Duan, L., Dietrich, D., Han, N. C., Yeen, C. PM., Bhalerao, R., Bennett J. M. and Dinneny R.J. (2013). Endodermal ABA signaling promotes lateral root quiescence during salt stress in Arabidopsis seedlings. *The Plant Cell*, 25(1),324-41. <http://www.plantcell.org/lookup/doi/10.1105/tpc.112.107227>.
- Epstein E. (1994) The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 11-17.
- Etesami, H., and Jeong, B. R. (2018). Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 881-896. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063>..
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009) Exportaciones: País por producto. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. Octubre, 2016. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>.
- Feng, M. J., Yamaji, N., Mitani, N., Tamai, K., Konishi, S., Fujiwara, T., Katsuhara, M. and Yano, M. (2007). An efflux transporter of silicon in rice. *Nature*, 448:209-212. <https://doi:10.1038/nature05964>.
- Florido, M. y Bao, L. (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 35, 70-88.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2004). Manual Hot pepper seed and crop production in the Bahamas. Roma, Italia, 39.
- Galvan-Ampudia, C.S., Julkowska, M. M., Darwish, E., Gandullo, J., Korver, R.A., Brunoud, G., Haring, M. A., Munnik, T., Vernoux, T. and Testerink, C. (2013). Halotropism is a response of plant roots to avoid a saline environment. *Current Biology*, 23, 2044-2050. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.08.042>.
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., y Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative

- damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169(2), 313-321.  
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.023>.
- González, J. A. (2010). El cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.) Boletín 9 junio 2010.
- González, M. E., Ceballos, M. J. y Benavides, B. O. (2015). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en invernadero con diferentes niveles de Silicio. *Revista de ciencias agrícolas*. 32: 75-83. ISSN: 0120-0135.
- González, M. L., González, C. M. y Ramírez, R. (2002). Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. *Cultivos tropicales*, 23(2):27-37.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T. I., Khan, M. I. R. and Fujita, M. (2018). Silicon-mediated regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems confers drought stress tolerance in *Brassica Napus* L. *South African Journal of Botany*, 115:50-57.  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0254629917308876>.
- Hasegawa, P. M. (2013). Sodium (Na<sup>+</sup>) homeostasis and salt tolerance of plants. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 19-31.  
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.03.001>.
- Helaly, M. N., El-Hoseiny, H., El-Sheery, N. I., Rastogi, A., y Kalaji, H. M. (2017). Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 31-44.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.021>.
- Hernández G. AK y Guzmán-Barney M. (2013). Comparación de extracción de RNA para la detección de Potato yellow vein virus (PYVV) en diferentes órganos de *Solanum tuberosum* Grupo Phureja. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 30 (1), 71-81.
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M. and Nawaz, A. (2018). Drought stress in Sunflower: physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, 201, 152-66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). Prontuario de información municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Celaya, Guanajuato. Disponible en línea: [http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geografico](http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geografico)



[s/11/11007.pdf](#).

- Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícolas y Pecuarias (2010) producción de plántulas de chile en invernadero. Folleto técnico. ISBN: 978-607-425-300-9.
- Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícolas y Pecuarias (2008). Principales enfermedades del chile (*Capsicum annuum* L.). Folleto técnico, 15. ISSN: 978-607-425-055-8.
- Katschnig, D., Broekman, R., and Rozema, J. (2013). Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* moss: Growth, morphology and physiology. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.04.002>.
- Król, A. and Stanisław, W. (2017). Changes in the proteome of grapevine leaves (*Vitis Vinifera* L.) during long-term drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 211, 114-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2016.11.016>.
- Kurabachew, H. and Wydra, K. (2014) Induction of systemic resistance and defense-related enzymes after elicitation of resistance by rhizobacteria and silicon application against *Ralstonia solanacearum* in tomato (*Solanum Lycopersicum*). *Crop protection*, 57, 1-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.021>.
- Liu, P., Yin, L., Wang, S., Zhang, M., Deng, X., Zhang, S., and Tanaka, K. (2015). Enhanced root hydraulic conductance by aquaporin regulation accounts for silicon alleviated salt-induced osmotic stress in *Sorghum bicolor* L. *Environmental and Experimental Botany*, 111, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.10.006>.
- Luo, R., Song X., Li, Z., Zhang A., Yan, X. and Pang Q. (2018). Effect of soil salinity on Fructan content and polymerization degree in the sprouting tubers of Jerusalem Artichoke (*Helianthus Tuberosus* L.). *Plant Physiology and Biochemistry* 125, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.01.025>.
- Ma, J. F., Yamaji, N., Mitani, N., Tamai, K., Konisho, S., Fujiwara, T., Katsuhara, M. and Yano M. (2007). An Efflux Transporter of Silicon in Rice. *Nature*, 448(7150), 209–12. <https://doi:10.1038/nature05964>.
- Ma, J. F. and Yamaji, N. (2015). “A Cooperative System of Silicon Transport in Plants. *Trends in Plant Science* 20(7), 435-442.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>.

- Ma, J. F., Goto, S., Tamai, K. and Ichii, M. (2001). Role of root hairs and lateral roots in Silicon uptake by Rice. *Plant Physiol*, 127, 1773-80. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.010271>.
- Ma, J. F. (2004). Role of Silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(1),11-18. <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447>.
- Ma, J. F., Yamaji, N. and Mitani-Ueno, N. (2011). Review Transport of Silicon from Roots to Panicles in Plants. *The Japan Academy*, 7, 377-385. <https://doi:10.2183/pjab.87.377>.
- MacNeish, R.S. (1964). Ancient Mesoamerican civilization. *Science*, 143, 531-537.
- Mahmood, S., Daur, I., Al-Solaimani, SG., Ahmad, S., Madkour, MH., Yasir, M., Hirt, H., Ali, S. and Ali, Z. (2016). Plant growth promoting Rhizobacteria and Silicon synergistically enhance salinity tolerance of Mung Bean. *Frontiers Plants Science*, 7,876. <https://doi:10.3389/fpls.2016.00876>.
- Marodin, J. C., Resende, T.V. J., Morales G. F, R., Faria V. M, Trevisam, R. A., Figueiredo, S. T. A. and Dias M. D. (2016). Tomato post-harvest durability and physicochemical quality depending on Silicon sources and doses. *Horticultura Brasileira*, 34(3), 361–66. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362016003009>.
- Mauad, M., Costa, C. CA., Stephan, N. A., Grassi, F.H. and Pereira, L. GP. (2016). Effects of Silicon and drought Stress on biochemical characteristics of leaves of upland Rice cultivars. *Revista Ciencia Agronómica*, 47(3), 532-39. <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20160064>.
- Maynard, D. N. and Hochmuth, G. J. (2007) Knott's Handbook for vegetable growers. Fifth edition. John Wiley and sons Inc. N.Y., U.S.A. 621.
- Meher, S., P., K., Ashok R. K. and Manohar, R. D. (2018). Effect of PEG-6000 Imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2), 253-58. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.04.008>.
- Mendoza-Sanchez, L., Mendoza-Lopez, MR., García-Barradas, O., Azuara-Nieto, E., Pascual-Pineda, L. and Jimenez-Fernandez, M. (2015). Physicochemical and

- antioxidant properties of Jalapeño pepper (*Capsicum annuum* Var. Annuum) during storage. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(3), 229-241. <https://doi:10.5154/r.rchsh.2015.06.010>.
- Mitani, N., Chiba, Y., Yamaji, N. and Feng, M. J. (2009) Identification and characterization of maize and barley Lsi2-like silicon efflux transporters reveals Silicon uptake system from that in rice. *The Plant Cell*, 21, 2133-2142. <https://doi:10.1105/tpc.109.067884>.
- Mitani, N., Feng, M. J. and Iwashita, T. (2005). Identification of the Silicon form in xylem sap of rice (*Oryza sativa* L.) *Plan Cell Physiology*, 46(2), 279-283. <https://doi:10.1093/pcp/pci018>.
- Mitani, N., Yamaji, N., Ago, Y., Iwasaki, K. and Feng, M. J. (2011). Isolation and functional characterization of an influx Silicon transporter in two pumpkin cultivars contrasting in Silicon accumulation. *The Plant Journal*. 66, 231-240. <https://doi:10.1111/j.1365-313X.2011.04483.x>.
- Mitani, N., Chiba, Y., Yamaji, N. and Ma, J. F. (2009) Identification and characterization of Maize and Barley Lsi2-Like Silicon efflux transporters reveals a distinct Silicon uptake system from that in Rice. *The Plant Cell*, 21, 2133-2142. <https://doi:doi/10.1105/tpc.109.067884>.
- Mo, Z., Lei, S., Ashraf, U., Khan, I., Li, Y., Pan, S., Tang, X. (2017). Silicon fertilization modulates 2-acetyl-1-pyrroline content, yield formation and grain quality of aromatic rice. *Journal of Cereal Science*, 75, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.014>.
- Morán-Bañuelos, S. HH., Aguilar- Rincón, V. H., Corona-Torres. T., Castillo-González. F., Soto-Hernández, R. M. y San Miguel-Chávez, R. (2008). Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia*, 42(7),807–16.
- Moreno, F. LP. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. *Agronomía Colombiana*, 27(2),179–91.
- Martin-Sauceda, S. S. (2016). Generación de mutantes de inserción de Tomate cultivado y silvestre e identificación de genes implicados en procesos de desarrollo y tolerancia a estrés abiótico. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.120-126.

- Morón, R. A., y Alayón, G. J. A. (2014). Productividad de chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con manejo orgánico o convencional en Calakmul, Campeche, México. *Revista Avances de Investigación Agropecuaria*, 18, 35-40.
- Narez-Jiménez, C., De-la-Cruz-Lázaro, E., Gomez-Vazquez, A., Castañon-Najera, G., Cruz-Hernández, A. y Márquez-Quiroz, C. (2014). La Diversidad morfológica in situ de chiles silvestres (*Capsicum* Spp.) de Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(3), 209–215.
- Nawaz K., Hussain K., Majeed A., Khan F., Afghan S. and Ali K. (2010). Fatality of salt stress to plants: Morphological, physiological and biochemical spect. *African Journal of Biotechnology*. 9(34), 5475-5480.
- Neu, S., Schaller, J. and Gert, D. E. (2016). Silicon availability modifies nutrient use efficiency and content, C: N: P stoichiometry, and productivity of winter Wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Nature*. <https://doi.org/10.1038/srep40829>.
- Niu, G., Rodríguez S.D., Call, E., Bosland W. P., Ulery, A. and Acosta, E. (2010). Responses of eight chile peppers to saline wáter irrigation. *Scientia Horticulturae*, 126, 215-222. <https://doi:10.1016/j.scienta.2010.07.016>.
- Padayatt, S. J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P. K., Song, J., Koh, W. S., Levine, M. (2001). Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. In: Handbook of antioxidants. cadenzas, E.; Packer, I. (eds) 2nd edition. CRC press. Washington DC, USA. 117-145.
- Palazón, C. y Palazón, I. (1989). Estudios epidemiológicos sobre la Tristeza del pimiento en la zona del Valle Medio del Ebro. *Bol. San. Veg. Plagas*, 15, 233-262.
- Pan, Y. Q., Guo, H., Wang, S.M., Zhao, B., Zhang, J.L., Ma, Q., Yin, H.J. and Bao, A. K. (2016). The Photosynthesis, NaC/KC homeostasis and osmotic adjustment of atriplex canescens in response to salinity. *Frontiers Plants Science*, 7, 848. <https://doi:10.3389/fpls.2016.00848>.
- Parra-Terraza, S., Baca-Castillo, G. A., Carrillo-Gonzalez, R., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Garza, A. y Trejo-López, C. (2004). Comparación de tres métodos de analisis de silicio en tejido foliar de pepino. *Terra Latinoamericana*, 22(4), 401-407.
- Pérez-Torres, E., Paredes C. M., Polanco V. and Becerra, B. V. (2009). Gene expression analysis: a way to study tolerance to abiotic stresses in crops species.

- Chilean Journal of agricultural research*, 69(2), 260-269.
- Petruzzi, H. J., Strizler, N. P., Ferri, C. M., Pagell, J. H. y Rabotnikof, C. M. (2005). Determinacion de materia seca por métodos indirectos: utilización del horno a microondas. EEA INTA. 88, 8-11.
- Pickersgill, B., (1991). Cytogenetics and evolution of *Capsicum L*". En: Tsuchiya T. y Gupta P.K. (Edrs.) *Chromosome engineering in plants: Genetics, breeding, evolution*. Part B. Elsevier, 139-160.
- Pickersgill, B., (1984). Migration of chili peppers, *Capsicum spp.* in the Americas. In: Papers of the peabody museum of archeology and Ethnology. Ed. for Stone D. vol. 76. Harvard University Press, 105-123.
- Pinedo, G. JA. (2011). Evaluación de dosis de Silicio en el rendimiento del Pepino híbrido (*Cucumis sativus L.*) Variedad stonewall F1, Lamas-San Martin. Tesis. Universidad Nacional de San Martin-Tarapoto-Perú. 56-62.
- Piperno, R. D., Holst, I., Wessel-Beaver, L. and Andres, C. T. (2002). Evidence for the control of phytolith formation in Cucurbita fruits by the hard (Hr) genetic locus: Archaeological and ecological iplications. *PNAS*, 99(16), 10923-10928. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.152275499](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.152275499).
- Piperno, R. D., Ranere, J. A., , Holst, I., Iriarte, J. and Dickau, R. (2008). Starch grain and phytolith evidence for each early ninth millennium B. P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *PNAS*, 106(13), 5019-5024. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0812525106](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0812525106).
- Preciado, R. P., Castillo, G. A. B., Torres, J. I. T., Kohashi-Shibata J., Chávez, I. T. y Garza, A. M. (2002) Nitrógeno y Potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra Latinoamericana*, 20: 267-276.
- Qadir, A., Ali, K. S., Masood, S., Irshad, M., Kaleem, F., Kumar, S. and Shahzad, M. (2017). Exogenous Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> enrichment reduces the leaf apoplastic Na<sup>+</sup> and Increases the growth of Okra (*Abelmoschus Esculentus L.*) under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 214: 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.008>.
- Quero, E. (2008). La biosilificación: proceso biológico fundamental en la producción agrícola. México. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/biosilificacion-proceso-biologico-fundamental-t31973.htm>.

- Quintal, O. W., Pérez-Gutiérrez, A., Lantournerie, M. L., May-Lara, C., Ruiz, S. E. y Martínez, C. A. (2012). Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile Habanero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2), 155–60.
- Quiroga, S. AM. (2016). Respuesta a las aplicaciones de Silicio en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedad Modan, en condiciones de estrés hídrico bajo cubierta en Culiacán, Sinaloa. Tesis. Universidad de ciencias aplicadas y ambientales U. D.C. A. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería agronómica Bogotá. 52-58.
- Rodriguez-Delfin, A., Posadas, A. y Quiroz, R. (2014). Rendimiento y absorción de algunos nutrimentos en plantas de camote cultivadas con estrés hídrico y salino. *Revista Chapingo serie horticultura*, 20(1), 19-28.
- Rohanipoor, A., Norouzi, M., Moezzi, A. and Hassibi, P. (2013). Effect of silicon on some physiological properties of Maize (*Zea Mays*) under salt stress. *Journal Biology Environment Science*. 7(20), 71-79.
- Román, S., Ojeda-Granados, C. and Panduro, A. (2013). Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Revista de Endocrinología Y Nutrición*, 21(1), 42-51.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. and Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant wáter status. *Journal of plant physiology*, 163: 847-855. <https://doi:10.1016/j.jplph.2005.05.010>.
- Rosabal, A. L., Martínez, G. L., Reyes, G. Y., Dell'Amico, R. J. y Vázquez, N. M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de deficti hídrico, influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 24-35. ISSN: 0258-5936.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (2012). México, líder mundial en exportación de chile: SAGARPA. Consultado en octubre de 2016. Disponible en línea: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B721.aspx>.
- Sistema de información agroalimentaria y pesquera (2015). Producción nacional de chile alcanza 2.3 millones de toneladas. Consultado en octubre de 2016. [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/Paginas/BNSA\\_GENE052017.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/Paginas/BNSA_GENE052017.aspx).

- Sahebi, M., Hanafi, M. M., Siti Nor Akmar, A., Rafii, M. Y., Azizi, P., Tengoua, F. F. and Shabanimofrad, M. (2015). Importance of Silicon and mechanisms of biosilica formation in plants. *BioMed Research International*. 1-16. <https://doi.org/10.1155/2015/396010>.
- Samadiego, C. E., Martín, M. R., Ibarra, Q. M., de la R., López, J. M., Mendoza, A. B. y Jiménez, I. I. (2002). Producción de plántula de tomate y pimiento con cubiertas de polietileno reflejante para disminuir la temperatura en invernadero. *Agrociencia*, 36,305-318.
- Shekari, F., Abbasi, A., and Mustafavi, S. H. (2017). Effect of Silicon and Selenium on enzymatic changes and productivity of dill in saline condition. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(4), 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.11.006>.
- Shi, Y., Wang, Y., Flowers, T. J., and Gong, H. (2013). Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. *Journal of Plant Physiology*, 170(9), 847-853. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.018>.
- Shi, Y., Zhang, Y., Yao, H., Wu, J., Sun, H., and Gong, H. (2014). Silicon improves seed germination and alleviates oxidative stress of bud seedlings in tomato under water deficit stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 78, 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.02.009>.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (2010). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2010. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350).
- Soukup, M., Martika, M., Bosnic D., Caplovicova, M., Elbaum, R. and Lux, A. (2017). Formation of Silica aggregates in Sorghum root endodermis is predetermined by cell wall architecture and development. *Annals of botany*, 120,739-753. <https://doi:10.1093/aob/mcx060>. [www.academic.oup.com/aob](http://www.academic.oup.com/aob).
- Sun, C., Gao, X., Chen, X., Fu, J. and Zhang Y. (2016). Metabolic and growth responses of Maize to successive drought and re-watering cycles. *Agricultural Water Management*, 172, 62-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.016>.

- Todorova, D., Talaat, N. B., Katerova, Z., Alexieva, V. and Shawky, B. T. (2016). Polyamines and Brassinosteroids in drought stress responses and tolerance in plants. *In Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*. 608-627. <http://dx.doi:10.1002/9781119054450.ch35>.
- Torabi, F., Majd, A. and Enteshari, S. (2015). The Effect of Silicon on Alleviation of Salt Stress in Borage (*Borago Officinalis* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(5), 788-98. <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00380768.2015.1005540>.
- Uribe-Lorío, L., Castro-Barquero, L., Arauz-Cavallini, F., Henríquez-Henríquez, c. y Blanco-Meneses, M. (2014). Pudricion basal causada por Phytophthora capsici en plantas de chile tratadas con vermicompost. *Agronomia Mesoamerica*, 25(2), 243-253. ISSN: 1021-7444.
- Vázquez-Flota, F., Miranda-Ham, M., Monforte-González, M., Gutiérrez-Carbajal, G., Velázquez-García, C. y Nieto-Pelayo, Y. (2007). Biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Fitotecnia Mexicana*, 30(4), 353- 360.
- Ventura, Y., y Sagi, M. (2013). Halophyte crop cultivation: The case for salicornia and sarcocornia. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.010>.
- Vilela, M., Moraes, J. C., Alves, E., Santos-Cividanes, T. M. and Santos, F. A. (2014). Induced resistance to Diatraea saccharalis (*Lepidoptera: Crambidae*) via Silicon application in sugarcane. *Revista Colombiana de Entomología*, 40 (1), 44-48.
- Villalobos, E., Umaña, C. H., y Sterling F. (1990). Determinación del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis Guineensis*), durante la epoca seca en Quepos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 14(1), 73-78.
- Vivancos, J., Deshmukh, R., Grégoire, C., Rémus-Borel, W., Belzile, F., and Bélanger, R. R. (2016). Identification and characterization of silicon efflux transporters in horsetail (*Equisetum arvense*). *Journal of Plant Physiology*, 200, 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.06.011>.
- Wang, P., Yang, C., Chen, H., Song, C, Zhang, X. and Wang, D. (2017). Transcriptomic basis for drought-resistance in *Brassica Napus* L. *Scientific Reports* 7:40532.1-16. <https://doi:10.1038/srep40532>.
- Yamaji, N. and Feng, M. J. (2009). A transporter at the node responsable for



- intervascular transfer of silicon rice. *The Plant Cell*. 21: 2878-2883. <https://doi.org/10.1105/tpc.109.069831>.
- Yamaji, N., and Ma, J. F. (2011). Further characterization of a rice silicon efflux transporter, Lsi2. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57: 259-264. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.565480>.
- Yamaji, N., Namiki M. and Ma, J. F. (2008). A Transporter regulating Silicon distribution in Rice shoots. *The Plant Cell*, 20(5),1381–89. <http://www.plantcell.org/cgi/doi/10.1105/tpc.108.059311>.
- Yi-Min, A., Li-Li S., Ying-Rui, L., Yong-Jun, S., and Chang-Hong, G. (2016). De Novo transcriptional analysis of Alfalfa in response to saline-alkaline stress. *Frontiers in Plant Science*. 7,1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00931>.
- Zargar, Sajad Majeed et al. (2017). Aquaporins as potential drought tolerance inducing proteins: towards instigating stress tolerance. *Journal of Proteomics*, 169, 233–38. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2017.04.010>.
- Zhang, Q., Liu, J., Lu, H., Zhao, S., Wang, W., Du, J., and Yan, C. (2015). Effects of silicon on growth, root anatomy, radial oxygen loss (ROL) and Fe/Mn plaque of *Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco seedlings exposed to Cadmium. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 4, 6-11. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2015.04.001>.
- Zhao, D., Hao, Z., Tao, J., and Han, C. (2013). Silicon application enhances the mechanical strength of inflorescence stem in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *Scientia Horticulturae*, 151, 165-172. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.013>.
- Zurro, D. (2006). El análisis de fitolitos y su papel en el estudio del consumo de recursos vegetales en la prehistoria: bases para una propuesta metodológica materialista. *Trabajos de prehistoria*, 63(2), 35-54. ISSN:00082-5638.



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE



TESIS

RESISTENCIA A *Fusarium verticillioides*, HETEROSIS Y CALIDAD DE  
SEMILLA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ

QUE PRESENTA:

JUAN MAURICIO LINO MIRANDA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE  
SEMILLAS

DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS

CO-DIRECTOR: DR. JUAN GABRIEL RAMÍREZ PIMENTEL

ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.

ENERO DE 2019

La tesis **Resistencia a *Fusarium verticillioides*, heterosis y calidad de semilla en híbridos de maíz**, fue realizada por el alumno **Juan Mauricio Lino Miranda**, bajo la dirección del Dr. Mariano Mendoza Elos y asesoría de Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**Dr. Mariano Mendoza Elos**  
**Cédula: 3998828**

**Co-Director:**

---

**Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel**  
**Cédula: 4875646**

**Asesor:**

---

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**  
**Cédula: 6758831**

**Asesor:**

---

**M.C. J Guadalupe García Rodríguez**  
**Cédula: 4142620**

## **DEDICATORIA**

A mi hijo Iktan Sebastian por ser el motor que mueve las ganas de superarme profesionalmente y ser un buen ejemplo para él.

A mis padres Luis Lino y Cirenía Miranda por siempre apoyar mis planes y proyectos de vida, animándome cuando más lo necesito.

A Emma Leilany por haber sido una amiga y compañera incondicional durante este tiempo, por haberme animado cuando creí que no podía lograrlo y por haber creído en mí.

A mis tías Ivonne y Clara Lino, por haberme impulsado a terminar una carrera universitaria y ahora una maestría, por haber creído y apostado en mí cuando curse la carrera y haberme apoyado cuando más lo necesite.

A mi tío el Dr. Refugio Tobar, por haberme compartido mucho de su conocimiento, el cual ahora ha sido de gran ayuda para lograr esto, por ser un gran amigo y apoyarme incondicionalmente.

A mis hermanos que siempre están presentes apoyando el curso de mi vida, y que desde donde se encuentren siempre están pendientes de mí.

A mis amigos Leticia Rodríguez, Manuel Jerónimo Arriaga y Miguel Ángel Noriega por recibirme y apoyarme incondicionalmente durante mi estancia en la maestría.

A mis compañeros Mary Cruz Campa, Milagros Romero y José Luis Castro por el tiempo que convivimos y me apoyaron incondicionalmente para realizar este trabajo y lograr la meta.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme apoyado económicamente para poder realizar mis estudios de maestría y enfocarme totalmente en ellos. **CVU/Becario 826937/622013**.

Al TecNM-Instituto Tecnológico de Roque por haberme brindado la confianza para realizar mis estudios de maestría en sus instalaciones.

Al Dr. Mariano Mendoza, Dr. Juan Gabriel Ramírez, Dr. Francisco Cervantes y al M.C. J Guadalupe García, por haberme brindado su apoyo para realizar el presente trabajo, y haberme asesorado cuantas veces lo necesite e incluso haber apoyado económicamente al proyecto.

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
SUMMARY .....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	14
II. OBJETIVOS .....	16
2.1 General .....	16
2.2 Específicos.....	16
III. HIPÓTESIS .....	17
IV. REVISIÓN DE LITERATURA .....	18
4.1 Maíz en México .....	18
4.1.1 Producción de maíz de riego .....	19
4.1.2 Producción de maíz de temporal .....	20
4.2 Generación de híbridos.....	20
4.2.3 Híbridos triples .....	21
4.3 Heterosis en maíz .....	23
4.4 <i>Fusarium</i> en maíz .....	25
4.4.1 <i>Fusarium verticillioides</i> .....	27
4.4.2 Fumonisinás .....	28
4.5 Resistencia a <i>Fusarium spp.</i> , en maíz .....	29
4.6 Técnicas de inoculación de <i>Fusarium verticillioides</i> .....	30
V. MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
5.1 Localización del experimento .....	32
5.2 Material genético .....	32
5.3 Diseño experimental y método de siembra .....	34
5.3.1 Manejo agronómico.....	35
5.4 Técnica de inoculación .....	35
5.5 Variables evaluadas .....	36
5.5.1 Altura de planta y de mazorca.....	37

5.5.2	Días a floración masculina y femenina .....	37
5.5.3	Indicé de prolificidad .....	37
5.5.4	Peso de cinco mazorcas .....	38
5.5.5	Longitud y diámetro de mazorca.....	38
5.5.6	Hileras y granos por hilera de mazorcas .....	38
5.5.7	Peso de grano y de olote .....	38
5.5.8	Peso de mil semillas .....	39
5.5.9	Peso hectolitrico.....	39
5.5.10	Rendimiento de grano .....	39
<b>5.6</b>	<b>Heterosis útil.....</b>	<b>40</b>
<b>5.7</b>	<b>Severidad de la pudrición causada por <i>Fusarium</i>.....</b>	<b>40</b>
5.7.1	Identificación sintomática de <i>Fusarium</i> .....	41
<b>5.8</b>	<b>Análisis estadístico.....</b>	<b>43</b>
<b>VI.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>6.1</b>	<b>Análisis de caracteres de altura y precocidad.....</b>	<b>44</b>
<b>6.2</b>	<b>Análisis de componentes de rendimiento .....</b>	<b>49</b>
<b>6.3</b>	<b>Heterosis útil.....</b>	<b>62</b>
<b>6.4</b>	<b>Análisis de la incidencia y severidad de <i>Fusarium</i> .....</b>	<b>63</b>
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>71</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>80</b>
<b>9.1</b>	<b>Tablas de comparación de medias y ANOVAS.....</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Híbridos triples de maíz, color, cruza y progenitores con clave de la línea endogámica proveniente del CIMMYT.....	33
<b>Tabla 2.</b> Número de genotipos correspondientes a las distintas fechas de siembra y genotipos evaluados en la interacción de sus variables. ....	34
<b>Tabla 3.</b> Cuadrados medios de genotipos de maíz evaluados en dos ambientes para las variables de alturas y floración. ....	45
<b>Tabla 4.</b> Comparación de medias entre ambientes (riego y temporal) de las variables de altura y precocidad en híbridos triples de maíz. 2017. ....	46
<b>Tabla 5.</b> Comparación de medias de riego y temporal (análisis combinado) de las variables de altura y precocidad en genotipos de maíz. ....	47
<b>Tabla 6.</b> Comparación de medias las variables de altura y floración en genotipos de maíz en riego. 48	
<b>Tabla 7.</b> Comparación de medias las variables de altura y floración en genotipos de maíz en temporal. ....	49
<b>Tabla 8.</b> Cuadrados medios del análisis combinado para caracteres agronómicos de los híbridos trilineales de maíz evaluados en Roque, Celaya, Gto.....	50
<b>Tabla 9.</b> Comparación de medias de riego y temporal para las variables de rendimiento. ....	52
<b>Tabla 10.</b> Comparación de medias del análisis combinado entre fechas para caracteres agronómicos y de mazorcas en los distintos genotipos de maíz.....	53
<b>Tabla 11.</b> Comparación de medias de caracteres agronómicos y de mazorcas en los distintos genotipos de maíz en riego.....	54
<b>Tabla 12.</b> Comparación de medias de caracteres agronómicos y de mazorcas en los distintos genotipos de maíz en temporal.....	55
<b>Tabla 13.</b> Cuadrados medios del análisis combinado de caracteres agronómicos y de rendimiento de híbridos trilineales de maíz en Roque, Celaya. ....	56
<b>Tabla 14.</b> Comparación de medias de riego y temporal para componentes de rendimiento de híbridos triples de maíz evaluados en Roque, Celaya. Gto. en 2017. ....	58
<b>Tabla 15.</b> Comparación de medias del análisis combinado de ambas fechas para caracteres agronómicos y de rendimiento en los distintos genotipos de maíz en 2017.....	59
<b>Tabla 16.</b> Comparación de medias para caracteres agronómicos y de rendimiento en los distintos genotipos de maíz en riego evaluados en Roque, Celaya, Gto.. ....	60
<b>Tabla 17.</b> Comparación de medias para caracteres agronómicos y de rendimiento en los distintos genotipos de maíz en temporal en 2017. ....	61
<b>Tabla 19.</b> Heterosis útil porcentual con respecto al testigo (genotipo 5) para las fechas de riego, temporal y la combinación de ellas en híbridos triples de maíz en 2017. ....	62



<b>Tabla 20.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para incidencia y severidad de <i>Fusarium verticillioides</i> en genotipos de maíz de la fecha de riego en 2017. ....	63
<b>Tabla 21.</b> Comparación de medias para las variables de incidencia y severidad de <i>Fusarium verticillioides</i> en híbridos de maíz en riego en 2017. ....	64
<b>Tabla 22.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para incidencia y severidad de <i>Fusarium verticillioides</i> en genotipos de maíz de la fecha de temporal. ....	65
<b>Tabla 23.</b> Comparación de medias para las variables de incidencia y severidad de <i>Fusarium verticillioides</i> en genotipos de maíz en temporal en 2017. ....	66
<b>Tabla 24.</b> Cuadrados medios de las variables de altura y precocidad de genotipos de maíz en riego. ....	80
<b>Tabla 25.</b> Cuadrados medios de la fecha de riego para caracteres agronómicos de mazorcas de híbridos trilineales de maíz. ....	80
<b>Tabla 26.</b> Cuadrados medios de caracteres agronómicos y de rendimiento de híbridos trilineales de maíz de la fecha de riego. ....	81
<b>Tabla 27.</b> Cuadrados medios de las variables de altura y precocidad de genotipos de maíz en la fecha de temporal. ....	81
<b>Tabla 28.</b> Cuadrados medios de la fecha de temporal para caracteres agronómicos de mazorcas de híbridos trilineales de maíz. ....	81
<b>Tabla 29.</b> Cuadrados medios de caracteres agronómicos y de rendimiento de híbridos trilineales de maíz de la SFS. ....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Manifestación fenotípica de heterosis en plantas híbridas maduras de maíz F1. ....	24
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del TecNM-Instituto Tecnológico de Roque.....	32
<b>Figura 3.</b> Inoculación de Fusarium en jilotes de maíz.....	36
<b>Figura 4.</b> Mazorcas de genotipo 16 de grano blanco, de la fecha de riego (lado izquierdo) y mazorcas de genotipo 25 de grano amarillo (lado derecho) de la fecha de temporal con valores de 3, 1 y 2, y 1, 1, 1 en la escala utilizada respectivamente. ....	41
<b>Figura 5.</b> Semillas infectadas con Fusarium v. en caja de Petri, genotipo 9 (BOA) de riego en lado izquierdo y semillas no infectadas de genotipo 24 (486/451//202) amarillo de temporal al lado derecho. ....	42
<b>Figura 6.</b> Macro y micro-conidios de Fusarium v. en genotipo 13 (500/498//448) blanco de riego al lado izquierdo y 22 (486/451//444) amarillo lado derecho (temporal).....	43
<b>Figura 7.</b> De lado izquierdo genotipo 14 de la fecha de riego y lado derecho testigo criollo de la fecha de temporal, escala visual. ....	66
<b>Figura 8.</b> De lado izquierdo genotipo 8 de la fecha de riego y lado derecho testigo criollo de la fecha de temporal.....	67

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la heterosis útil, calidad de semilla y resistencia a *Fusarium verticillioides* en híbridos triples de maíces blancos y amarillos en condiciones de campo. El presente trabajo se llevó a cabo en el TecNM-Tecnológico de Roque en 2017, se sembraron dos parcelas con 28 genotipos de maíz de cruce triple (21 de grano blanco y 7 de grano amarillo) y un testigo comercial de cruce simple (BOA) en dos fechas (02 de abril y 17 de julio), riego y temporal. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones de dos surcos de 5 m por genotipo y por fecha de siembra. La fórmula de fertilización que se utilizó fue 140-100-80 para temporal y 240-100-80 para riego, y se realizó con productos foliares y granulados. Se inoculó *Fusarium verticillioides* entre la etapa fenológica R1 y R2 que es cuando los estigmas ya fueron polinizados utilizando un palillo de madera previamente sumergido en una solución salina que contenía el inóculo, atravesando esté en el jilote de cinco plantas por parcela, dejando el palillo en cada una de ellas. Esta técnica se utilizó únicamente en la parcela sembrada en riego, mientras que en la fecha de temporal se utilizó un testigo (criollo mejorado) susceptible a *Fusarium verticillioides* con el fin de comprobar la presencia del patógeno en la parcela, y dejando que la infección fuese de manera natural. Las variables evaluadas en campo fueron; altura de planta, altura de mazorca, días a floración masculina y femenina. Se tomaron variables de la mazorca como; peso de cinco mazorcas, peso del grano de cinco mazorcas, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera. También se evaluaron componentes de rendimiento; peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrane y prolificidad. Se evaluó la heterosis útil con respecto a BOA en porcentaje. El análisis de los datos se llevó a cabo con el software SAS<sup>MR</sup> versión 9.0, realizando de rango multiple (DUNCAN al 5 % de probabilidad). Hubo diferencias altamente significativas al 1 % de probabilidad para las variables de altura de planta, altura de mazorca, floración masculina y femenina en ambientes, mientras que entre genotipo y genotipo \*ambiente no las hubo. Para las variables de mazorca hubo diferencias altamente significativas al 1 % para genotipos y también ambientes, excepto para longitud en

ambientes (significativo al 5 %) y diámetro (no significativo). En los componentes de rendimiento hubo diferencias altamente significativas al 1 % entre genotipos para rendimiento e índice de desgrane, en ambientes para peso de 1000 semillas, rendimiento e índice de desgrane sucedió lo mismo. Los resultados para heterosis útil arrojaron una media general de 11.43 t ha<sup>-1</sup> (-20.4 % heterosis útil respecto al testigo), superada por 4 genotipos, el genotipo 7 mostro la mayor heterosis porcentual con un valor de 17 % para la fecha de riego, mientras que en temporal la media general es de 6.06 t ha<sup>-1</sup> (-13 % heterosis útil), el genotipo 26 tuvo la mayor heterosis útil (24 % de heterosis útil). En el análisis de incidencia y severidad para porcentaje de pudrición por escala visual se obtuvieron valores en porcentaje de infección de la mazorca de 0 % en el genotipo 19 (264/311//clg 2312) hasta 56 % del genotipo 14 (500/498//444). En el conteo en caja Petri el genotipo 8 (500/498//197) presento una media de cinco semillas prácticamente infectadas por *Fusarium v.* mientras que el genotipo 15 (264/311//444) tuvo una media de una semilla infectada por cada cinco. La variable porcentaje de pudrición por escala visual mostro valores en porcentaje de infección de la mazorca de 0 % (en la mayoría de los genotipos) hasta 40 % en el genotipo 29 (TCM). Por otra parte, en conteo de semillas en caja de Petri muestran que el genotipo 28 (486/451//197) presento una media de 4 de cada 5 semillas infectadas mientras que 15 de los 29 genotipos tienen 0 semillas de cada 5. La homogeneidad a través de distintos ambientes parece no ser algo que caracterice a los genotipos evaluados en el presente trabajo de investigación, por lo que deben seleccionarse los genotipos más aptos para cada uno de los ambientes, sobre todo en rendimiento y sanidad del grano adaptándose a las necesidades del productos de la zona de Celaya, Guanajuato.

**Palabras clave:** *heterosis útil, Fusarium verticillioides, rendimiento, genotipos y ambientes.*

## SUMMARY

The objective of the present work was to evaluate the useful heterosis, seed quality and resistance to *Fusarium verticillioides* in triple hybrids of white and yellow maizes in field conditions. The present work was carried out in the TecNM-Tecnológico de Roque in 2017, two plots were planted with 28 genotypes of triple-cross corn (21 of white grain and 7 of yellow grain) and a simple commercial cross-check (BOA) on two dates (April 2 and July 17), irrigation and temporary. The experimental design was randomized complete blocks with two repetitions of two rows of 5 m per genotype and per planting date. The formula of fertilization that was used was 140-100-80 for temporary and 240-100-80 for irrigation, and was done with foliar and granular products. *Fusarium verticillioides* was inoculated between the phenological stage R1 and R2, which is when the stigmas were already pollinated using a wooden stick previously submerged in a saline solution containing the inoculum, passing through the ear of five plants per plot, leaving the stick in each of them. This technique was used only in the plot planted in irrigation, while on the date of weather a control (improved Creole) susceptible to *Fusarium verticillioides* was used in order to check the presence of the pathogen in the plot, and allowing the infection to be Natural way. The variables evaluated in the field were; height of plant, height of ear, days to male and female flowering. Variables of the ear were taken as; weight of five ears, weight of the grain of five ears, length and diameter of ear, number of rows per ear and number of grains per row. Performance components were also evaluated; hectolitic weight, weight of 1000 seeds, yield, index of shattering and prolificacy. Useful heterosis was evaluated with respect to BOA in percentage. The analysis of the data was carried out with the SAS<sup>MR</sup> software version 9.0, performing multiple range (DUNCAN at 5% probability). There were highly significant differences at 1% probability for the variables of plant height, ear height, male and female flowering in environments, while genotype and genotype \* environment did not. For the cob variables there were highly significant differences at 1% for genotypes and also environments, except for length in environments (significant at 5%) and diameter (not significant). In the yield components there were highly significant differences at 1% between genotypes for yield and

shelling index, in environments for weight of 1000 seeds, yield and shelling index the same thing happened. The results for useful heterosis yielded a general average of 11.43 t ha<sup>-1</sup> (-20.4% useful heterosis compared to the control), surpassed by 4 genotypes, genotype 7 showed the highest percentage heterosis with a value of 17% for the irrigation date, while in temporal the general average is 6.06 t ha<sup>-1</sup> (-13% useful heterosis), genotype 26 had the highest useful heterosis (24% of useful heterosis). In the analysis of incidence and severity for percentage of rot by visual scale values were obtained in percentage of infection of the ear of 0% in genotype 19 (264/311 // clg 2312) up to 56% of genotype 14 (500/498 // 444). In the petri-dish count the genotype 8 (500/498 // 197) presented an average of five seeds practically infected by *Fusarium v.* while genotype 15 (264/311 // 444) had an average of one infected seed per five. The variable percentage of rot by visual scale showed values in percentage of infection of the ear of 0% (in the majority of the genotypes) up to 40% in the genotype 29 (TCM). On the other hand, counting seeds in Petri dishes show that genotype 28 (486/451 // 197) presented an average of 4 out of 5 infected seeds while 15 out of 29 genotypes have 0 seeds out of 5. The homogeneity through different environments does not seem to be something that characterizes the genotypes evaluated in this research work, so the most suitable genotypes for each of the environments should be selected, especially in yield and grain health, adapting to the needs of the products of the Celaya area, Guanajuato.

**Key words:** *useful heterosis, Fusarium verticillioides, yield, genotypes and environments.*

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial y nacional, el cultivo de maíz ocupa el primer lugar en superficie sembrada. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) en junio de 2015 estimó una producción mundial de 989.3 millones de toneladas. México se encuentra en el séptimo lugar con una producción de 2.3 % (USDA, 2015).

De acuerdo con Gómez *et al.* (2016), México es centro de diversidad genética del maíz (*Zea mays* L.) e importante en el aspecto social y económico, básico para la alimentación humana y animal. Este cultivo es el cultivo más importante de México (SIAP, 2016), la principal fuente de alimento y es el cultivo que mayor superficie ocupa (Gómez *et al.*, 2016). Además, es uno de los principales granos cultivados en el mundo y su uso no sólo se centra en el consumo humano, sino que es un insumo importante en la producción del sector ganadero (Guzmán *et al.*, 2014).

En México y alrededor del mundo, el maíz se cultiva en una amplia variedad de condiciones ambientales asociadas con el estado hídrico del suelo, radiación solar, temperatura, tipos de suelo y sistemas de producción; estas condiciones provocan expresiones diferenciadas del comportamiento de los genotipos (Nzuve *et al.*, 2013).

García y Ramírez (2014) mencionan que el promedio anual del periodo 2008/2010 en consumo total de semilla fue de 160.2 miles de toneladas, de las cuales 42.5 % correspondió a mejorada y el restante a criolla. La producción anual de semilla mejorada fue de 62.5 mil toneladas y el déficit fue mayor a 90 mil toneladas. Debido a su importancia en el aumento de la productividad de maíz, se debe promover la producción de semilla mejorada para cubrir el déficit nacional. En la mayor parte de las entidades federativas del país, la cantidad consumida de semilla fue superior a la oferta y los mayores déficits se ubicaron en Chiapas, Puebla, Oaxaca, Veracruz y Estado de México.

Entre las enfermedades de importancia económica se destaca la pudrición de mazorca causada por *Fusarium spp.*, ya que causa pérdidas de rendimiento de 23 a 30% (Briones

*et al.*, 2015). En los estados de Chiapas y Veracruz, México, la pérdida de grano por pudrición de mazorca varía de 390 a 1,030 k ha<sup>-1</sup> por año (Betanzos *et al.*, 2009).

*Fusarium verticillioides* es el principal hongo patógeno que afecta la productividad del maíz en el mundo. Este hongo penetra a la planta por distintas rutas e infecta raíces, tallo y mazorca. El patógeno produce varias toxinas en el tejido y en los granos del maíz, lo que disminuye su calidad (De la Torre *et al.*, 2014).

Son múltiples las alternativas para prevenir la colonización de mohos en granos y semillas, así como para remover o inactivar las micotoxinas contenidas en los mismos; sin embargo, la selección de genotipos y el mejoramiento para la resistencia a la incidencia fúngica resulta ser la más favorable debido a la gran variedad de factores que influyen sobre su deterioro (Chavarri, 2014).



## II. OBJETIVOS

### 2.1 General

Evaluar la heterosis útil, calidad de semilla y resistencia a *Fusarium verticillioides* en híbridos triples de maíces blancos y amarillos en condiciones de campo.

### 2.2 Específicos

- Identificar híbridos con resistencia a *Fusarium verticillioides* en la mazorca mediante nivel de incidencia y severidad.
- Evaluar el porcentaje de heterosis útil para cada carácter respecto un material comercial.
- Evaluar la calidad sanitaria y física de la semilla de híbridos susceptibles y resistentes.
- Detectar híbridos con estabilidad de resistencia a *Fusarium verticillioide* y rendimiento en diferentes ambientes.

### III. HIPÓTESIS

El porcentaje de heterosis útil para rendimiento y la calidad de la semilla de los híbridos trilineales de maíz amarillos y blancos son afectados por el grado de susceptibilidad a *Fusarium verticillioides*.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Maíz en México

El maíz es la especie agrícola que más se produce en el mundo. Debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y el uso industrial se ha convertido en uno de los productos más importantes en los mercados internacionales. Su relevancia económica y social supera a la de cualquier otro cultivo. Adicionalmente, el cultivo y transformación del maíz es fuente de empleo y alimento para un número importante de personas en el mundo. Entre los ciclos comerciales 2006/07 y 2015/16, la producción de maíz en el mundo presentó un crecimiento promedio anual de 3.3 por ciento, para ubicarse en este último en 959.1 millones de toneladas (FIRA, 2016).

En México son 11 los cultivos que ocupan el 80 % de la superficie sembrada a nivel nacional, de estos el más importantes es el maíz seguido de los pastos y praderas, frijol, sorgo, caña, café, trigo, etc. El maíz por si solo ocupó el 34.9 % de la superficie sembrada en el país (7,540,942.12 ha), siendo éste el cultivo de mayor importancia (SIAP, 2018).

El maíz es uno de los principales granos cultivados en el mundo y su uso no sólo se centra en el consumo humano, sino que es un insumo importante en la producción del sector ganadero; en México representa uno de los granos básicos por excelencia, ya que garantiza la seguridad alimentaria de millones de familias rurales (Guzmán *et al.*, 2014). México ocupa el séptimo lugar en producción de grano de maíz a nivel mundial; sin embargo, esto no es suficiente pues la demanda interna (32.1 millones de toneladas) tanto para consumo humano y animal, lo ubican como el principal importador de este grano (Turrent, 2009).

El maíz es el cultivo más importante de México, el maíz blanco en grano se utiliza principalmente para la elaboración de las tradicionales tortillas y tamales, pero de él también pueden obtenerse aceite e insumos para la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. Por otro lado, el maíz amarillo en grano también se utiliza

para consumo humano en una amplia variedad de platillos; sin embargo, su principal destino es la alimentación del ganado y la producción de almidones (SIAP, 2016).

En 2017 se produjeron 27,762,480.90 toneladas de maíz para grano en México, siendo el 48.1 % bajo un régimen de riego y el resto de temporal, con un rendimiento promedio de 3.79 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en el estado de Guanajuato se produjeron 1,642,835.37 toneladas con un rendimiento promedio de 4.24 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018).

#### 4.1.1 Producción de maíz de riego

Los agricultores de riego prefieren el uso de semillas híbridas, por su alto potencial de producción y sus características agronómicas favorables como tolerancia a enfermedades, resistencia al acame y ciclo vegetativo corto (Espinosa *et al.*, 2003).

En México la producción agrícola se divide en dos ciclos, uno donde los cultivos se producen bajo un régimen de riego, en su mayoría superficial. En este ciclo son 17 los cultivos que ocuparon el 80 % de la superficie sembrada a nivel nacional, entre ellos se encontraron el maíz, trigo, alfalfa y sorgo como los cultivos más importantes los cuales ocupan una superficie de 1,596,855.32, 561,285.24, 384,490.80 y 362,506.81 ha respectivamente. Solo el maíz representó el 26.28 % de la superficie total sembrada en 2017, con un rendimiento promedio de 8.38 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018).

El agua interviene en el rendimiento de los cultivos en todo sistema de producción agrícola (Rostamza *et al.*, 2011); por lo tanto, el sistema de riego influye directamente en el volumen del agua que se agrega a los cultivos y en su productividad (Fan *et al.*, 2008).

#### 4.1.2 Producción de maíz de temporal

García y Rodríguez (2012) establecen que en México la superficie sembrada de maíz en condiciones de temporal es de 6,1 millones de hectáreas, 37.7 % de la superficie total agrícola de temporal.

En el ciclo de producción bajo temporal 2017 el maíz ocupó la mayor superficie sembrada la cual fue de 1,596,855.32 ha, lo que representó el 26.2 % de la superficie total sembrada, con un rendimiento promedio de 2.51 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018).

De acuerdo con Bergamaschi *et al.* (2006), el cultivo de maíz está firmemente influenciado por el comportamiento de la precipitación y el déficit hídrico que causa mayor impacto sobre el rendimiento del grano cuando ocurre la floración.

#### 4.2 Generación de híbridos

Las características y comportamiento que debe reunir una nueva variedad mejorada son las que determinan su identidad y uniformidad; cuyos rasgos morfológicos, fisiológicos o químicos permiten diferenciarlas de otras variedades, a pesar de la similitud debida a las pequeñas diferencias genéticas (Copeland, 1976).

En un típico programa de mejoramiento de maíz, grupos de híbridos simples son evaluados en diferentes ensayos de rendimiento, en diferentes localidades y en diferentes años. Los híbridos evaluados cambian constantemente, dado que los de pobre rendimiento son descartados y nuevos híbridos son incorporados a los ensayos de evaluación (Biasutti y Balzarini, 2017). El desarrollo de genotipos estables y con rendimiento alto es de fundamental importancia en la producción de semilla, por tal motivo, en las etapas finales del proceso de mejoramiento, los genotipos desarrollados deben ser evaluados en diferentes localidades y durante varios ciclos, para identificar a

aquellos con potencial sobresaliente antes de ser recomendados para cultivarse en alguna localidad o región (Tonk *et al.*, 2011).

En el periodo de 1943 a 1985, los híbridos de cruza doble de progenitores de baja endogamia, fue el tipo de conformación de híbridos más utilizado en México, con base en un objetivo relacionado con la intención de que tuviesen mayor adaptabilidad; sin embargo, en general mostraban baja heterosis, dificultades para la producción de semilla, más esfuerzo para su producción en ciclos de cultivo, y mayores costos de producción para la obtención del híbrido final (Espinosa *et al.*, 1986).

En México se siembran 7.6 millones de hectáreas de maíz cada año, 25 % de ellas con semilla mejorada, y el 75 % con semillas nativas (maíces nativos genuinos en el 50 % y variedades mejoradas acriolladas, criollas que han recibido fuente germoplásmica de variedades mejoradas o bien generaciones avanzadas de híbridos en el otro 25 %). Esta influencia representa ventajas para los maíces nativos (Tadeo *et al.*, 2016). La semilla mejorada se concentra en áreas de alto potencial productivo, cada año hay resistencia a la adquisición de semilla nueva, por su costo elevado (Robledo *et al.*, 2016), mientras que la aplicación de la selección e hibridación han generado maíces de mayor producción de grano y los criollos se usan con doble propósito, pero existe escasa información sobre su potencial para desarrollar materia verde y seca (Franco *et al.*, 2015).

#### 4.2.3 Híbridos triples

En los programas de mejoramiento genético, es importante definir cuáles son los genotipos sobresalientes en cuanto a rendimiento, adaptación y estabilidad, evaluando estas propiedades en multi-ambientes para recomendar su uso de manera comercial (Cossa *et al.*, 2006).

En México, el uso de variedades sintéticas (VSs) de maíz formadas con líneas puras de alto rendimiento no es común debido a la escasez de este tipo de progenitores, y a la reducida oferta de semilla barata de híbridos de cruza simple sobresalientes (Luna *et al.*, 2012). Pérez *et al.* (2014) mencionan que por esto se recurre a la producción de híbridos trilineales o dobles, pero su siembra por un mismo agricultor en forma recurrente es poco frecuente, ya que algunos agricultores explotan sus generaciones avanzadas en lugar de comprar semilla original nuevamente.

El uso de híbridos trilineales de maíz en México, incluyendo los Valles Altos (2 200 a 2 600 m de altitud), es generalizado en la actualidad; su inicio data de 1986, cuando se identificaron ventajas a este tipo de híbridos: facilitan la producción de semillas; se requieren menor número de lotes de progenitores para llegar a la obtención de semilla certificada; el control de la calidad genética es accesible al poderse desmezclar fácilmente la línea progenitora macho (Canales *et al.*, 2016).

Las generaciones avanzadas de híbridos trilineales de maíz podrían considerarse como variedades sintéticas (VSs) formadas por apareamiento aleatorio de sus líneas, pero se ha mostrado que hay diferencias dependientes del tipo de híbrido y del coeficiente de endogamia de las líneas que forman los híbridos (F), entre otros factores (Rodríguez *et al.*, 2016).

En este caso, cada línea de una cruza simple contribuye con la mitad del material genético en relación con lo que aporta la tercera línea de la cruza trilineal. Esta diferencia importante se manifiesta en el coeficiente de endogamia que reporta Márquez (2010), para una VS formada con híbridos trilineales contruidos con líneas puras.

Los híbridos triples representan una alternativa interesante, ya que se aprovechan las ventajas que ofrece la heterosis en la producción comercial de maíz, al cruzar líneas de relativa divergencia genética con cruza simples de alto rendimiento (Rodríguez *et al.*, 1997).

### 4.3 Heterosis en maíz

La heterosis o vigor híbrido, es la base del mejoramiento genético por hibridación. El fenómeno fue observado por primera vez por Darwin en 1871 y se define como la diferencia de vigor entre un híbrido F1 y el promedio de sus progenitores. Las bases genéticas y la aplicación de heterosis fueron analizadas por primera vez en la reunión de Iowa en 1950 (Wallace y Brown, 1956).

La explicación de la heterosis se basa en las hipótesis de dominancia y de sobredominancia. En términos de acción génica la heterosis se debe principalmente a efectos de interacción entre alelos o dominancia (Crown, 1999). En forma operativa, la heterosis se calcula como la diferencia entre el valor fenotípico de la F1 y el progenitor medio o progenitor superior, y esta diferencia se expresa en porcentaje del progenitor medio o del progenitor superior (Falconer y Mackay, 1996).

La heterosis describe la situación en la cual los descendientes híbridos exhiben un rendimiento fenotípico superior al de sus padres (Schnable y Springer, 2013). Como se puede apreciar en la Figura 1, la planta de la izquierda es un individuo B73 promedio, y la planta de la derecha es un individuo medio Mo17. Las dos plantas centrales son una cruce B73 (materna) × Mo17 (paterna) F1 y la cruz recíproca. Todas las plantas son post-antesis (Schnable y Springer, 2013).





**Figura 1.** Manifestación fenotípica de heterosis en plantas híbridas maduras de maíz F1.

Fuente: Schnable y Springer (2013).

La heterosis es uno de los fenómenos biológicos que más interés ha despertado en la investigación debido a su importancia en el mejoramiento de las plantas. Es el resultado del cruzamiento de progenitores no emparentados que da oportunidad de obtener híbridos superiores a sus progenitores (Esquivel *et al.*, 2011).

De acuerdo con Schnable y Springer, (2013) aunque la heterosis, o vigor híbrido, está ampliamente explotada en la agricultura, una descripción completa de sus fundamentos moleculares ha permanecido esquiva a pesar de la investigación extensa, parece que no hay una sola explicación simple para la heterosis. En cambio, es probable que la heterosis surja en los cruzamientos entre individuos genéticamente distintos como resultado de una diversidad de mecanismos. La heterosis generalmente resulta de la acción de múltiples loci, y diferentes loci afectan la heterosis para diferentes rasgos y en diferentes híbridos.

Así, para aprovechar los efectos positivos de la heterosis en la formación de híbridos de maíz, primero se busca la identificación de bases germoplásmicas con potencial heterótico, continuándose con la selección y derivación de líneas hasta un nivel alto de homocigosis, y concluyendo con la formación de cruza y su evaluación para identificar a aquéllas de mayor rendimiento y adaptabilidad. La heterosis para rendimiento de grano es atribuida a la heterosis para diferentes procesos fisiológicos que determinan al rendimiento de grano. Esto ha afectado fundamentalmente las prácticas agrícolas y la industria de las semillas. Dada su importancia económica y su interés científico, los investigadores han utilizado genética cuantitativa, fisiología y enfoques moleculares en un esfuerzo por comprender las bases de la heterosis. En los últimos años la disponibilidad de herramientas genómicas ha permitido análisis mucho más detallados de la variación entre los padres de los híbridos (Schnable y Springer, 2013).

#### **4.4 *Fusarium* en maíz**

Los hongos del suelo juegan un papel clave en los procesos de descomposición que mineralizan y reciclan nutrientes de plantas. En el suelo, los hongos interactúan con una compleja comunidad microbiana que incluye: bacterias, actinomicetos (actinobacterias) y pequeños invertebrados. Los hongos son una parte importante de la cadena alimenticia en el suelo, principalmente para la mesofauna que habita en el suelo (Bonkowski *et al.*, 2000). En los ecosistemas agrícolas, los patógenos de plantas actúan en el suelo y en la rizósfera, causando una notable reducción en las cosechas y afectando su calidad (Wainwright, 1988; Lodge, 1993).

Los hongos productores de micotoxinas están distribuidos en el medio ambiente y son contaminantes frecuentes de los alimentos, especialmente los de origen vegetal. Entre los hongos toxigénicos de mayor importancia se encuentra el género *Fusarium*. Dentro de este género las especies de mayor interés en el grano de maíz son *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *F. proliferatum* (Matsushima) Nirenberg y *F. subglutinans* (Wollenweb.

y Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas, pertenecientes a la sección Liseola (Riley *et al.*, 1993).

Varias especies de *Fusarium* son los patógenos más comunes del maíz. *F. graminearum* (Schwade) teleomorfo, *Giberella zeae* (Schwein. Petch), *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg [synonym *F. moniliforme* (Sheldon)], teleomorfo *G. moniliformis* (Wineland) [synonym, *G. fujikuroi* (Swada) Ito in Ito and K. Kimura] son predominantes en la pudrición de la espiga en el mundo. Debido a las condiciones ambientales que le favorecen, *F. verticillioides* es la especie más importante en la región maicera en la Argentina (Saubois *et al.*, 1996).

En el maíz *Fusarium spp.*, ocasiona marchitez desde plántulas hasta planta adulta, causando generalmente pudriciones en los órganos vegetativos, como hojas, tallo y raíz. *Fusarium* es el principal patógeno del cultivo y limitante de la productividad porque ocasiona pérdidas cuantiosas que varían año con año. Se le conoce como un patógeno necrótrofo por la capacidad que tiene de causar la muerte del tejido hospedero y, luego, sobrevive como saprofito en el rastrojo, cuando las condiciones ambientales son favorables (De la Torre *et al.*, 2014).

La contaminación del maíz por las micotoxinas es un problema mundial para la salud humana y animal, y las fumonisinas son las micotoxinas más frecuentemente encontradas en el maíz en Italia (Battilani *et al.*, 2008). *Fusarium verticillioides* y en menor cantidad *Fusarium proliferatum* según Logrieco *et al.* (2002) son los hongos más frecuentemente aislados asociados con la contaminación por fumonisina en el maíz.

La producción de fumonisinas en maíz es afectada por diferentes factores ambientales como la humedad, la temperatura, los períodos de sequía, la cantidad de precipitación durante la precosecha y la cosecha (Bacon y Nelson, 1994; Marin *et al.*, 2004).

Entre las pudriciones de mazorca más relevantes están las inducidas por especies de *Fusarium* que además de reducir el rendimiento son causa del deterioro y mala calidad

de los granos, y debido a la capacidad de producir micotoxinas también están relacionadas con enfermedades en humanos y en animales que los consumen (Macías y Peraza, 2008).

De acuerdo con Okoth y Siameto, (2011) el patógeno ataca al maíz y al frijol en todas las etapas del crecimiento, causando podredumbre en la etapa de la plántula, amarillamiento de las hojas, crecimiento retardado y muerte si es grave. Pueden utilizarse intervenciones integradas de gestión de la fertilidad del suelo para controlar las infecciones de raíz de *Fusarium*. El tipo de intervención elegida podría basarse en el tipo de cultivo y el hongo que se va a controlar.

#### 4.4.1 *Fusarium verticillioides*

*Fusarium verticillioides* es un ascomiceto perteneciente a la subdivisión Deuteromycota, que agrupa a aquellos hongos en los que no hay descrita una fase sexual o, bien, ésta es muy rara, *F. verticillioides* cae en esta última categoría, porque sí presenta una fase sexual llamada teleomorfo, o forma perfecta, muy difícil de encontrar en la naturaleza y se requieren condiciones especiales para observarla *in vitro*. La forma teleomórfica recibe otro nombre de género y especie: para *F. verticillioides* es *Gibberella moniliformis*, que es heterotálico, ya que el apareamiento ocurre entre colonias de distintos grupos (Leslie y Summerell, 2006).

La taxonomía de *Fusarium* es sumamente compleja. De ahí que haya sido tema de debate durante muchos años, porque el concepto de especies ha cambiado dentro de un género, dependiendo de los grupos de investigadores (De la Torre *et al.*, 2014).

A nivel mundial se ha detectado la presencia de *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (Teleomorph: *Gibberella moniliformis* Wineland) infectando el cultivo de maíz (Santori *et al.*, 2015). *Fusarium verticillioides* es el principal hongo patógeno que afecta la productividad del maíz en el mundo. Este hongo penetra a la planta por distintas rutas e infecta raíces, tallo y mazorca. El patógeno produce varias toxinas en el tejido y en los

granos del maíz, lo que disminuye su calidad. Las fumonisinas son consideradas factores de virulencia, ya que su producción se asocia con una mayor capacidad de infección de *F. verticillioides* en plántulas de maíz. En maíz, las fumonisinas tienen tres blancos moleculares que son la esfinganina N-acil transferasa, la ATPasa de protones de membrana plasmática y las  $\beta$ -1,3-glucanasas básicas. Las tres enzimas tienen funciones fisiológicas relevantes y participan en la respuesta de defensa de la planta (De la Torre *et al.*, 2014).

*F. verticillioides*, además de infectar tejidos vegetativos y reproductivos asintómicamente, marchita plántulas, pudre raíces, tallos y espigas de maíz (Munkvold *et al.*, 1997). Este patógeno penetra a través de los estigmas, con infección y crecimiento de las hifas hasta los granos (Warren, 1978) o por heridas de insectos (Kommedahl y Windels, 1981), pájaros y granizo. Produce gran cantidad de conidios en rastrojos infectados, siendo la semilla otra fuente de inóculo (Munkvold *et al.*, 1997). La enfermedad que causa, también llamada “fusariosis”, disminuye el rendimiento y afecta la calidad de los granos por acumulación de micotoxinas. *F. verticillioides* produce, entre otros, fumonisinas (Gelderblom *et al.*, 1988), que están asociadas a enfermedades en animales y humanos. Por ello, la Unión Europea reglamentó los límites de fumonisinas en granos vinculados a *Fusarium* (Agrinea, 2005).

Es importante minimizar la presencia de *Fusarium* en el grano, ya que la pudrición de mazorca provoca severas pérdidas de cosecha (Betanzos, 2001), limitando su comercialización, ya que el nivel tolerable de contaminación es 5% de daño permisible y constituye un problema de salud pública por las micotoxinas que produce el fitopatógeno cuando su incidencia y el daño es alto (Mendoza *et al.*, 2006; Betanzos *et al.*, 2009).

#### 4.4.2 Fumonisinas

*Fusarium verticillioides* produce varias toxinas en el tejido y en los granos del maíz, lo que disminuye su calidad. Las fumonisinas son las toxinas mayoritarias excretadas por el hongo. Un grupo de genes forma el locus FUM en el cromosoma 1 de *F. verticillioides*

y codifica las enzimas responsables de la síntesis de las fumonisinas. Sin embargo, la cantidad de fumonisina producida es altamente variable entre cepas del hongo. La regulación de la síntesis es muy compleja y depende de factores ambientales y nutricionales, así como de múltiples vías de señalización que ejercen tanto regulación positiva como negativa. Las fumonisinas son consideradas factores de virulencia, ya que su producción se asocia con una mayor capacidad de infección de *F. verticillioides* en plántulas de maíz. Sin embargo, este papel no es claro en la infección y pudrición de la mazorca (De la Torre *et al.*, 2014).

Las fumonisinas, producidas por *F. verticillioides* y *F. proliferatum*, se han identificado en necropsias de equinos con leucoencefalomalacia, en porcinos con edema pulmonar y en humanos con cáncer esofágico y hepatocarcinomas celular (Norred y Voss, 1994), aunado a esto, la incidencia de mohos y micotoxinas generan cambios desfavorables en los granos, alterando su valor nutritivo, disminuyendo el contenido de grasas, proteínas y carbohidratos. Además, alteran las características organolépticas y ocasionan muerte del embrión de maíz con las consecuentes pérdidas económicas que esto conlleva (Chavarri *et al.*, 2013).

Sartori y colaboradores (2014) mencionan que las condiciones de elevada humedad y temperatura generadas en las mazorcas cubiertas desde la floración hasta la madurez fisiológica, favorecieron significativamente los niveles de fumonisinas, y evidentemente, múltiples factores, además de la temperatura, el contenido de humedad y la incidencia del patógeno, condicionan la acumulación de fumonisinas en maíz en condiciones de campo.

#### **4.5 Resistencia a *Fusarium spp.*, en maíz**

Cuando el cultivo desarrolla bajo condiciones de estrés, la interacción patógeno-planta puede desencadenar en desarrollo de enfermedad y/o producción de micotoxinas (Abbas y Cartwright 2006; Bacon y Nelson 1994). La relación de un microorganismo con su hospedero involucra interacciones donde participa el medio ambiente, la enfermedad

resulta del ataque de patógenos a hospederos susceptibles, a través de la expresión de factores de virulencia y un reconocimiento por el hospedero que induce una respuesta benéfica o dañina con el objetivo de eliminar el patógeno (Rocha *et al.*, 2004). La resistencia genética a la pudrición de mazorca por *Fusarium* spp. es de tipo cuantitativa y, por lo tanto, altamente influenciada por el ambiente (Ali *et al.*, 2005).

Es de suponer que la variación genotípica del maíz, en la que se sustentan los miles de variantes que se encuentran en México, y que han coevolucionado con variantes locales de *Fusarium* spp. ha dado lugar a un proceso de coadaptación. Este fenómeno hace factible el mejoramiento genético de las poblaciones nativas locales, con base en estrategias participativas de selección, desarrolladas para incrementar la capacidad productiva y reducir problemas fitosanitarios de manera efectiva y durable (Smith *et al.*, 2001).

La resistencia a la pudrición causada por *Fusarium moniliforme* y *F. graminearum*, está gobernada predominantemente por genes de efecto aditivo (Reid, 2003). De acuerdo con Betanzos *et al.* (2009), los genotipos con mayor rendimiento no siempre son los que muestran mayor resistencia a las pudriciones por *Diplodia* y *Fusarium*. La mejor opción para reducir en forma significativa el daño causado por *Diplodia* y *Fusarium* es el uso de variedades resistentes.

Briones *et al.* (2015) mencionan que, es necesario estudiar con mayor detalle y profundidad los patosistemas para entender la relación planta–patógeno en términos de diversidad genética y mecanismos de coevolución y coadaptación entre especies, y poder dar solución al problema de las enfermedades en cultivos de interés agronómico.

#### **4.6 Técnicas de inoculación de *Fusarium verticillioides***

Tomando en cuenta que la incidencia de los patógenos no es uniforme a través de años y localidades, para evaluar la resistencia se ha recurrido a diferentes métodos de

inoculación artificial, épocas y dosis de esporas (Reid, 2003). Hay métodos de inoculación artificial y sus variantes (Mesterházy *et al.*, 2011) que se diferencian por la vía de entrada. Entre ellos: depósito de micelio en la espiga (Young, 1943), la aspersion de esporas sobre los estigmas (Ullstrup, 1970) y la inyección de esporas en el canal de los estigmas (Drepper y Renfro, 1990).

Los métodos que provocan heridas son los más agresivos porque al perforar las chalas, granos y/o marlo generan una puerta de entrada al patógeno. Aquellos métodos que no producen daños simulan una infección natural la cual contribuye a la resistencia basada en rasgos morfológicos, asumiendo que los insectos están controlados (Poulsen, 2013).

La técnica de inoculación del taladro y palillo recomendada por Coutiño (1973) y utilizada por Mendoza *et al.* (2006), es apropiada para trabajos de pruebas de resistencia a pudriciones de tallo. En la cual se utiliza un taladro, con brocas de 3/32". La metodología consiste en taladrar el primer entrenudo con el taladro y broca mencionada, enseguida se introduce un palillo portador del inóculo y se identifica la planta con pintura en aerosol. Las inoculaciones se realizan en floración.



## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Localización del experimento

El presente trabajo se realizó en el campo experimental del Tecnológico Nacional de México-Roque, Celaya, Guanajuato (Figura 2), localizado geográficamente a 1769 msnm y a una latitud N 20°34'59.24", longitud O 100°49'34.61".



**Figura 2.** Ubicación geográfica del TecNM-Instituto Tecnológico de Roque

Fuente: Google earth.

### 5.2 Material genético

En el experimento se utilizaron 29 materiales híbridos triples adaptados a la región bajo, 21 son de grano blanco y 8 de grano amarillo, provenientes de líneas endogámicas avanzadas S8 del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), las cuales se muestran en el siguiente cuadro (Tabla 1), considerando un testigo comercial

(híbrido simple). También se utilizó una cepa de *Fusarium verticillioides* obtenida en el Tecnológico de Roque.

**Tabla 1.** Híbridos triples de maíz, color, cruza y progenitores con clave de la línea endogámica proveniente del CIMMYT.

COLOR DE GRANO	HÍBRIDO	1/	2	//3
B	L8 x P3	500	498	444
B	L9 x P3	500	498	448
B	L5 x P3	500	498	202
B	L12 x P1	264	311	511
B	L4 x P3	500	498	197
B	L6 x P3	500	498	247
B	L8 x P1	264	311	444
B	L2 x P3	500	498	495
B	Testigo	500	498	--
B	L1 x P3	500	498	cl 2312
B	L1 x P1	264	311	clg 2312
B	L6 x P1	264	311	2417
B	L11 x P3	500	498	509
B	L11 x P1	264	311	509
B	L4 x P1	264	311	clg 2312
B	L12 x P3	500	498	511
B	L9 x P1	264	311	448
B	L3 x P3	500	498	144
B	L5 x P1	264	311	202
B	L2 x P1	264	311	495
B	L3 x P1	264	311	144
B	--	495	2312	a 420801
A	L5 x P4	486	451	202
A	L2 x P4	468	451	495
A	L4 x P4	486	451	197
A	L3 x P4	486	451	144
A	L9 x 4	486	451	448
A	L8 x P4	486	451	444
A	L1 x P4	486	451	197

A= amarillo, B= blanco, 1/2= cruza simple y //3= cruza triple.

### 5.3 Diseño experimental y método de siembra

Se sembraron en el ciclo agrícola 2017 dos parcelas con distinta fecha de siembra, 02 de abril y 17 de julio ambas fechas bajo un régimen de riego diferente. En la segunda fecha de siembra (17 de julio) se utilizaron 28 (Tabla 2) materiales y un criollo mejorado (TCM) susceptible al ataque de *Fusarium*.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con dos repeticiones, la unidad experimental constó de dos surcos de 5 m de largo y con una distancia entre ellos de 0.75 m, y se agruparon los materiales amarillos por separado, adecuándolos al diseño utilizado. El bajo número de repeticiones obedeció al limitado tamaño de muestra de semilla con la que se contó. La siembra se realizó con pala recta colocando 2 semillas por golpe a cada 20 cm para asegurar una población de 66,667 plantas ha<sup>-1</sup>.

Los genotipos que coincidieron en los análisis combinados fueron 26 de cada una de las fechas (riego y temporal) lo que se puede observar en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Número de genotipos correspondientes a las distintas fechas de siembra y genotipos evaluados en la interacción de sus variables.

N°	PFS	SFS	INTERACCIÓN
1	500/498//511	500/498//511	500/498//511
2	500/498//495	500/498//495	500/498//495
3	264/311//2417	264/311//2417	264/311//2417
4	264/311//509	264/311//509	264/311//509
5	500/498//509	BOA	BOA
6	500/498//247	500/498//247	500/498//247
7	500/498//202	500/498//202	500/498//202
8	500/498//197	500/498//197	500/498//197
9	BOA	500/498//*****	264/311//448
10	264/311//448	264/311//448	264/311//144
11	264/311//144	264/311//144	264/311//495
12	264/311//495	264/311//495	500/498//448
13	500/498//448	500/498//448	500/498//444
14	500/498//444	500/498//444	264/311//444

15	264/311//444	264/311//444	500/498//144
16	500/498//144	500/498//144	264/311//197
17	500/498//cl 2312	264/311//202	264/311//clg2312
18	264/311//197	264/311//197	264/311//511
19	264/311//(clg 2312)	264/311//clg2312	495/2312//a420801
20	264/311//511	264/311//511	486/451//444
21	495/2312//a 420801	495/2312//a420801	486/451//144
22	264/311//202	486/451//444	486/451//202
23	486/451//444	486/451//144	486/451//495
24	486/451//144	486/451//202	486/451//448
25	486/451//202	468/451//495	486/451//197
26	468/451//495	486/451//448	486/451//197
27	486/451//448	486/451//197	
28	486/451//197	486/451//197	
29	486/451//197	TCM	

N°= número del genotipo, PFS= primer fecha de siembra y SFS= segunda fecha de siembra.

### 5.3.1 Manejo agronómico

Ambas fechas de siembra fueron manejadas con fertilización, tanto de fondo como foliar. Los materiales sembrados el 02 de abril se manejaron bajo régimen de riego superficial, mientras que en la segunda fecha solo se aplicó un riego de preemergencia y el resto del ciclo fue en condiciones de temporal (punta de riego). El aporque (cultivada) se realizó en ambas fechas en la etapa vegetativa V6.

La fórmula de fertilización que se utilizó fue 140-100-80 para temporal y 240-100-80 para riego. La cual se aplicó con la fuente sulfato de amonio, 12-23-12, quelatos + zinc, Byfolan forte®, urea, potasio y BAC-TO-TAL®. No se realizó control enfermedades en ambas fechas de siembra.

### 5.4 Técnica de inoculación

A partir de una cepa de *Fusarium verticillioides* aislada en el Instituto Tecnológico de Roque se incrementaron las poblaciones de éste en cajas Petri con medio PDA (papa,

dextrosa y agar) acidulado para evitar la contaminación por bacterias, esto 15 días antes de su inoculación, posteriormente se inoculo con palillos sumergidos en una solución salina con un concentración de  $5 \times 10^6$  conidios/mL, esto de acuerdo con la metodología descrita por Poulsen *et al.* (2013).

La inoculación de *Fusarium verticillioides* se llevó a cabo entre la etapa fenológica R1 y R2 que es cuando los estigmas ya fueron polinizados esto de acuerdo con el método descrito por Poulsen *et al.* (2013), posteriormente se utilizó un palillo de madera previamente sumergido en la solución salina que contenía el inoculo, atravesando esté en el jilote, esto en cinco plantas por parcela, dejando el palillo en cada una de ellas (Figura 3). Esta técnica se utilizó únicamente en la parcela sembrada el 02 de abril.



**Figura 3.** Inoculación de *Fusarium* en jilotes de maíz.

En la parcela sembrada el 17 de julio no se realizó inoculación con la finalidad de evaluar la presencia de *Fusarium* de manera natural, ya que en el temporal y bajo estas condiciones, existe alta probabilidad de que los materiales susceptibles sean infectados de manera natural.

## 5.5 Variables evaluadas

Las variables de campo y de rendimiento se tomaron de la misma manera para ambas fechas de siembra.

#### 5.5.1 Altura de planta y de mazorca

Con un estadal graduado en centímetros, se midió la altura de planta, que consistió en visualizar la altura predominante en cuanto a porte de las plantas dentro de cada parcela, y se procedió a tomar la altura de dos de ellas por parcela, desde la base de la planta hasta el último entrenudo de la planta. Así mismo se midió la altura de mazorca, se visualizó la altura predominante de mazorca en las plantas dentro de cada parcela, y se procedió a tomar la altura de dos de ellas, desde la base de la planta hasta la base de la mazorca principal.

#### 5.5.2 Días a floración masculina y femenina

A partir de la fecha de siembra se contaron los días a floración, tomando como indicador de la misma, el momento en que el 50 % de cada una de las parcelas se encontró en estado de anthesis para el caso de floración masculina y el 50 % de la parcela con estigmas brotados de los jilotes para floración femenina.

#### 5.5.3 Índice de prolificidad

Para determinar esta variable se tomó las mazorcas cosechadas por parcela, y el número de plantas de las cuales se cosecharon esas mazorcas. Esto nos dio como resultado el porcentaje de cuateo (plantas con dos mazorcas) utilizando la siguiente fórmula:

$$IP = ((NMC - NP) / (NP) * (100))$$

Dónde:

IP= índice de prolificidad, NMC= número de mazorcas cosechadas y NP= número de plantas cosechadas por parcela útil.

#### 5.5.4 Peso de cinco mazorcas

Se tomaron cinco mazorcas al azar de cada uno de los materiales y se pesaron en una balanza digital (expresando el peso en Kg).

#### 5.5.5 Longitud y diámetro de mazorca

Se midió la longitud y diámetro (cm) de cinco mazorcas con una cinta métrica de fibra de vidrio y se registraron las medidas.

#### 5.5.6 Hileras y granos por hilera de mazorcas

Se contaron el número de hileras por cada una de las cinco mazorcas y el número de granos por hilera y se sacó la media de esta variable por material.

#### 5.5.7 Peso de grano y de olote

Se desgranaron las cinco mazorcas de manera manual y se pesó por separado el grano y olote con el fin de obtener una media de peso específico de grano por material. Posteriormente se obtuvo el índice de desgrane mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IDES} = (\text{PG5M}/5)/(\text{P5M}/5) * (100)$$

Donde:

IDES= índice de desgrane, PG5M= peso del grano de cinco mazorcas y P5M= peso de cinco mazorcas.

#### 5.5.8 Peso de mil semillas

Se contaron mil semillas y se pesaron en una balanza analítica.

#### 5.5.9 Peso hectolitrico

Se determinó el peso hectolitrico, dejando caer la semilla en un embudo de manera deliberada hacia un recipiente de un litro de volumen, y utilizando una regla se eliminó la semilla excedente de la parte superior del recipiente y se pesó.

#### 5.5.10 Rendimiento de grano

Para calcular el rendimiento de grano se aplicó la fórmula descrita por Espinosa *et al.* (2010) la cual es la siguiente:

$$\text{Rendimiento t ha}^{-1} = ((\text{PC} \times \% \text{MS} \times \% \text{G}) (\text{FC})) / (8600) / (1000)$$

Donde:



PC = peso de campo de la totalidad de las mazorcas cosechadas por parcela expresada en kilogramos, % MS = por ciento de materia seca de la muestra de grano de 5 mazorcas recién cosechadas, % G = por ciento de grano, FC = Factor de conversión para obtener el rendimiento por ha que se obtiene al dividir 10,000 m<sup>2</sup> / el tamaño de la parcela útil en m<sup>2</sup>, 1000= valor de conversión de Kg a toneladas y 8600 = valor constante que permite estimar el rendimiento con una humedad al 14 %, que se usa para el grano en forma comercial.

## 5.6 Heterosis útil

La heterosis útil o comercial se evaluó utilizando la fórmula de la cual se obtiene la diferencia en rendimiento y calidad entre los materiales derivados de las cruza triples y un testigo comercial, la cual se describe a continuación.

$$H = ((Ht - Tc) / (Tc)) * (100)$$

Dónde:

H= heterosis útil, Ht=promedio de híbrido triple y Tc= promedio de testigo comercial.

De la fórmula de la heterosis útil se obtuvo el porcentaje de heterosis de cada uno de los materiales, la cual fue comparada con el testigo en cuanto a rendimiento de grano.

## 5.7 Severidad de la pudrición causada por *Fusarium*

Para la variable de severidad de la pudrición (PuMz) por *Fusarium* spp., se determinó visualmente en tres de las cinco mazorcas inoculadas (Figura 4) por unidad experimental

en la primer fecha de siembra, mientras que de la segunda fecha se eligieron tres mazorcas con síntomas de pudrición por unidad experimental, con base en la escala usada por De León y Pandey (1989), y modificada por Reyes *et al.* (2015), donde: 1= 0-20; 2= 21-40; 3= 41-60; 4= 61-80; 5= 81-100%, de granos con síntomas y se obtuvo la media ponderada en cada parcela con base en la ecuación siguiente:

$$\text{Media ponderada de daño} = [(X1.Y1) + (X2.Y2) + \dots (X5.Y5)]/T$$

Dónde:

$X_i$  = número de mazorcas en cada categoría de la escala;  $Y_i$  = valor de la escala;

$T = (X1 + X2 + \dots + X5)$  número total de mazorcas en cada unidad experimental.

Los valores más bajos se asumen como indicativos de menor susceptibilidad.



**Figura 4.** Mazorcas de genotipo 16 de grano blanco, de la fecha de riego (lado izquierdo) y mazorcas de genotipo 25 de grano amarillo (lado derecho) de la fecha de temporal con valores de 3, 1 y 2, y 1, 1, 1 en la escala utilizada respectivamente.

#### 5.7.1 Identificación sintomática de *Fusarium*

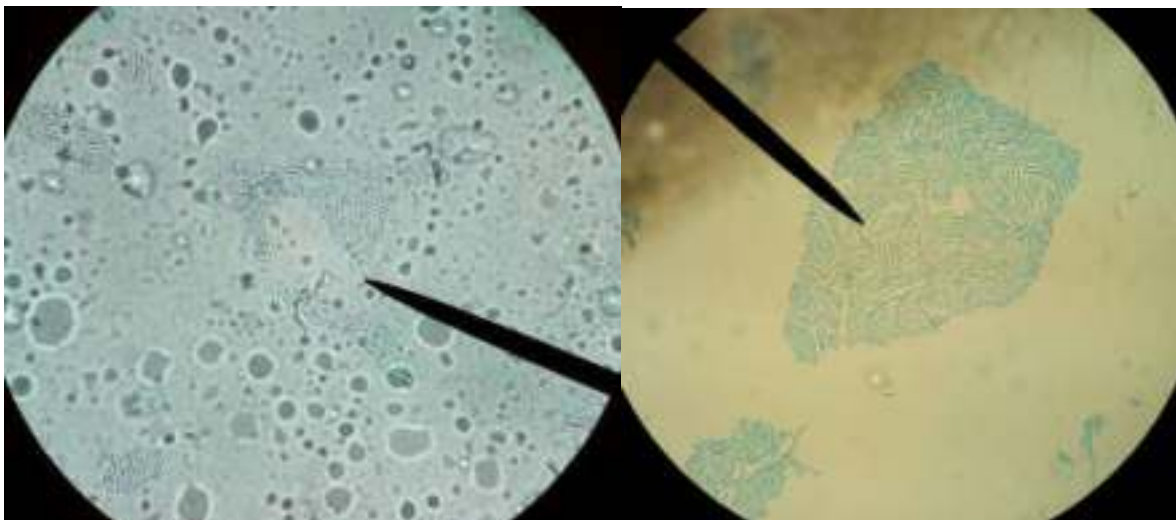
Con el fin de respaldar los datos de sintomatología visual se procedió a la identificación de granos colonizadas por *Fusarium verticilloides*, se desarrolló en el laboratorio, a partir

de muestras de maíz (de tres mazorcas por parcela), se determinó semillas colonizadas con *Fusarium verticillioides* mediante la prueba de patología de semillas. Para esto se desinfectaron los granos bajo inmersión en hipoclorito de sodio (2%) por cinco minutos. Posteriormente los granos fueron lavados dos veces en agua destilada estéril y colocados en cajas de Petri conteniendo medio PDA, se colocaron cinco semillas en cada una de las cajas (Figura 5). El diseño experimental fue completamente al azar con dos repeticiones. Posteriormente, las cajas fueron llevadas a cámara de incubación ajustada a temperatura de 28°C. Luego de cuatro días se procedió a cuantificar el número de semillas infectadas por *Fusarium* en cada una de las cajas, a los cinco días se realizó un segundo conteo para asegurar que las semillas estuvieran o no infectadas por el patógeno.

Posteriormente se observó en microscopio óptico cada una de las muestras que mostraron infección por hongos (Figura 6).



**Figura 5.** Semillas infectadas con *Fusarium v.* en caja de Petri, genotipo 9 (BOA) de riego en lado izquierdo y semillas no infectadas de genotipo 24 (486/451//202) amarillo de temporal al lado derecho.



**Figura 6.** Macro y micro-conidios de *Fusarium v.* en genotipo 13 (500/498//448) blanco de riego al lado izquierdo y 22 (486/451//444) amarillo lado derecho (temporal).

### 5.8 Análisis estadístico

Todas las variables se analizaron con el diseño experimental combinado bloques completos al azar. La comparación de medias (ANOVA) se realizó con el software SAS versión 9.0 utilizando la prueba de medias de DUNCAN.

Para los datos obtenidos en laboratorio se realizó el análisis con un diseño completamente al azar, dos repeticiones por genotipo por bloque.

El modelo es:

$$\text{Diferencia crítica: } Kr (\text{CME dentro de grupos/ } n)^{0.5}$$

Donde:

El valor de Kr se obtiene de la tabla de comparaciones de rangos múltiples de Duncan y n corresponde al tamaño medio de las muestras.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Análisis de caracteres de altura y precocidad

En la Tabla 3 se presentan los cuadrados medios para los caracteres de alturas de planta y mazorca, floración masculina y femenina. Se observa que en la fuente de variación Genotipos solo existe diferencia significativas al 5 % para altura de planta, las demás variables resultaron similares. En Ambientes todas las variables fueron altamente significativas al 1%, lo que indica que la variación fue más alta o se debió a la fecha de siembra dado que fue riego y temporal, por otro lado, la variación genética de los materiales para estas características no son tan importantes asumiendo que se comportaron de manera similar. Estos resultados, se corroboran con los valores de cuadrados medios más grandes para ambientes versus genotipos. En la interacción Genotipo\*Ambiente solo se presentó diferencias estadísticas para altura de planta.

Lo anterior indica que el comportamiento de los genotipos para las variables altura de mazorca y altura de planta fue significativo (5 %) solo para altura de planta en ambos ambiente o fechas de siembra (Tabla 3).

Por su parte García *et al.* (2018) obtuvo en la fuente de variación fechas de siembra (ambientes) diferencias altamente significativas al 1 % de probabilidad para las características, con un coeficiente de variación de 2.6, 2.7, 11.3 y 17.7 % para días a floración masculina, días a floración femenina, altura de planta y altura de mazorca, respectivamente.

**Tabla 3.** Cuadrados medios de genotipos de maíz evaluados en dos ambientes para las variables de alturas y floración.

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>Altura de Mazorca (cm)</b>	<b>Altura de Planta (cm)</b>	<b>Floración Masculina</b>	<b>Floración Femenina</b>
<b>REP</b>	1	365.625	3004.625	7.0096154	61.5384615
<b>GEN</b>	25	460.35885 <sup>ns</sup>	898.425*	17.1834615 <sup>ns</sup>	21.4015385 <sup>ns</sup>
<b>AMB</b>	1	41640.00962**	53236.625**	665.0865385* *	610.6153846* *
<b>GEN X AMB</b>	25	374.06962 <sup>ns</sup>	834.625*	12.1865385 <sup>ns</sup>	16.8753846 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	51	301.95833	480.2721	17.362557	21.067873
<b>C. V. (%)</b>	--	16.53585	10.34341	5.231817	5.71275

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad, \* , significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo.

En altura de mazorca para la fecha de siembra con riego se registraron medias (Tabla 6) desde 56.5 cm en el genotipo 26 (468/451//495) hasta 125.5 cm en el genotipo 9 (BOA) la cual muestra una media general de 85.077 cm (Tabla 4), media que fue rebasada por 15 de los 26 genotipos y 140 cm del genotipo 16 (500/498//144) hasta 255 cm en el genotipo 9 (BOA) en altura de planta con una media general de 189.25 cm la cual fue superada por 11 genotipos, para la fecha de temporal se registraron medias de altura de mazorca desde 105 cm, genotipo 5 (BOA) hasta 164 cm, genotipo 15 (264/311//444) y una media general de 125.096 superada por solo 7 genotipos, en el caso de altura de planta las media oscilaron de entre 219.5 cm, genotipo 24 (486/451//202) a 260.5 cm genotipo 15 (264/311//444) con una media general de 234.5 siendo superada por 14 genotipos.

Los genotipos mostraron medias de 73.5, genotipo 6 (500/498//247) hasta 88.5, genotipo 16 (500/498//144) días a floración masculina y una media general de 82.1 días (Tabla 4) superada por 14 de los 26 genotipos de la fecha de riego, mientras que para días a floración femenina se observó una media general de 82.7 días (la cual fue superada por 18 de los 26 genotipos) y medias desde 72 días genotipo 7 (500/498//202) hasta 88.5 días genotipo 16 (500/498//144), mientras que en la fecha de temporal se observaron medias de días a floración masculina de 73.5, genotipo 26 (486/451//448) y 80.5, genotipo

3 (264/311//2417) con una media general (77.1 días) superada por 21 de los 28 genotipos evaluados y en días a floración femenina medias 74, genotipo 26 (486/451//448) y 81.5, genotipo 13 (500/498//448) con una media general de 77.9 días superada por 14 de los 28 genotipos, lo que en la interacción de ambas fechas (ambientes) dio como resultado en días a floración masculina medias con significancia estadística y lo mismo para días a floración femenina medias (Tabla 7). Lo anterior indica que para la fecha de riego la mayoría de los genotipos son de ciclo intermedio-tardío mientras que en la fecha de temporal fueron más los intermedios. Por su parte en la Tabla 5 se muestran las medias del análisis combinado para las variables antes mencionadas. Al respecto, Reyes (1990) y CIMMYT (1999) indican que las variedades de maíz tardías emiten polen de 81 a 90 días, las intermedias de 71 a 80 y las precoces de 60 a 70 días.

García *et al.* (2018) mencionan que para la fecha de siembra establecida el 25 de marzo (riego), los genotipos presentaron una respuesta de ciclo vegetativo tardío con 80 y 82 días a floración masculina y femenina, respectivamente en híbridos de maíz en Guanajuato.

Palomo (1976) menciona que al evaluar diferentes variedades en un ambiente, las diferencias observadas entre las variedades se confunden con los efectos de la interacción genotipo-ambiente; y para recomendar una variedad en una región, es necesario evaluar varias variedades en una muestra adecuada de ambientes.

**Tabla 4.** Comparación de medias entre ambientes (riego y temporal) de las variables de altura y precocidad en híbridos triples de maíz. 2017.

	<b>Altura de Mazorca (cm)</b>	<b>Altura de Planta (cm)</b>	<b>Floración Masculina</b>	<b>Floración Femenina</b>
<b>Riego</b>	85.077 b	189.25 b	82.1731 a	82.7692 a
<b>Temporal</b>	125.096 a	234.5 a	77.1154 b	77.9231 b
<b>RC (0.05)</b>	6.842	8.629	1.641	1.807

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha = 0.05$  DUNCAN, la floración está dada en días RC= rango crítico de DUNCAN.

**Tabla 5.** Comparación de medias de riego y temporal (análisis combinado) de las variables de altura y precocidad en genotipos de maíz.

<b>GEN</b>	<b>Altura de Mazorca (cm)</b>	<b>Altura de Planta (cm)</b>	<b>Floración Masculina</b>	<b>Floración Femenina</b>
<b>1</b>	109 a-d	215.25 a-d	81.75 a	82.75 ab
<b>2</b>	110.25 a-d	199.75 cd	81.25 a	81.5 ab
<b>3</b>	110.5 a-d	218.25 a-d	83.25 a	84.75 a
<b>4</b>	97.5 bcd	214 a-d	78.75 a	80.75 ab
<b>5</b>	115.25 abc	238.5 ab	79 a	80.75 ab
<b>6</b>	111 a-d	240.25 a	76.75 a	76.75 ab
<b>7</b>	107.5 a-d	232 a-d	81 a	75.5 b
<b>8</b>	97.5 bcd	232.25 a-d	79.75 a	79.5 ab
<b>9</b>	109.5 a-d	201 bcd	78 a	78 ab
<b>10</b>	112.75 a-d	222.25 a-d	79.5 a	79.5 ab
<b>11</b>	96.25 bcd	197.25 cd	81.5 a	82.25 ab
<b>12</b>	106.25 a-d	219.25 a-d	83 a	84.5 a
<b>13</b>	115.25 abc	228.25 a-d	77.75 a	78.25 ab
<b>14</b>	130.25 a	234 abc	82.25 a	82.75 ab
<b>15</b>	111.25 a-d	195 d	83.5 a	83.75 a
<b>16</b>	110.5 a-d	211 a-d	79.75 a	81.25 ab
<b>17</b>	94.5 bcd	200 cd	80.25 a	81.5 ab
<b>18</b>	113.5 a-d	209.5 a-d	80.25 a	81.25 ab
<b>19</b>	99.75 bcd	196.25 cd	80.25 a	81 ab
<b>20</b>	118 ab	213.25 a-d	77.5 a	80 ab
<b>21</b>	91 bcd	202.25 bcd	78.5 a	79.75 ab
<b>22</b>	95.5 bcd	195.5 d	78.25 a	79.5 ab
<b>23</b>	84 d	194.75 d	77 a	79 ab
<b>24</b>	94.25 bcd	194.5 d	77 a	78.25 ab
<b>25</b>	86.25 cd	204 a-d	78.25 a	78.5 ab
<b>26</b>	105 a-d	200.5 cd	76.75 a	77.75 ab

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, AM, AP, DFM y DFF corresponden a altura de mazorca, altura de planta, días a floración masculina y días a floración femenina respectivamente.



**Tabla 6.** Comparación de medias las variables de altura y floración en genotipos de maíz en riego.

<b>GEN</b>	<b>Altura de mazorca (cm)</b>	<b>Altura de planta (cm)</b>	<b>Floración masculina</b>	<b>Floración femenina</b>
<b>1</b>	84.5 a-d	187.5 b-f	85 abc	85.5 abc
<b>2</b>	85.5 a-d	174.5 c-f	85.5 abc	85.5 abc
<b>3</b>	96 a-d	194.5 a-f	86 ab	88 ab
<b>4</b>	68 bcd	196 a-f	81.5 abc	84 abc
<b>5</b>	101 abc	233 a-d	85 abc	84.5 abc
<b>6</b>	102.5 abc	242 ab	73.5 c	74.5 bc
<b>7</b>	91 a-d	236 abc	83.5 abc	72 c
<b>8</b>	78 bcd	228 a-e	82.5 abc	82.5 abc
<b>9</b>	125.5 a	255 a	82 abc	84.5 abc
<b>10</b>	93.5 a-d	180 b-f	80 abc	80 abc
<b>11</b>	112 ab	214.5 a-e	81.5 abc	82.5 abc
<b>12</b>	76 bcd	173 c-f	85 abc	85 abc
<b>13</b>	87 a-d	193.5 a-f	86 ab	87.5 ab
<b>14</b>	85.5 a-d	204 a-f	75.5 bc	75.5 abc
<b>15</b>	96.5 a-d	207.5 a-e	84.5 abc	85 abc
<b>16</b>	76 bcd	140 f	88.5 a	88.5 a
<b>17</b>	75 bcd	183 b-f	83 abc	83.5 abc
<b>18</b>	83.5 a-d	185.5 b-f	80.5 abc	83 abc
<b>19</b>	69.5 bcd	168.5 def	83 abc	84.5 abc
<b>20</b>	91 a-d	177.5 b-f	83.5 abc	84.5 abc
<b>21</b>	81.5 bcd	165.5 ef	84 abc	84 abc
<b>22</b>	90 a-d	182.5 b-f	83.5 abc	85 abc
<b>23</b>	96 a-d	187 b-f	81 abc	82.5 abc
<b>24</b>	70.5 bcd	169 def	81.5 abc	83 abc
<b>25</b>	79.5 bcd	171.5 c-f	81.5 abc	83.5 abc
<b>26</b>	56.5 d	162.5 ef	80 abc	82 abc
<b>27</b>	74.5 bcd	162.5 ef	80.5 abc	82.5 abc
<b>28</b>	62 cd	170 def	81 abc	81 abc
<b>29</b>	90.5 a-d	175 c-f	79.5 abc	81 abc

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, la floración está dada en días.

**Tabla 7.** Comparación de medias las variables de altura y floración en genotipos de maíz en temporal.

<b>GEN</b>	<b>Altura de mazorca (cm)</b>	<b>Altura de planta (cm)</b>	<b>Floración masculina</b>	<b>Floración femenina</b>
1	133.5 ab	243 ab	78.5 abc	80 abc
2	135 ab	225 b	77 abc	77.5 a-d
3	125 ab	242 ab	80.5 a	81.5 a
4	127 ab	232 ab	76 abc	77.5 a-d
5	105 b	222 b	76 abc	77 a-d
6	119.5 b	238.5 ab	80 ab	79 a-d
7	124 ab	228 ab	78.5 abc	79 a-d
8	117 b	236.5 ab	77 abc	76.5 a-d
9	141 ab	243.5 ab	77 abc	77 a-d
10	125.5 ab	222 b	76 abc	76 a-d
11	113.5 b	230 ab	77.5 abc	76.5 a-d
12	116.5 b	221.5 b	78 abc	79.5 a-d
13	125.5 ab	245 ab	80 ab	81.5 a
14	145 ab	252.5 ab	80 ab	81 ab
15	164 a	260.5 a	80 ab	80.5 ab
16	146.5 ab	250 ab	78.5 abc	79 a-d
17	127 ab	234.5 ab	77 abc	79 a-d
18	137.5 ab	236.5 ab	79 abc	79.5 a-d
19	119.5 b	231.5 ab	77.5 abc	78.5 a-d
20	136.5 ab	241.5 ab	77 abc	78 a-d
21	118 b	227 ab	76.5 abc	78 a-d
22	140 ab	239.5 ab	74 bc	77.5 a-d
23	111.5 b	235.5 ab	75.5 abc	76.5 a-d
24	111.5 b	219.5 b	75 abc	75.5 bcd
25	111.5 b	227 ab	74 bc	76 a-d
26	114 b	226.5 ab	73.5 c	74 d
27	110.5 b	238 ab	75.5 abc	76 a-d
28	119.5 b	226 b	74 bc	74.5 cd

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, la floración está dada en días.

## 6.2 Análisis de componentes de rendimiento

En la Tabla 8 se presentan los cuadrados medios para los componentes de rendimiento. Peso de cinco mazorcas, peso del grano de cinco mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras y número de granos por hilera de mazorcas. Se

observa que en la fuente de variación Genotipos existen diferencias significativas al 1 % para Peso de mazorcas, peso del grano mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca y número de hileras, la variable número de granos por hilera muestra diferencia significativa al 5%. En Ambientes las variables fueron altamente significativas al 1%, para peso de cinco mazorcas, peso del grano, número de hileras y número de granos por hilera lo que indica que la variación fue más alta debido a la fecha de siembra (riego y temporal), mientras que para longitud hubo diferencias significativas al 5 % entre ambientes y no fueron significativas para diámetro. El ambiente influyó fuertemente sobre la mayoría de las variables (excepto diámetro), lo que indica que este factor es determinante para los componentes de rendimiento de los híbridos. Estos resultados, se corroboran con los valores de cuadrados medios, los cuales son mayores para ambientes versus genotipos. En la interacción Genotipo\*Ambiente solo se presentó diferencias significativas al 5 % para longitud de mazorca.

En la interacción fecha de siembra x tratamiento no se encontraron diferencias estadísticas, lo que se atribuyen a la genética de los materiales bajo estudio, al manejo agronómico, ambiente y conducción del experimento (Mendoza *et al.*, 2006; Cervantes, 2016).

**Tabla 8.** Cuadrados medios del análisis combinado para caracteres agronómicos de los híbridos trilineales de maíz evaluados en Roque, Celaya, Gto.

F. V.	G. L.	P5M (Kg)	PG5M (Kg)	LONG (cm)	DIA (cm)	NH	NGH
<b>REP</b>	1	0.02653	0.01693	1.46894	0.013846	0.9616	13.8846
<b>GEN</b>	25	0.02864**	0.02313**	2.322570**	0.119418**	2.8446**	6.1461*
<b>AMB</b>	1	0.30553**	0.37596**	3.846154*	0.004984 <sup>ns</sup>	24.0384**	67.846**
<b>GEN X AMB</b>	25	0.00672 <sup>ns</sup>	0.00474 <sup>ns</sup>	1.090178*	0.033208 <sup>ns</sup>	0.83846 <sup>ns</sup>	5.5461 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	51	0.01149	0.009037	0.5973463	0.034952	1.196832	3.41402
<b>C. V. (%)</b>	--	10.76733	11.41818	4.742725	3.913074	7.11989	5.17677

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad, \* , significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo, P5M, PG5M, LONG, DIA, NH Y NGH corresponden a peso de 5 mazorcas, peso del grano de 5 mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera respectivamente.

La comparación de medias para las variables de mazorca (Tabla 9) muestra una media general de peso de 5 mazorcas en riego de 1.0499 Kg superada por 13 de los 29 genotipos de los que destacan el genotipo 23 (486/451//444) con un valor de 1.21 Kg y el genotipo 21 (495/2312//a 420801) por haber tenido un valor inferior al de los demás genotipos (0.857 Kg). Para el caso de peso de 5 mazorcas la media general fue de 0.892 Kg superada por 13 de los 29 genotipos, de los cuales el genotipo 23 (486/451//444) tuvo una media superior a la de los demás híbridos (1.03 Kg) y el genotipo 21 (495/2312//a 420801) tuvo una media inferior a la de todos los híbridos (0.72 Kg). Para la variable de longitud la media general en riego fue de 16.48 cm siendo inferiores a está 13 de los 29 genotipos evaluados, la media superior la obtuvo el genotipo 17 (500/498//cl 2312) con 18.67 cm y la inferior, el genotipo 21 (495/2312//a 420801) con 14.46 cm. El diámetro tuvo una media general de 4.78 cm superada por el 44.8 % de los genotipos de los cuales el 29 (486/451//197) tuvo una media superior (5.03 cm) y el 26 (468/451//495) con la media inferior (4.43 cm). En la variable número de hileras la media general fue de 14, todos los genotipos la igualaron o superaron en éste caso. En número de granos por hilera se obtuvo una media general de 37 granos siendo inferiores a está 13 genotipos, el genotipo 17 (500/498//cl 2312) tuvo una media superior (40 granos por hilera) y el genotipo 5 (500/498//509) y genotipo 21 (495/2312//a 420801) mostraron una media (Tabla 11) inferior a todos los genotipos (33 granos por hilera).

En las variables tomadas a la mazorca en la fecha de temporal (Tabla 12) se muestra que en peso de 5 mazorcas la media general (0.94 Kg) fue estadísticamente diferente a la de riego y fu superada por el 42 % de los genotipos de los cuales el genotipo 22 (486/451//444) tuvo una media de 1.15 Kg y el genotipo que mostro una media inferior a la de todos los genotipos fue el 12 (264/311//495) con 0.81 Kg. En la variable peso del grano de 5 mazorcas se obtuvo una media general de 0.77 Kg (estadísticamente diferente a la de riego), superior a la de 14 de los 28 genotipos, de los cuales el genotipo 22 (486/451//444) tuvo una media de 0.95 Kg y el genotipo 12 (264/311//495) tuvo una media de 0.65 teniendo estos el valor superior e inferior al valor de los demás genotipos respectivamente. En longitud de mazorca la media general fue de 16.1 cm

(estadísticamente inferior a la de riego), y en la cual el genotipo 27 (486/451//197) tuvo una media superior a la de los demás genotipos (18.34 cm) y el genotipo 20 (264/311//511) una media inferior a la de los demás (14.74 cm). En diámetro de mazorca la media general (4.77 cm) fue estadísticamente igual a la de riego y fue superada por 12 de los 28 genotipos de los cuales el genotipo 17 (264/311//202) fue el que mostro una media superior a las demás (5.28 cm) y el genotipo 21 (495/2312//a420801) mostro una media inferior a las demás (4.36). Para número de hileras la media general es estadísticamente igual a la de riego y va desde 14 hileras (2 genotipos) hasta 18 hileras (solo el genotipo 28 = 486/451//197). En número de granos por hilera el genotipo 21 (495/2312//a420801) mostro la media superior (38 granos) y el genotipo 23 la media inferior (32 granos) de una media general de 35 granos (inferior a la de riego).

En la Tabla 10 podemos observar la comparación de medias del análisis combinado para las variables peso de cinco mazorcas, en donde se puede observar que el genotipo 20 (486/451//444) tuvo una media superior a las demás (1.18 Kg). Para la variable peso del grano de cinco mazorcas el genotipo 20 (486/451//444) mostro una media de 0.99 Kg (superior a las demás). Mientras que para la variable de longitud y diámetro de mazorca el genotipo 25 (486/451//197) mostro una media superior a las demás (18.2 y 5.1 cm correspondientemente). Para número de hileras y número de granos por hilera de mazorcas los genotipos 26 y 25 (486/451//197) mostraron medias superiores (18 hileras y 38 granos por hilera respectivamente).

**Tabla 9.** Comparación de medias de riego y temporal para las variables de rendimiento.

	<b>P5M (Kg)</b>	<b>PG5M (Kg)</b>	<b>LONG (cm)</b>	<b>DIA (cm)</b>	<b>NH</b>	<b>NGH</b>
<b>Riego</b>	1.0499 a	0.89269 a	16.4885 a	4.78462 a	14.8846 a	36.5 a
<b>Temporal</b>	0.9415 b	0.77244 b	16.1038 b	4.77077 a	15.8462 a	34.8846 b
<b>RC (0.05)</b>	0.04221	0.03743	0.3043	0.07361	0.4307	0.7275

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, RC= rango crítico de DUNCAN, P5M, PG5M, LONG, DIA, NH Y NGH corresponden a peso de 5 mazorcas, peso del grano de 5 mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera respectivamente.

**Tabla 10.** Comparación de medias del análisis combinado entre fechas para caracteres agronómicos y de mazorcas en los distintos genotipos de maíz.

<b>GEN</b>	<b>P5M (Kg)</b>	<b>PG5M (Kg)</b>	<b>LONG (cm)</b>	<b>DIA (cm)</b>	<b>NH</b>	<b>NGH</b>
<b>1</b>	1.0395 a-e	0.852 a-f	16.635 b-g	4.88 a	16 ab	36.5 abc
<b>2</b>	0.881 def	0.729 ef	15.505 e-h	4.71 a	14 b	34.25 bcd
<b>3</b>	1.035 a-e	0.8485 a-f	15.945 d-h	4.975 a	16 ab	35.5 a-d
<b>4</b>	1.06475 a-d	0.9125 a-d	15.655 d-h	5.065 a	16 ab	36.5 abc
<b>5</b>	1.101 abc	0.91675 a-d	17.44 abc	4.85 a	16 ab	36.5 abc
<b>6</b>	1.03025 a-f	0.849 a-f	16.67 b-f	4.725 a	14 b	36.75 abc
<b>7</b>	1.11125 ab	0.943 abc	17.53 ab	4.865 a	16 ab	37.25 ab
<b>8</b>	1.02 a-f	0.87375 a-e	15.95 d-h	4.93 a	16 ab	34.25 bcd
<b>9</b>	0.9525 b-f	0.809 b-f	15.725 d-h	4.825 a	14 b	36.25 abc
<b>10</b>	1.01575 a-f	0.836 a-f	16.27 b-h	4.83 a	14 b	37.25 ab
<b>11</b>	0.92375 c-f	0.76625 def	15.89 d-h	4.62 a	16 ab	36 abc
<b>12</b>	0.902 def	0.7545 def	16.725 b-e	4.47 a	16 ab	36.75 abc
<b>13</b>	0.95725 b-f	0.7795 c-f	16.76 b-e	4.6 a	16 ab	35.75 a-d
<b>14</b>	1.01325 a-f	0.83925 a-f	16.14 d-h	4.845 a	14 b	35 a-d
<b>15</b>	0.96525 b-f	0.79925 b-f	16.185 c-h	4.69 a	16 ab	34 cd
<b>16</b>	0.8715 ef	0.72675 ef	15.37 fgh	4.875 a	16 ab	35 a-d
<b>17</b>	0.91575 c-f	0.77075 def	16.24 b-h	4.585 a	14 b	36.75 abc
<b>18</b>	0.95175 b-f	0.796 b-f	15.09 h	4.745 a	16 ab	35.75 a-d
<b>19</b>	0.847 f	0.6935 f	15.785 d-h	4.515 a	14 b	35.5 a-d
<b>20</b>	1.185 a	0.99025 a	17.46 abc	5.015 a	16 ab	36.75 abc
<b>21</b>	1.0125 b-f	0.82275 b-f	15.905 d-h	4.805 a	16 ab	34 cd
<b>22</b>	0.99125 b-f	0.846 a-f	16.425 b-g	4.73 a	16 ab	35.25 a-d
<b>23</b>	0.90075 def	0.76 def	15.305 gh	4.575 a	16 ab	32.75 d
<b>24</b>	1.09975 abc	0.93475 abc	16.845 bcd	4.875 a	16 ab	35.25 a-d
<b>25</b>	1.0125 a-f	0.84775 a-f	18.235 a	4.515 a	14 b	38 a
<b>26</b>	1.0985 abc	0.95 ab	16.015 d-h	5.105 a	18 a	34.5 bcd

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, P5M, PG5M, LONG, DIA, NH Y NGH corresponden a peso de 5 mazorcas, peso del grano de 5 mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera respectivamente.

**Tabla 11.** Comparación de medias de caracteres agronómicos y de mazorcas en los distintos genotipos de maíz en riego.

<b>GEN</b>	<b>P5M (Kg)</b>	<b>PG5M (Kg)</b>	<b>LONG (cm)</b>	<b>DIA (cm)</b>	<b>NH</b>	<b>NGH</b>
<b>1</b>	1.078 abc	0.891 abc	17.21 a-f	4.7 a-e	14 b	37 ab
<b>2</b>	0.934 abc	0.7835 abc	15.7 efg	4.56 cde	14 b	35 ab
<b>3</b>	1.0425 abc	0.874 abc	15.41 fg	5.03 a	14 b	35 ab
<b>4</b>	1.073 abc	0.9395 abc	15.35 fg	5.04 a	14 b	37 ab
<b>5</b>	0.9735 abc	0.8365 abc	15.57 efg	4.97 ab	16 ab	33 b
<b>6</b>	1.141 abc	0.961 abc	16.98 a-f	4.84 a-d	14 b	37.5 ab
<b>7</b>	1.1515 abc	0.9845 abc	18.06 a-d	4.76 a-e	14 b	39 ab
<b>8</b>	1.0955 abc	0.954 abc	16.28 b-g	4.98 ab	16 ab	34.5 ab
<b>9</b>	1.1755 ab	0.99 ab	18.18 ab	4.81 a-e	16 ab	37 ab
<b>10</b>	1.0075 abc	0.8775 abc	16.01 c-g	4.8 a-e	14 b	37 ab
<b>11</b>	1.1465 abc	0.949 abc	17.4 a-f	4.86 a-d	14 b	40.5 a
<b>12</b>	1.031 abc	0.8765 abc	16.61 a-f	4.62 b-e	14 b	38 ab
<b>13</b>	0.948 abc	0.8205 abc	16.66 a-f	4.48 de	14 b	38.5 ab
<b>14</b>	1.051 abc	0.8555 abc	16.36 b-g	4.76 a-e	14 b	37 ab
<b>15</b>	1.0555 abc	0.885 abc	15.88 efg	4.96 abc	14 b	35 ab
<b>16</b>	1.0615 abc	0.8865 abc	16.73 a-f	4.76 a-e	14 b	35 ab
<b>17</b>	1.048 abc	0.893 abc	18.67 a	4.51 de	14 b	40 a
<b>18</b>	0.907 bc	0.77 abc	16.05 b-g	5.01 ab	16 ab	37.5 ab
<b>19</b>	1.0185 abc	0.8745 abc	17.22 a-f	4.61 b-e	14 b	39 ab
<b>20</b>	1.041 abc	0.888 abc	15.44 fg	4.81 a-e	14 b	38 ab
<b>21</b>	0.8575 c	0.7215 c	14.46 g	4.67 a-e	14 b	33 b
<b>22</b>	1.0455 abc	0.889 abc	17.12 a-f	4.7 a-e	14 b	35 ab
<b>23</b>	1.2155 a	1.03 a	17.65 a-d	4.99 ab	14 b	37 ab
<b>24</b>	1.098 abc	0.9295 abc	16.33 b-g	4.81 a-e	16 ab	35.5 ab
<b>25</b>	1.0485 abc	0.9145 abc	16.61 a-f	4.74 a-e	14 b	35.5 ab
<b>26</b>	0.8745 c	0.75 bc	15.32 fg	4.43 e	14 b	32.5 b
<b>27</b>	1.114 abc	0.956 abc	16.69 a-f	4.83 a-e	14 b	35.5 ab
<b>28</b>	1.043 abc	0.894 abc	18.13 abc	4.51 de	14 b	38.5 ab
<b>29</b>	1.088 abc	0.954 abc	15.98 d-g	5.03 a	18 a	34 ab

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, P5M, PG5M, LONG, DIA, NH Y NGH corresponden a peso de 5 mazorcas, peso del grano de 5 mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera respectivamente.

**Tabla 12.** Comparación de medias de caracteres agronómicos y de mazorcas en los distintos genotipos de maíz en temporal.

<b>GEN</b>	<b>P5M (gr)</b>	<b>PG5M (gr)</b>	<b>LONG (cm)</b>	<b>DIA (cm)</b>	<b>NH</b>	<b>NGH</b>
<b>1</b>	1.001 a-f	0.813 a-f	16.06 bc	5.06 abc	16 ab	36 a-d
<b>2</b>	0.828 f	0.6745 ef	15.31 bc	4.86 a-f	16 ab	33.5 cd
<b>3</b>	1.0275 a-e	0.823 a-e	16.48 abc	4.92 a-e	16 ab	36 a-d
<b>4</b>	1.0565 a-d	0.8855 abc	15.96 bc	5.09 abc	16 ab	36 a-d
<b>5</b>	1.0265 a-e	0.8435 a-d	16.7 abc	4.89 a-f	16 ab	36 a-d
<b>6</b>	0.9195 c-f	0.737 c-f	16.36 abc	4.61 c-f	16 ab	36 a-d
<b>7</b>	1.071 a-d	0.9015 ab	17 ab	4.97 a-e	16 ab	35.5 a-d
<b>8</b>	0.9445 b-f	0.7935 a-f	15.62 bc	4.88 a-f	16 ab	34 bcd
<b>9</b>	0.9235 b-f	0.723 def	17.01 ab	4.63 c-f	16 ab	36.5 abc
<b>10</b>	0.8975 def	0.7405 c-f	15.44 bc	4.85 a-f	16 ab	35.5 a-d
<b>11</b>	0.885 def	0.723 def	15.14 bc	4.8 a-f	16 ab	34 bcd
<b>12</b>	0.8165 f	0.656 f	15.17 bc	4.62 c-f	16 ab	34 bcd
<b>13</b>	0.856 ef	0.6885 def	16.79 abc	4.46 ef	16 ab	35 a-d
<b>14</b>	0.8635 ef	0.7035 def	17.16 ab	4.44 ef	16 ab	34.5 a-d
<b>15</b>	0.971 a-f	0.7935 a-f	16.4 abc	4.73 b-f	16 ab	35 a-d
<b>16</b>	0.869 ef	0.712 def	15.64 bc	4.62 c-f	16 ab	33 cd
<b>17</b>	1.001 a-f	0.823 a-e	15.67 bc	5.28 a	16 ab	34 bcd
<b>18</b>	0.836 f	0.6835 def	14.69 c	4.74 b-f	16 ab	32.5 d
<b>19</b>	0.813 f	0.667 ef	15.26 bc	4.56 c-f	14 b	34.5 a-d
<b>20</b>	0.8625 ef	0.704 def	14.74 c	4.68 b-f	16 ab	33.5 cd
<b>21</b>	0.8365 f	0.6655 ef	17.11 ab	4.36 f	16 ab	38 a
<b>22</b>	1.1545 a	0.9505 a	17.27 ab	5.04 a-d	16 ab	36.5 abc
<b>23</b>	0.906 c-f	0.716 def	15.48 bc	4.8 a-f	16 ab	32.5 d
<b>24</b>	0.934 b-f	0.7775 b-f	16.24 bc	4.72 b-f	16 ab	35 a-d
<b>25</b>	0.927 b-f	0.77 b-f	15.29 bc	4.72 b-f	16 ab	33 cd
<b>26</b>	1.0855 abc	0.9135 ab	17 ab	4.92 a-e	16 ab	35 a-d
<b>27</b>	0.982 a-f	0.8015 a-f	18.34 a	4.52 def	14 b	37.5 ab
<b>28</b>	1.109 ab	0.946 a	16.05 bc	5.18 ab	18 a	35 a-d

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha = 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, P5M, PG5M, LONG, DIA, NH y NGH corresponden a peso de 5 mazorcas, peso del grano de 5 mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera respectivamente.

La Tabla 13 se muestra el análisis de varianza para componentes de rendimiento, se puede observar que en la fuente de variación Genotipos hubo diferencias altamente significativas al 1 % para las variables rendimiento e índice de desgrane, mientras que para peso de 1000 semillas hubo diferencias significativas al 5 %, y en el caso de peso



hectolitrico e índice de prolificidad no existieron diferencias significativas. En ambientes se muestra que hubo diferencias altamente significativas (5 %) para las variables peso de 1000 semillas, rendimiento e índice de desgrane, mientras que en peso hectolitrico e índice de prolificidad no hubo diferencias significativas. Lo anterior indica que el peso de 1000 semillas, rendimiento e índice de desgrane están fuertemente influenciados por el ambiente y el peso hectolitrico e índice de prolificidad fueron dados por la constitución genética de los híbridos.

Para la fuente Genotipo\*Ambiente no hubo diferencias significativas al 5 %, lo que indica que el comportamiento de estas variables en los híbridos fue la misma para ambas fechas.

**Tabla 13.** Cuadrados medios del análisis combinado de caracteres agronómicos y de rendimiento de híbridos trilineales de maíz en Roque, Celaya.

F. V.	G. L.	PHEC (gr)	P1000S (gr)	REND (t ha <sup>-1</sup> )	IDES (%)	IPROL (%)
<b>REP</b>	1	33.8124	0.02462	23.92321	1.38461	60.00961
<b>GEN</b>	25	38.27831 <sup>ns</sup>	1128.6632*	10.88230**	7.073846**	223.0296 <sup>ns</sup>
<b>AMB</b>	1	0.60009 <sup>ns</sup>	85342.6**	750.0816**	246.1539**	29.08654 <sup>ns</sup>
<b>GEN X AMB</b>	25	24.04969 <sup>ns</sup>	933.940 <sup>ns</sup>	6.052596 <sup>ns</sup>	2.473846 <sup>ns</sup>	257.54654 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	51	22.683384	583.4595	4.539045	3.1297134	202.91158
<b>C. V. (%)</b>	--	6.100696	7.829206	24.34487	2.119659	12.80312

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad, \* , significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo, PHEC, P1000S, REND, IDES e IPROL corresponden a peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrane e índice de prolificidad, respectivamente.

La Tabla 14 se muestra la comparación de medias para las variables peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrano e índice de prolificidad. En la fecha de riego se puede observar que en la variable peso hectolitrico el genotipo 18 (264/311//197) tuvo una media inferior a la de todos los genotipos (56.5 gr), mientras que en los demás no hubo diferencias estadísticas (Tabla 16), la media general para esta variable fue de 78.14 gr (estadísticamente igual a la de temporal), inferior a la de 21 de los 26 genotipos. En peso de 1000 semillas se puede observar una media general de

337.16 gr (estadísticamente diferente a la de riego) la cual fue superior a la de 14 de los 26 genotipos, de los cuales el genotipo 15 (264/311//444) mostro la media superior (391.3 gr) y el genotipo 19 (264/311//clg 2312) mostro una media inferior a la de todos los híbridos (305.05 gr). En rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) el material que tuvo una media superior a la de los demás fue el genotipo 22 (264/311//202) con  $18.12\ t\ ha^{-1}$ , mientras que el genotipo 21 (495/2312//a 420801) fue el que rindió menos ( $4.53\ t\ ha^{-1}$ ), la media general de esta variable fue de 11.43 (estadísticamente superior a la de temporal). En la variable índice de desgrane los genotipos 29 (486/451//197) y 4 (264/311//509) mostraron una media de 87.5 %, mientras que el genotipo 14 (500/498//444) mostro la media más baja (81.5 %), la media general fue de 85 % de desgrane por mazorca y fue superada por 12 de los 29 genotipos. En índice de prolificidad se observa una media general de 111.78 %, y 11 de los 29 genotipos superaron la media de los cuales el genotipo 17 (500/498//cl 2312) supero todos los genotipos (149.5 %). Al respecto Oyervides (1986) concluye que para que el rendimiento se incremente de forma significativa los genotipos deben presentar un 25 % más de prolificidad.

En temporal la variable de peso hectolitrico muestra una media general de 77.9 gr, esta fue superada por 15 de los 28 genotipos de los cuales el genotipo 27 (486/451//197) supero estadísticamente a los demás con una media de 85.2 gr (Tabla 17). Mientras que en peso de 1000 semillas la media general fue de 279.8 gr (inferior a la de 15 genotipos), y el genotipo 26 (486/451//448) fue el que mostro una media superior a la de los demás con 326.15 gr. El rendimiento promedio general fue de  $6.06\ t\ ha^{-1}$  ( $5.3\ t\ ha^{-1}$  menos que en la fecha de riego), inferior al de 13 genotipos y para esta variable el genotipo 28 mostro la media estadísticamente más alta ( $8.51\ t\ ha^{-1}$ ). Para índice de desgrane el genotipo 28 (486/451//197) presento una media superior a la de los demás genotipos (85.5 %), la media general fue de 81.9 % la cual fue inferior a la del 32 % de los genotipos. En índice de prolificidad no hubo diferencias estadísticas entre los genotipos, la media general para esta variable fue de 110.7 %.

En la Tabla 15 se muestran las medias del análisis combinado, dónde se puede observar que para las variables de peso hectolitrico e índice de prolificidad no hubo diferencias estadísticas entre las medias observadas.

Sánchez *et al.* (2016), concluyen que el efecto ambiental es diferente entre las características cuantitativas evaluadas: rendimiento de grano, días a floración masculina y altura de planta, así también para los genotipos estudiados al experimentar con cruza simples sobresalientes con respecto a híbridos comerciales o experimentales, las cuales mostraron variaciones en el rendimiento de grano hasta de 53% entre localidades. Con algunas cruza lograron una mejor expresión fenotípica y mencionan que los híbridos, principalmente los comerciales de empresas trasnacionales mostraron afinidad para la producción en localidades con condiciones favorables mientras que las cruza simples sobresalientes se asociaron tanto a condiciones favorables de cultivo como a condiciones restrictivas. En el caso del rendimiento, García *et al.* (2018) reportan rendimientos en riego de 1.3 t ha<sup>-1</sup> más que la siembra realizada el 25 de junio (temporal), con medias para esta variable de 12.4 y 11.1 t ha<sup>-1</sup> en la fecha de riego y temporal, respectivamente, y mencionan que en la última fecha influyeron las precipitaciones, el fotoperiodo y la humedad sobre el rendimiento.

**Tabla 14.** Comparación de medias de riego y temporal para componentes de rendimiento de híbridos triples de maíz evaluados en Roque, Celaya. Gto. en 2017.

	<b>Peso hectolitrico</b> (gr)	<b>Peso de 1000 semillas</b> (gr)	<b>Rendimiento</b> (t ha <sup>-1</sup> )	<b>Índice de desgrane</b> (%)	<b>Índice de prolificidad</b> (%)
<b>Riego</b>	78.1442 a	337.169 a	11.4369 a	85 a	111.788 a
<b>Temporal</b>	77.9923 a	279.877 b	6.0658 b	81.9231 b	110.731 a
<b>RC (%)</b>	1.875	9.51	0.8388	0.6965	5.609

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN y RC= rango crítico de DUNCAN.

**Tabla 15.** Comparación de medias del análisis combinado de ambas fechas para caracteres agronómicos y de rendimiento en los distintos genotipos de maíz en 2017.

<b>GEN</b>	<b>PHEC (gr)</b>	<b>P1000S (gr)</b>	<b>REND (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IDES (%)</b>	<b>IPROL (%)</b>
1	79.9 a	295.58 cd	9.49 a-e	81.75 de	107.75 a
2	79.225 a	293.18 cd	6.128 ef	82.75 b-e	100 a
3	78.75 a	309.88 a-d	8.468 a-e	82 cde	110.25 a
4	77.5 a	314.68 a-d	9.205 a-e	85.5 ab	109.5 a
5	78.625 a	319.6 a-d	11.643 ab	83.25 b-e	119.75 a
6	80.025 a	320.68 a-d	8.913 a-e	82.25 cde	110 a
7	78.525 a	326.98 abc	11.935 a	84.75 a-d	116.25 a
8	74.9 a	317.28 a-d	9.178 a-e	85.5 ab	114.25 a
9	75.925 a	299.63 bcd	9.803 a-e	84.75 a-d	110.75 a
10	80.15 a	293.13 cd	8.358 a-e	82.25 cde	110.75 a
11	78.375 a	297.23 bcd	6.975 def	82.75 b-e	111.5 a
12	77.65 a	286.3 cd	8.773 a-e	83.25 b-e	114.25 a
13	79.275 a	317.28 a-d	7.863 c-f	81.5 e	102 a
14	77.95 a	337.23 ab	8.905 a-e	82.75 b-e	109 a
15	74.45 a	294.68 cd	8.55 a-e	82.5 b-e	107.25 a
16	66.4 a	304.53 a-d	8.023 b-e	83.25 b-e	102.25 a
17	80.525 a	282.23 d	6.765 def	83.75 a-e	124 a
18	79.5 a	287.8 cd	8.225 b-e	83.25 b-e	109.25 a
19	77.225 a	291.1 cd	4.493 f	82 cde	127.5 a
20	78.925 a	342 a	11.413 abc	83.5 b-e	124.75 a
21	81.225 a	299.88 bcd	8.04 b-e	82.25 cde	109 a
22	76.75 a	313.58 a-d	10.255 a-d	85 abc	109 a
23	80.35 a	308.18 a-d	7.66 def	84.5 a-e	102 a
24	79.225 a	342.7 a	9.918 a-d	84.75 a-d	100.75 a
25	83.025 a	309.95 a-d	8.795 a-e	83.75 a-e	108.75 a
26	75.4 a	316.4 a-d	9.768 a-e	86.5 a	122.25 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, PHEC, P1000S, REND, IDES e IPROL corresponden a peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrane e índice de prolificidad, respectivamente.

**Tabla 16.** Comparación de medias para caracteres agronómicos y de rendimiento en los distintos genotipos de maíz en riego evaluados en Roque, Celaya, Gto..

<b>GEN</b>	<b>PHEC (gr)</b>	<b>P1000S (gr)</b>	<b>REND (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IDES (%)</b>	<b>IPROL (%)</b>
1	80.2 a	313.4 bc	12.155 a-g	82.5 cd	110.5 bc
2	80.15 a	322.2 bc	7.6 fgh	84 a-d	100 c
3	78.8 a	339.45 abc	9.835 d-h	84 a-d	116 abc
4	75.7 a	331.3 abc	11.91 b-g	87.5 a	110 bc
5	73.95 a	334.5 abc	6.595 gh	86 abc	111.5 bc
6	80.35 a	356.3 abc	11.95 b-g	84.5 a-d	107.5 bc
7	79.1 a	354.45 abc	16.675 ab	85.5 a-d	109 bc
8	75.6 a	317.7 bc	11.935 b-g	87 ab	110 bc
9	79.85 a	342.2 abc	16.425 abc	84.5 a-d	125 abc
10	77.65 a	339.8 abc	14.17 a-e	87 ab	103.5 c
11	81.8 a	325.8 bc	11.035 b-g	83 bcd	105 c
12	79.15 a	353.3 abc	9.2 e-h	85 a-d	115 abc
13	78.4 a	325.05 bc	11.805 b-g	86.5 abc	105 c
14	81.15 a	368.8 ab	10.615 b-g	81.5 d	100 c
15	78.55 a	391.3 a	12.08 b-g	83.5 a-d	109 bc
16	77.2 a	338.95 abc	10.525 b-h	83 bcd	110.5 bc
17	81.6 a	309.35 bc	13.97 a-e	85.5 a-d	149.5 a
18	56.5 b	347.5 abc	11.03 b-g	84.5 a-d	100 c
19	82.15 a	305.05 c	8.995 e-h	85.5 a-d	143.5 ab
20	79.85 a	309.95 bc	10.895 b-g	85 a-d	118.5 abc
21	75.95 a	330.95 abc	4.53 h	84.5 a-d	129.5 abc
22	80.4 a	322.1 bc	18.125 a	85 a-d	110 bc
23	80.05 a	365.65 abc	15.92 a-d	84.5 a-d	148 a
24	78.75 a	328.75 bc	10.36 c-h	85 a-d	100 c
25	79.6 a	347.2 abc	14.54 a-e	87 ab	115 abc
26	80.95 a	319.2 bc	8.6 e-h	86 abc	100 c
27	79.6 a	359.25 abc	13.64 a-f	85.5 a-d	101.5 c
28	80.85 a	319.25 bc	9.915 d-h	86 abc	100 c
29	73.85 a	313.65bc	11.02 b-g	87.5 a	114.5 abc

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, PHEC, P1000S, REND, IDES e IPROL corresponden a peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrane e índice de prolificidad respectivamente.

**Tabla 17.** Comparación de medias para caracteres agronómicos y de rendimiento en los distintos genotipos de maíz en temporal en 2017.

<b>GEN</b>	<b>PHEC (gr)</b>	<b>P1000S (gr)</b>	<b>REND (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IDES (%)</b>	<b>IPROL (%)</b>
<b>1</b>	79.6 abc	277.75 b-e	6.825 abc	81 bcd	105 a
<b>2</b>	78.3 a-d	264.15 cde	4.655 bc	81.5 a-d	100 a
<b>3</b>	78.7 a-d	280.3 b-e	7.1 abc	80 bcd	104.5 a
<b>4</b>	79.3 abc	298.05 abc	6.5 abc	83.5 abc	109 a
<b>5</b>	77.4 bcd	297 abc	6.86 abc	82 a-d	114.5 a
<b>6</b>	79.7 abc	285.05 a-d	5.875 abc	80 bcd	112.5 a
<b>7</b>	77.95 a-d	299.5 abc	7.195 abc	84 ab	123.5 a
<b>8</b>	74.2 cd	316.85 ab	6.42 abc	84 ab	118.5 a
<b>9</b>	78.4 a-d	268.2 cde	5.415 bc	78.5 d	112 a
<b>10</b>	74.2 cd	259.45 cde	5.435 bc	82.5 a-d	118 a
<b>11</b>	78.5 a-d	260.45 cde	5.68 abc	81.5 a-d	116.5 a
<b>12</b>	77.6 bcd	241.15 e	4.75 bc	80.5 bcd	108 a
<b>13</b>	76.9 bcd	247.55 de	5.74 abc	80 bcd	123.5 a
<b>14</b>	77.4 bcd	265.75 cde	5.11 bc	81.5 a-d	104 a
<b>15</b>	77.35 bcd	283.15 a-e	5.73 abc	82 a-d	109 a
<b>16</b>	71.7 d	250.4 de	6.575 abc	82 a-d	104 a
<b>17</b>	78.6 a-d	287.95 a-d	6.925 abc	82 a-d	113.5 a
<b>18</b>	76.3 bcd	261.55 cde	5.015 bc	82 a-d	104.5 a
<b>19</b>	78.9 a-d	259.4 cde	4.535 c	82 a-d	104.5 a
<b>20</b>	79.15 a-d	265.65 cde	5.555 abc	81.5 a-d	100 a
<b>21</b>	78.5 a-d	251.25 de	4.455 c	79.5 cd	125.5 a
<b>22</b>	77.8 a-d	318.35 ab	6.905 abc	82.5 a-d	101.5 a
<b>23</b>	83.7 ab	271 cde	5.72 abc	79.5 cd	118 a
<b>24</b>	73.9 cd	279.95 b-e	5.97 abc	83 abc	103 a
<b>25</b>	79.75 abc	297.15 abc	6.72 abc	83 abc	104 a
<b>26</b>	78.85 a-d	326.15 a	6.195 abc	84 ab	100 a
<b>27</b>	85.2 a	300.65 abc	7.675 ab	81.5 a-d	117.5 a
<b>28</b>	76.95 bcd	319.15 ab	8.515 a	85.5 a	130 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha = 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, PHEC, P1000S, REND, IDES e IPROL corresponden a peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrane e índice de prolificidad respectivamente.

Por su parte Palafox *et al.* (2006) reportan rendimientos en híbridos trilineales en el estado de Veracruz de hasta 7.4 t ha<sup>-1</sup>, mientras que Tadeo *et al.* (2014), reportan híbrido trilineales con una media de rendimiento de 6.99 t ha<sup>-1</sup> y 8.82 t ha<sup>-1</sup>, el híbrido que mayor rendimiento reportó superó estadísticamente a los otros tres ambientes en producción de

grano en el estado de México, Canales *et al.* (2016), también reportan rendimiento de 7.4 t ha<sup>-1</sup> con el híbrido H53, mientras que los híbridos H57 y PUMA 1183 AEC2 mostraron estabilidad de rendimiento con 6.21 y 6.1 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, esto en valles altos de México.

### 6.3 Heterosis útil

Los resultados arrojaron una media general de 11.43 t ha<sup>-1</sup> (-20.4 % heterosis útil respecto al testigo), sin embargo, existen genotipos que superan al testigo comercial, como el genotipo 7 (500/498//202) mostro la mayor heterosis porcentual con un valor de 1.5 % para la fecha de riego, mientras que en temporal la media general fue de 6.06 t ha<sup>-1</sup> (-13 % heterosis útil), al respecto, el genotipo 26 (486/451//197) tuvo la mayor heterosis útil (4.9 % de heterosis útil) mientras que el genotipo 7 (500/498//202) tuvo 2.7 % de heterosis útil porcentual (Tabla 19).

**Tabla 18.** Heterosis útil porcentual con respecto al testigo (genotipo 5) para las fechas de riego, temporal y la combinación de ellas en híbridos triples de maíz en 2017.

GEN	% de Heterosis útil			GEN	% de Heterosis útil		
	Temporal	Riego	Combinado		Temporal	Riego	Combinado
<b>1</b>	-0.5	-26.0	-18.5	<b>14</b>	-16.5	-26.4	-23.5
<b>2</b>	-32.2	-53.7	-47.4	<b>15</b>	-4.1	-35.9	-26.6
<b>3</b>	3.4	-40.1	-27.3	<b>16</b>	-26.9	-32.8	-31.1
<b>4</b>	-5.2	-27.5	-20.9	<b>17</b>	-33.9	-45.3	-41.9
<b>5</b>	0.0	0.0	0.0	<b>18</b>	-19.0	-33.7	-29.4
<b>6</b>	-14.3	-27.2	-23.4	<b>19</b>	-35.0	-72.4	-61.4
<b>7</b>	4.9	1.5	2.5	<b>20</b>	0.6	-3.1	-2.0
<b>8</b>	-6.4	-27.3	-21.2	<b>21</b>	-16.6	-36.9	-30.9
<b>9</b>	-20.8	-13.7	-15.8	<b>22</b>	-13.0	-11.5	-11.9
<b>10</b>	-17.2	-32.8	-28.2	<b>23</b>	-2.1	-47.6	-34.2
<b>11</b>	-30.7	-44.0	-40.1	<b>24</b>	-9.7	-17.0	-14.8
<b>12</b>	-16.3	-28.1	-24.7	<b>25</b>	11.9	-39.6	-24.5
<b>13</b>	-25.5	-35.4	-32.5	<b>26</b>	-24.1	-32.9	-16.1

GEN= genotipo, números con signo negativos tienen una media de rendimiento inferior a la del testigo comercial.

Algunos resultados de heterosis, los reportan Escorcia-Gutiérrez *et al.* (2010) quienes obtuvieron valores promedio de heterosis porcentual de F1 y F2 con respecto a un progenitor de 10.3 y 3.5 %, respectivamente. Por otro lado, Esquivel *et al.* (2011) mencionan que hubo interacciones importantes entre las poblaciones progenitoras y patrones heteróticos sobresalientes, destacando varias combinaciones en las que participaron Oax-814 (3.1 t ha<sup>-1</sup> con respecto al progenitor) y Zac-66 (3.6 t ha<sup>-1</sup> con respecto al progenitor), siendo determinante el origen geográfico distante asociado con mayor divergencia genética.

#### 6.4 Análisis de la incidencia y severidad de *Fusarium*

Como se puede observar en el análisis de varianza de riego (Tabla 20) hubo diferencias altamente significativas entre genotipos (1 % de probabilidad) para las variables de conteo de semillas infectadas en cajas de Petri, lo mismo para el porcentaje de pudrición de mazorca en la escala visual.

**Tabla 19.** Cuadrados medios del análisis de varianza para incidencia y severidad de *Fusarium verticillioides* en genotipos de maíz de la fecha de riego en 2017.

F. V.	G. L.	CCP5S	ESCVSL (%)
REP	3	2.4224138	0.00373272
GEN	28	3.6003695**	0.01349979**
Error	84	1.7497947	0.00712624
C. V.	--	42.27123	6.023917

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad, \* , significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo, CCP5S y ESCVSL corresponden al conteo de semillas infectadas en cajas de Petri con 5 semillas y el % de infección (pudrición) en la mazorca de acuerdo a la escala visual respectivamente.

De acuerdo con la Tabla 18 para la variable porcentaje de pudrición por escala visual se obtuvieron valores en porcentaje de infección de la mazorca de 0 % en el genotipo 19 (264/311//clg 2312) hasta 56 % del genotipo 14 (500/498//444) y una media general de 33 %, sobrepasada por 7 genotipos, lo que indica en cierta medida la severidad con la



que atacó el hongo a estos genotipos sin tomar realmente en cuenta la incidencia, ya que los resultados obtenidos en laboratorio muestran que en el caso del genotipo 19 (0 % de infección en la escala visual) 4 de cada 5 semillas mostraron infección endógena y asintomática del patógeno (Figura 8). En el conteo en caja Petri el genotipo 8 (500/498//197) tuvo una media de 5 semillas prácticamente infectadas por *Fusarium v.* mientras que el genotipo 15 (264/311//444) tuvo una media de 1 semilla infectada por cada 5 y la media general para esta variable fue de 3 semillas, la cual fue superada por 14 de los 29 genotipos.

Por su parte, Gallardo *et al.* (2006) encontraron mayor incidencia del género *Fusarium* (67%) en maíz recién cosechado. Las especies de *Fusarium* más frecuentes fueron *F. verticillioides*, *F. solani* (Mart.) Sacc., *F. oxysporum*, *F. subglutinans*, *F. proliferatum* y *F. tricinctum* (Corda) Sacc.

**Tabla 20.** Comparación de medias para las variables de incidencia y severidad de *Fusarium verticillioides* en híbridos de maíz en riego en 2017.

GEN	CCP5S	ESCVSL (%)	GEN	CCP5S	ESCVSL (%)
1	3.25 abc	30 ab	16	3.75 ab	46.6 bc
2	3.25 abc	33 ab	17	4 ab	26 ab
3	2.75 abc	43 abc	18	2.75 abc	36 abc
4	2.75 abc	21 ab	19	3.75 ab	0 a
5	3.5 ab	46 bc	20	1.75 bc	33 ab
6	3.75 ab	43 abc	21	3.25 abc	26 ab
7	2.75 abc	43 abc	22	2.25 bc	26 ab
8	4.75 a	23 ab	23	4 ab	26 ab
9	2 bc	33 ab	24	4.75 a	0 a
10	2.5 abc	23 ab	25	2.75 abc	33 ab
11	2 bc	43 abc	26	4 ab	23 ab
12	1.75 bc	26 ab	27	4 ab	33 ab
13	3.25 abc	33 ab	28	2.75 abc	23 ab
14	3 abc	56 c	29	4.75 a	30 abc
15	1 c	36 abc			

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha = 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, CCP5S y ESCVSL corresponden al conteo en de semillas infectadas en cajas de Petri con 5 semillas y el % de infección (pudrición) en la mazorca de acuerdo a la escala visual respectivamente.

Como se puede observar en el análisis de varianza de la fecha de temporal (Tabla 19) hubo diferencias altamente significativas y significativas entre Genotipos ( $P \geq 0.01$ ) para la variable conteo de semillas en caja de Petri. En porcentaje de pudrición por escala visual hubo diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre genotipos. Esto indica que la conformación genética de los híbridos de maíz tuvo efecto sobre estas variables.

**Tabla 21.** Cuadrados medios del análisis de varianza para incidencia y severidad de *Fusarium verticillioides* en genotipos de maíz de la fecha de temporal.

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>CCP5S</b>	<b>ESCVSL (%)</b>
<b>REP</b>	3	0.9934195	0.00337595
<b>GEN</b>	28	4.2211638**	0.00349372*
<b>Error</b>	84	0.7913362	0.00200532
<b>C. V.</b>		124.4755	3.06477

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad, \* , significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo, CCP5S y ESCVSL corresponden al conteo en de semillas infectadas en cajas de Petri con 5 semillas y el % de infección (pudrición) en la mazorca de acuerdo a la escala visual respectivamente.

Como se observa en la Tabla 20 para la variable porcentaje de pudrición por escala visual se obtuvieron valores en porcentaje de infección de la mazorca (Figura 7) de 0 % (en la mayoría de los genotipos) hasta 40 % en el genotipo 29 (Maíz Criollo), lo que indica en la mayoría de estos genotipos de manera natural no afecto el patógeno a la mazorca, esto no indica que no estuviera presente el mismo. Por otra parte, los resultados obtenidos en la variable conteo de semillas en caja de Petri muestran que el genotipo 28 (486/451//197) presento una media de 4 de cada 5 semillas infectadas mientras que 15 de los 26 genotipos tuvieron 0 semillas de cada 5, la media general para esta variable fue de 1 semilla.

**Tabla 22.** Comparación de medias para las variables de incidencia y severidad de *Fusarium verticillioides* en genotipos de maíz en temporal en 2017.

GEN	CCP5S	ESCVSL (%)	GEN	CCP5S	ESCVSL (%)
1	1.8 b	16.6 ab	16	1.55 bc	0 a
2	0.1 c	0 a	17	0.1 c	0 a
3	0.1 c	0 a	18	1.325 bc	16.6 ab
4	1.05 bc	16.6 ab	19	0.1 c	0 a
5	0.1 c	21 abc	20	0.1 c	34.3bc
6	0.325 bc	0 a	21	0.1 c	0 a
7	0.1 c	0 a	22	1.275 bc	0 a
8	1.55 bc	0 a	23	0.1 c	0 a
9	0.325 bc	0 a	24	0.325 bc	0 a
10	0.1 c	0 a	25	0.1 c	0 a
11	0.575 bc	0 a	26	0.8 bc	0 a
12	0.1 c	0 a	27	0.1 c	0 a
13	0.1 c	0 a	28	3.75 a	0 a
14	0.1 c	0 a	29	4.0 a	40 c
15	0.575 bc	0 a			

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $\alpha= 0.05$  DUNCAN, GEN= genotipo, CCP5S y ESCVSL corresponden al conteo en semillas infectadas en cajas de Petri con 5 semillas y el % de infección (pudrición) en la mazorca de acuerdo a la escala visual.



**Figura 7.** De lado izquierdo genotipo 14 de la fecha de riego y lado derecho testigo criollo de la fecha de temporal, escala visual.



**Figura 8.** De lado izquierdo genotipo 8 de la fecha de riego y lado derecho testigo criollo de la fecha de temporal.

Algunos trabajos relacionados con *Fusarium*, señalan Mendoza *et al.* (2006) quienes encontraron valores de daño a la enfermedad que oscila desde 0 hasta 100, indicaron niveles de resistencia, tolerancia y moderada tolerancia a completa susceptibilidad. Sólo se encontraron cuatro líneas resistentes, la Roque-801, 804, 1103 y 1405. Con valor de dos y que se refiere a las líneas tolerantes que fueron 10. El resto (120 tratamientos) resultaron con grados de tres, cuatro y cinco que fueron calificadas de moderadamente tolerantes hasta susceptibles, esto a los 20 días después de la inoculación.

Se encontró un total de seis especies de género *Fusarium* asociadas a la podredumbre de la raíz en maíz en el estado de Guanajuato, los más frecuentemente encontrados a lo largo del estado fueron *F. subglutinans*, *F. verticillioides* y *F. heterosporum* Las especies más patógenas presentes en Guanajuato son *F. subglutinans* y *F. verticillioides* (Figuroa, 2010).

Genoveva y Rebeca (2010) reportaron presencia de *Fusarium oxysporum*, *F. subglutinans*, *F. moniliforme*, *F. graminearum*, *F. anthophilum*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F.*

*sporotrichioides* y *F. proliferatum* en granos y mazorcas de distintas variedades de maíz cultivadas en el Estado de Puebla.

## VII. CONCLUSIONES

La mejor fecha de siembra fue 02 de abril de 2017(riego) en donde el genotipo 22 (264/311//202) de grano blanco tiene el potencial para ser recomendado por su productividad y porque no se ve afectado severamente por *Fusarium verticillioides*, por su parte, el genotipo 15 (264/311//444) puede ser recomendado para sistemas de producción en los que se tienen problemas con *Fusarium v.* sin producir por debajo de la media nacional en sistemas de producción con riego (8.38 t ha<sup>-1</sup>). El genotipo 23 (486/451//444) de grano amarillo podría ser competitivo en sistemas de producción con riego pero sin problemas con pudriciones de mazorca. Ambos genotipos antes mencionados tienen buen peso volumétrico, lo que lo hace de buena calidad, mazorcas de buena calidad y son de más de 80 días a la floración lo que explicaría un posible escape a la enfermedad.

Para la fecha de 17 de julio de 2017 (temporal) la mayoría de los híbridos podrían ser recomendados para su producción en sistemas con problemas de pudrición de mazorca, sin embargo el genotipo 28 (486/451//197) de grano amarillo es apto para producirse bajo temporal con un rendimiento considerablemente superior a la media nacional de este ambiente (2.51 t ha<sup>-1</sup>) sin presentar pérdidas de calidad comercial por *Fusarium v.*, sin embargo habría altas posibilidades de que el patógeno se encuentre de manera endógena en el grano. El genotipo 3 (264/311//2417) de grano blanco es recomendable para ser producido bajo condiciones de temporal, ya que mostro la capacidad de resistir o escapar a *Fusarium v.* sin afectar gravemente su productividad con respecto a la media nacional de temporal y producir grano de buena calidad, con buen peso y buenas características de mazorca, esto posiblemente conferido por ser un material de 80 días a floración.

La homogeneidad a través de distintos ambientes parece no ser algo que caracterice a los genotipos evaluados en el presente trabajo de investigación, por lo que deben seleccionarse los genotipos más aptos para cada uno de los ambientes, sobre todo en

rendimiento y sanidad del grano adaptándose a las necesidades del productos de la zona de Celaya, Guanajuato.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, H., Cartwright, R. y Shier, W. 2006, Aflatoxin and fumonisin contamination of corn (maize, *Zea mays*) hybrids in Arkansas. Crop Prot. No. 25, P.1-9.
- Agrinea. 2005. Micotoxina: Límites regulatorios y recomendados en la Unión Europea- Sept 2017. <http://www.engormix.com/MA-micotoxinas/articulos/micotoxinas-limites-regulatorios-recomendados-t543/253-p0.htm> verificado: octubre 2017.
- Akladios, S.A. y Abbas, S.M., 2014, Application of *Trichoderma harzianum* T22 as a biofertilizer potential in maize growth. J. Plant Nutr, no.37, P. 30-49.
- Ali, M.L., J.H. Taylor, L. Jie, G. Sun, M. William, K.J. Kash L.M. Reid, y K.P. Pauls. 2005. Molecular mapping of QTLs for resistance to Gibberella ear rot, in corn, caused by *Fusarium graminearum*. Genome. Vol. 48. pp. 521-533.
- Bacon, C., y Nelson, P.E. 1994, Fumonisin production in corn by toxigenic strains of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum*. Journal of Food Protection, no.57, P. 514-521.
- Battilani, P., Pietri, A., Barbano, C., Scandolaro, A., Bertuzzi, T., Marocco, A., 2008, Logistic regression modeling of cropping systems to predict fumonisin contamination in maize. J. Agric. Food Chem, no.56, P. 10433-10438.
- Bergamaschi, H., Dalmago, G.A., Comiran, F., Bergonci, J.I., Muller, A., Franca, S., Santos, A., Radin Biachi, C.B. y Pereira, P. 2006. Déficit hídrico y productividad en la cultura do milho. Pesq. Agropec. Bras. Vol. 41 pp. 243-249.
- Betanzos, M. E.; Ramírez, F. A.; Coutiño, E. B.; Espinosa, P. N.; Sierra, M. M.; Zambada, M. A. y Grajales, S. M. 2009. Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México. Agric. Téc. Méx. 35(4):389-398.
- Biasutti C.A., Balzarini M.B. 2017. Predicción del rendimiento de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en ambientes de siembra tardía, BAG. Journal of basic and applied genetics, no. 1, p. 19.
- Bonkowski, M., Griffith, B. S. y Ritz, K. 2000, Food preference of earthworms for soil fungi, Pedobiologia, vol. 44, pp. 666–676.
- Canales I., E., I., Robledo, M., T., Mejía C., J., A., García Z., J. de J., Espinosa C., A., Castillo G., F., Sierra M., M. y Gómez M., N. 2016. Estabilidad del rendimiento de



- grano en híbridos trilineales androesteriles de maíz para Valles Altos de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. vol. 7 pp. 1815-1827.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz Y Trigo (CIMMYT). 1999. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz. Quinta reimpresión. México. D. F. p. 20.
- Cervantes J. C. (2016). Aptitud combinatoria entre líneas de maíz de diferente grupo heterótico. Tesis de Maestría. Producción y Tecnología de Semillas. Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto., México. 70 p.
- Chavarri M. 2014. Incidencia de mohos y aflatoxinas en algunas especies de Fabaceae, Poaceae y sus derivados. Trabajo de Ascenso a la categoría de profesor Asociado. Facultad Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. P. 40.
- Chavarri M., González J., Mazzani C., Luzón O. y Figueroa R. 2013. Efecto de la humedad relativa y del contenido de humedad de los granos de maíz sobre la síntesis *in vitro* de aflatoxinas. Fitopatol. Venez. 26 (2): 7-10.
- Copeland, L.O. (1976). Principles of seed science and technology. Burgess Pub.Co. Minneapolis, Minnesota. 369 p.
- Coutiño, A. A. 1973. Evaluación de siete técnicas de Inoculación de hongos causantes de pudriciones en tallos y mazorcas de maíz. Tesis profesional. Escuela Superior de Agricultura "Hermanos Escobar". Cd. Juárez, Chihuahua. P. 71.
- Crossa, J.; Burgueño, J.; Cornelius, P. L.; McLaren, G.; Trethowan, R. y Krishnamachari, A. 2006. Modeling genotype x environment interaction using additive genetic covariances of relatives for predicting breeding values of wheat genotypes. Crop Sci. vol. 46 pp.1722- 1733.
- Crown, J. F. 1999. Dominance and overdominance. In: the genetics and exploitation of heterosis in Crops. J. C. Coors and S Pandey (eds.) American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. P. 524.
- De la Torre, H. M. E., Sánchez, R. D., Galeana, S. E. y Plasencia, de la P. J. 2014, Fumonisinás—Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz, Revista especializada en ciencias químico-biológicas, México, vol. 17, no.1, P. 77-91.

- De León, C., y S. Pandey. 1989. Improvement of resistance to ear and stalk rots and agronomic traits in tropical maize gene pools. *Crop Sci.* 29:12-17.
- Díaz C.G.; Rodríguez R.; Aguaysol C.; Juárez J., Saleme P. y Ploper L.D. 2012. Relación entre incidencia de *Fusarium verticillioides* y variables de calidad de grano bajo condiciones de almacenamiento de maíz en Tucumán, Argentina. *Revta. Agron. N. O. Argent.* Vol. 32 P. 47-53.
- Dolores, B, Fernando, C, José Luis, C, Víctor Héber, A, Carlos, d, & Antonio, R 2015, 'Respuesta del maíz nativo del altiplano mexicano a pudrición de mazorca, bajo infección natural, *Agronomía Mesoamericana.* Vol. 1. P. 74.
- Drepper, W. y Renfro, B. 1990. Comparison of methods for inoculation of ears and stalks of maize with *Fusarium moniliforme*. *Plant Dis.* Vol. 74 pp. 952-956.
- Espinosa C., A, Tadeo R., M, Meza G. DL, Arteaga E. I, Matías B. D, Valdivia B. R, Sierra M. M, Gómez M. N, Palafox C. A y Zamudio G. B. 2010. Eliminación de espiga y hojas en un híbrido de maíz androestéril y fértil. *Universidad y Ciencia.* 26 vol.3 p.215-224.
- Espinosa C., A., M. Sierra M. y N. Gómez M. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agron. Mesoamer.* Vol. 14 pp. 117-121.
- Espinosa, C. A. y Carballo C., A. 1986. Productividad y calidad de semillas en líneas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para la zona de transición de México. *Fitotecnia* vol. 8 pp. 1-25.
- Esteban, B, Alfonso, R, Bulmaro, C, Néstor, E, Mauro, S, Andrés, Z, & Manuel, G 2009, 'Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México / Corn hybrids resistant to ear rot at Chiapas and Veracruz, Mexico', *Agricultura Técnica En México.* Vol. 4. p. 391.
- F. Javier Sánchez-Ramírez, Ma. del Carmen Mendoza-Castillo y C. Gabriela Mendoza-Mendoza. 2016. Estabilidad fenotípica de cruzas simples e híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 39, núm. 3, pp. 269-275.
- Falconer, D. S. and Mackay, T. F. C. 1996. *Introduction to quantitative genetics.* 4th. Edition. Longman. Essex, England. P. 464.

- Fan, X. W., F. M. Lia, Y. C. Xionga, L. Z. Ana y R.J. Longa. 2008. The cooperative relation between non-hydraulic root signals and osmotic adjustment under water stress improves grain formation for spring wheat varieties. *Physiol. Plant* vol. 132 p. 283-292.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2016. Panorama agroalimentario. Maíz 2016. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial.  
([https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf)). P. 3.
- Figueroa, R. M. G., Guerrero, A. B. Z., González, C. M. M., Pons, H. J. L., Jiménez B. J. F., Ramírez, P. J. G., Andrio, E. E., Mendoza, E. M. y Rodríguez, G. R. 2010, Caracterización de especies de *Fusarium* asociadas a la pudrición de raíz de maíz en Guanajuato, México, *Revista mexicana de fitopatología*, vol. 28, no. 2, P. 124-134.
- Gallardo, R. E. D., Ibarra, M. G. M., Sánchez, M. R. I., Cuamea, C. G., Molina, G. D., Parra, V. N. V., Rosas, B. E. C. y Cortez, R. M. O. 2006, Micobiota de maíz (*Zea mays* L.) recién cosechado y producción de fumonisina B1 por cepas de *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenb, *Revista mexicana de fitopatología*, vol. 24, no. 1, P. 27-34.
- García, A. G. y Martínez, F. R. 2010, Especies de *Fusarium* en granos de maíz recién cosechado y desgranado en el campo en la región de Ciudad Serdán, Puebla, *Revista mexicana de biodiversidad*, México, no. 81, P. 15-20.
- García, H.C.; Rodríguez, M.G.D. 2012. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Revista, Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, vol. 8 pp. 1-10.
- García, S. J. A. y Ramírez, J. R. 2014, El mercado de la semilla mejorada de maíz (*Zea mays* L.) en México. Un análisis del saldo comercial por entidad federativa, vol. 37, no. 1, P. 69-77.
- Gelderblom, W.C.A.; Jaskiewicz, K.; Marasas W.F.O. y Thiel P.G. 1988. Fumonisin: Novel micotoxin with cancer-promoying activity produced by *Fusarium moniliforme*. *Appl. Environ. Microb.* No. 54, P. 1806-1811.

- Gilberto Esquivel Esquivel, Fernando Castillo González, Juan Manuel Hernández Casillas, Amalio Santacruz Varela, Gabino García de los Santos, Jorge A. Acosta Gallegos y Antonio Ramírez Hernández. 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.2 Núm.3 p. 331-344.
- Gilberto, E, Fernando, C, Juan Manuel, H, Amalio, S, Gabino, G, Jorge A., A, & Antonio, R 2011, 'Heterosis en maíz del Altiplano de México con diferente grado de divergencia genética, *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*. Vol 3, P. 331.
- Gómez M., N., O., Palemón A., F., Reyes G., G., Hernández G., C. del Á., Cantú A., M., Á., Juárez L., P. y Ascencio Á., A. 2016. Rendimiento de grano y características fenotípicas de maíz: efecto de ambiente y dosis de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 7, núm. pp. 1801-1813
- Guzmán, S. E., De la Garza, C. M. T., González, F. J. P. y Hernández, M. J. 2014, Análisis de los costos de producción de maíz en la Región Bajío de Guanajuato, vol. 29, no. 70, Análisis económico, México. P. 145-146
- J. Guadalupe García Rodríguez, Mariano Mendoza-Elos, Francisco Cervantes Ortiz, Juan Gabriel Ramírez-Pimentel, Cesar Leobardo Aguirre-Mancilla, Marco Antonio García-Perea, María Guadalupe Figueroa Rivera, Gilberto Rodríguez Pérez, Sergio A. Rodríguez-Herrera. 2018. Adaptabilidad de híbridos precomerciales tropicales de maíz en el Bajío de Guanajuato, México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Bogotá - Colombia, Vol. 10 No. 1. P. 3-7.
- José Ramón Pascual, F, Andrés, G, Delfina de Jesús, P, & Manuel, G 2015, 'Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México, *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 8, p. 1915.
- Kommedahl, T. y Windels, C.E. 1981, Root-, stalk-, and earinfecting *Fusarium* species on corn in the USA. In: Nelson, P.E.; Toussoun, T.A. and Cook, R.J. eds. *Fusarium: Diseases, Biology, and Taxonomy*: Pennsylvania State University Press. University Park. P. 94-103.
- Leslie J.F., Summerell B.A. 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Sydney Blackwell Publishing. 1st Edition P. 388.

- Lodge, D. J. 1993, 'Nutrient cycling by fungi in wet tropical forests', in S. Isaac, J. C. Frankland, R. Watling y A. J. S. Whalley (eds) *Aspects of Tropical Mycology*, Cambridge University Press, Cambridge, P. 37–58.
- Logrieco, A., Muloe, G., Moretti, A. y Bottalico, A., 2002. Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *Eur. J. Plant Pathol*, no. 108, P.597-609.
- Luna, M., A. Hinojosa R., O. Ayala G., F. Castillo G., y F. J. Mejía C. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 35 pp. 1-7.
- Macías Cervantes, J. y S. Peraza Medina. 2008. Enfermedades del maíz en el norte de Sinaloa. *Agronet*.(www.agronet.com.mx/articles.cgi?Action=Viewhistory&Article=3&Type=A) 31.03-2008.
- Marin, S., Vellunti, A., Ramos, A.J., and Sanchis, V. 2004, Effect of essential oils on zearalenone and deoxynivalenol production by *Fusarium graminearum* in non-sterilized maize grain, *Food Microbiology* no. 21, P. 313-318.
- Márquez-Sánchez, F. 2010. Inbreeding coefficient and mean of maize synthetics of three-way lines hybrid. *Maydica*. Vol. 55 P. 227- 229.
- Mendoza, E. M., Andrio, E. E., López B. A., Rodríguez G. R., Latournerie M. L., y Rodríguez H. S. A. 2006, Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*, *Agronomía Mesoamericana*, Vol 17, Iss 1, P 19-24.
- Mendoza, E. M.; Andrio, E. E.; López, B. A.; Rodríguez, G. R.; Latournerie, M. L. y Rodríguez, H. S. A. 2006. Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. *Agron. Mesoam.* 17(1):19-24.
- Mendoza, E.M., Mosqueda V. C., Rangel L.J.A., López B. A., Rodríguez H.S.A., Latournerie M. L., Moreno M. E. (2006). Densidad de población y fertilización nitrogenada en clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normas y QPM. *Agricultura Técnica en México*. 32(1):89-99
- Mesterházy, A.; Lemmens, M. y Reid, L.M. 2011. Breeding for resistance to ear rots caused by *Fusarium* spp. in maize – a review. *Plant Breed.*, Vol. 131 p. 1-19.

- Munkvold, G.P., Hellmich, R.L. y Showers W.B. 1997, Reduced *Fusarium* ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance, *Phytopathology* no. 87 P. 209-217.
- Nérica Escorcía-Gutiérrez, José D. Molina-Galán\*, Fernando Castillo-González y José A. Mejía-Contreras. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 33 No. 3 p. 271–279.
- Norred William P. and Voss Kenneth A. 1994. Toxicity and role of fumonisins in animal diseases and human esophageal cancer. *J Food Protect* 57: 522-7.
- Nzuve F., S. Githiri, D. M. Mukunya and J. Gethi. 2013. Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in maize hybrids. *Journal of Agricultural Science* vol. 5 p. 75-85.
- Oyervides, G. A. 1986. Estudio de la importancia económica de tres caracteres morfológicos del maíz. Tesis de maestría. Colegio de posgraduados. Chapingo, México.
- Palomo, G. R. (1976). La interacción genotipo-ambiente en el cultivo del algodón en la comarca Lagunera. In: Memoria del VI Congreso Nacional de la SOMEFI, Monterrey, N. L. 348-352.
- Pérez L. F. J., R. Lobato O., J. de J. García Z., J. D. Molina G., J. de J. López R. y T. Cervantes S. 2014. Líneas homocigóticas de maíz de alto rendimiento como progenitores de híbridos de cruza simple. *Agrociencia*. vol. 48 p. 425-437.
- Poulsen Hornum, M. Ridao, A. Del C. Castaño, F. 2013, 'Comparación entre técnicas de inoculación de *Fusarium verticillioides* en espigas de maíz', *RIA. Revista De Investigaciones Agropecuarias*, Vol. 3, p. 312.
- Poulsen Hornum, M.; Ridao, A. Del C.; Castaño, F. 2013. Comparación entre técnicas de inoculación de *Fusarium verticillioides* en espigas de maíz *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, Buenos Aires, Argentina vol. 39, núm. 3, diciembre, 2013, pp. 312-317
- Reid, L. and Hamilton, R. I. 1996. Screening maize for resistance to *Gibberella* ear rot. Technical bulletin 1996-5E. Eastern cereal and oilseed research centre. Ottawa, Ontario, Canada. P. 40.

- Reyes B. Dolores, Fernando, C, José Luis, C, Víctor Héber, A, Carlos, dA, & Antonio, R. 2015. Respuesta del maíz nativo del altiplano mexicano a pudrición de mazorca, bajo infección natural. *Agronomía Mesoamericana*. no. 1, p. 74
- Reyes, C. P. 1990. El maíz y su cultivo. Ed. AGT. Editor, S.A. Primera Edición. México, D. F. p. 66-68.
- Riley, R.T., Norred, W. y Bacon, C. 1993, Fungal toxins in foods: Recents concerns. *Annual Review of Nutrition* no.13, P.167-189.
- Rocha, G., Z. Lozano, y L. Martínez. 2004. Mecanismos de patogenicidad e interacción: parásito-Hospedero II. BUAP. Puebla, México.
- Rodríguez P. J. E., Sahagún C. J., Peña L. A., Hernández I. L. y Escalante G. L. 2016. Erosión genética de los híbridos trilineales de maíz progenitores de una variedad sintética. *Agrociencia*. Vol. 50 P. 1081-1090.
- Rodríguez, M.F.A.; Sierra, M.M.; Cano, R.O.; Castañón, N.G. 1997. Three way crosses as an alternative for producing maize in Veracruz, México. In: Coors G.M.; Pandey S. (ed.). *The International Simposium about the Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. México city, México. P. 238.
- Rostamza, M., M.R. Chaichi, M.R. Jahansouz y A. Alimadad. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management* vol. 98 pp. 1607-1614.
- Santori, M., Nesci, A. y Etcheverry, M. 2015. Infección de *Fusarium verticillioides* y contenido de fumonisinas en granos de maíz de plantas con inflorescencias femeninas cubiertas y no cubiertas, *Rev. FCA UNCUYO*, Argentina, vol. 47, no. 1, P. 251-261.
- Saubois, A., Nepote, M. C. y Piontelli, E. 1996. Regional distribution of *Fusarium* strains in corn from the Province of Santa Fe, Argentina. *Bol. Micológico* no. 11 P. 75-80.
- Schnable P. S. y Springer N. M. 2013. Progress Toward Understanding Heterosis in Crop Plants. *Annual Review of Plant Biology*. Vol. 64 P. 71-88.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2016. Monografía maíz grano,

- ([http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96273/Ma\\_zGrano\\_monografias.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96273/Ma_zGrano_monografias.pdf)), marzo de 2017.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2018, Anuario estadístico de la producción agrícola. (<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>). octubre de 2018.
- Smith, M., F. Castillo, y F. Gómez. 2001. Participatory plant breeding with maize in Mexico and Honduras. *Euphytica*. Vol. 122 P. 551-565.
- Tadeo-Robledo, M., Zaragoza-Esparza, J., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Zamudio-González, B., Virgen-Vargas, J., y Valdivia-Bernal, R. 2016. Productividad de la generación f1 y f2 de híbridos de maíz (*Zea Mays L.*) de valles altos de México. *Agro-Ciencia*, vol. 50 num. 1, P. 33-41.
- Tonk A. F., E. Ilker and M. Tosun. 2011. Evaluation of genotype environment interactions in maize hybrids using GGE biplot analysis. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* vol. 11 P. 1-9.
- Turrent, F. A. 2009. El potencial productivo del maíz. Instituto Nacional de investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). *Ciencias P.* 126-129.
- Ullstrup, A. 1970. Method for inoculating corn ears with *Giberella zeae* and *Diplodia maydis*. *Plant Dis. Report*, Vol. 54 P. 658-662.
- USDA. United States Department of Agriculture-Foreign Agricultural Service. (2015). Producción mundial de granos y cereales. <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome> (Consulta noviembre 2018).
- Wainwright, M. 1988, Metabolic diversity of fungi in relation to growth and mineral cycling in soil: A review, *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 90, P.159–170.
- Wallace, H. A. and Brown, W. L. 1956. The great grandfather of hybrid corn: Charles Darwin. In: *corn and its early fathers*. The Michigan State University Press. P. 134.
- Warren, H.L. 1978. Comparasion of normal and high-lysine maize inbreds for resistance to kernel rot caused by *Fusarium moniliforme*, *Phytopathology* vol. 68, P. 1331-1335.
- Young, H. 1943. The toothpick method of inoculating corn for ear and stalk rots. *Phytopathology* Vol. 33, P.16.



## IX. ANEXOS

### 9.1 Tablas de comparación de medias y ANOVAS

**Tabla 23.** Cuadrados medios de las variables de altura y precocidad de genotipos de maíz en riego.

F. V.	G. L.	AM (cm)	AP (cm)	DFM	DFF
<b>REP</b>	1	993.10345	7195.10345	36.4827586	99.5862069
<b>GEN</b>	28	431.79803 <sup>ns</sup>	1493.97906*	18.9679803 <sup>ns</sup>	27.1330049 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	28	319.60345	711.42488	24.054187	32.157635
<b>C. V.</b>		20.92196	14.01529	5.956059	6.837935

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad, \* , significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo, AM, AP, DFM Y DFF corresponden a altura de mazorca, altura de planta, días a floración masculina y días a floración femenina respectivamente.

**Tabla 24.** Cuadrados medios de la fecha de riego para caracteres agronómicos de mazorcas de híbridos trilineales de maíz.

F. V.	G. L.	P5M (Kg)	PG5M (Kg)	LONG (cm)	DIA (cm)	NH	NGH
<b>REP</b>	1	0.06178*	0.04564 <sup>ns</sup>	2.304027 <sup>ns</sup>	0.051007 <sup>ns</sup>	0.620687 <sup>ns</sup>	5.58620 <sup>ns</sup>
<b>GEN</b>	28	0.01454 <sup>ns</sup>	0.010551 <sup>ns</sup>	2.023849**	0.064467*	1.704433*	8.69089 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	28	0.014769 21	0.0116473	21.2811724	0.0267640	0.9064039	7.264778
<b>C. V.</b> (%)	--	11.60675	12.11745	5.26649	3.423523	6.376333	7.394932

\*\* , Significativo al 0.01 de probabilidad, \* , significativo al 0.05 de probabilidad, ns= no significativo, P5M, PG5M, LONG, DIA, NH Y NGH corresponden a peso de 5 mazorcas, peso del grano de 5 mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera respectivamente.

**Tabla 25.** Cuadrados medios de caracteres agronómicos y de rendimiento de híbridos trilineales de maíz de la fecha de riego.

F. V.	G. L.	PHEC (gr)	P1000S (gr)	REND (t ha <sup>-1</sup> )	IDES (%)	IPROL (%)
REP	1	23.0958	1775.462	40.02262	0.15517	113.1207
GEN	28	44.5178 <sup>ns</sup>	849.756 <sup>ns</sup>	18.563195 <sup>**</sup>	4.4766 <sup>ns</sup>	387.267 <sup>ns</sup>
Error	28	32.49015	644.375	6.367867	2.83374	219.585
C. V.		7.289341	7.563967	21.77665	1.979234	13.11163

<sup>\*\*</sup>, Significativo al 0.01 de probabilidad, <sup>\*</sup>, significativo al 0.05 de probabilidad, <sup>ns</sup>= no significativo, PHEC, P1000S, REND, IDES e IPROL corresponden a peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrane e índice de prolificidad respectivamente.

**Tabla 26.** Cuadrados medios de las variables de altura y precocidad de genotipos de maíz en la fecha de temporal.

F. V.	G. L.	AM (cm)	AP (cm)	DFM	DFF
REP	1	5.16071	3.5	12.0714286	0.0714286
GEN	27	370.79563 <sup>ns</sup>	206.785714 <sup>ns</sup>	8.2354497 <sup>ns</sup>	8.026455 <sup>ns</sup>
Error	27	286.38294	196.72222	6.7751323	5.7380952
C. V. (%)	--	13.45945	5.972951	3.375703	3.073882

<sup>\*\*</sup>, Significativo al 0.01 de probabilidad, <sup>\*</sup>, significativo al 0.05 de probabilidad, <sup>ns</sup>= no significativo, AM, AP, DFM Y DFF corresponden a altura de mazorca, altura de planta, días a floración masculina y días a floración femenina respectivamente.

**Tabla 27.** Cuadrados medios de la fecha de temporal para caracteres agronómicos de mazorcas de híbridos trilineales de maíz.

F. V.	G. L.	P5M (gr)	PG5M (gr)	LONG (cm)	DIA (cm)	NH	NGH
REP	1	0.00671	0.00590	0.00346	0.051607	0	0.16071
GEN	27	0.01836 <sup>**</sup>	0.01547 <sup>**</sup>	1.57071 <sup>*</sup>	0.103368 <sup>*</sup>	1.883598 <sup>ns</sup>	4.03902 <sup>*</sup>
Error	27	0.005878	0.004319	0.749161	0.047355	1.629629	2.123677
C. V. (%)	--	8.1305	8.507395	5.369122	4.548829	8.050438	4.174318

<sup>\*\*</sup>, Significativo al 0.01 de probabilidad, <sup>\*</sup>, significativo al 0.05 de probabilidad, <sup>ns</sup>= no significativo, P5M, PG5M, LONG, DIA, NH Y NGH corresponden a peso de 5 mazorcas, peso del grano de 5 mazorcas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera respectivamente.

**Tabla 28.** Cuadrados medios de caracteres agronómicos y de rendimiento de híbridos trilineales de maíz de la fecha de temporal.

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>PHEC (gr)</b>	<b>P1000S (gr)</b>	<b>REND (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>IDES (%)</b>	<b>IPROL (%)</b>
<b>REP</b>	1	15.64571	2343.951	0.146064	1.44643	80.16071
<b>GEN</b>	27	14.14016 <sup>ns</sup>	1112.856 <sup>**</sup>	1.9919637 <sup>ns</sup>	5.123677 <sup>ns</sup>	146.35648 <sup>ns</sup>
<b>Error</b>	27	9.3942328	320.76568	1.54589392	3.2242063	173.123677
<b>C. V. (%)</b>	--	3.92805	6.402162	20.47252	2.195023	11.8671

<sup>\*\*</sup>, Significativo al 0.01 de probabilidad, <sup>\*</sup>, significativo al 0.05 de probabilidad, <sup>ns</sup>= no significativo, PHEC, P1000S, REND, IDES e IPROL corresponden a peso hectolitrico, peso de 1000 semillas, rendimiento, índice de desgrane e índice de prolificidad respectivamente.



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

MATERIALES Y METODOS



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y CALIDAD FISICOQUÍMICA DE MAÍCES  
CRIOLLOS PIGMENTADOS**

**QUE PRESENTA**

**MARÍA GUADALUPE MANDUJANO ZERMEÑO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. MARIANO MENDOZA ELOS**

**CO-DIRECTOR: DR. GILBERTO RODRIGUEZ PÉREZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**NOVIEMBRE DE 2019**

La tesis “**Componentes de rendimiento y calidad fisicoquímica de maíces criollos pigmentados**”, fue realizada por la alumna **María Guadalupe Mandujano Zermeño**, bajo la dirección del Dr. Mariano Mendoza Elos, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de la Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Mariano Mendoza Elos**

**Cédula: 3998828**

**Co-Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez**

**Cédula: 8612050**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**

## DEDICATORIA

**A Dios**, por darme vida, salud y la capacidad para aprovechar tantas oportunidades de superación profesional, por regalarme a las personas que me rodean y que con mucho cariño van dejando un pedacito de su saber conmigo.

**Con agradecimiento, respeto y amor, a mis padres:** Adán Mandujano Martínez y Ma. Santos Zermeño Rivera, que con esfuerzo, cariño y motivación me dan el plus de cada día para seguir luchando.

**A mis hermanos:** Emmanuel, Mily y Anita, por su cariño, motivación y tanto apoyo. ¡Gracias!

**A mis compañeros de clase**, por los momentos compartidos y porque de cada uno me llevo un buen recuerdo, Mercy por ser tan lista y paciente al tender la mano cuando en laboratorio todo nos pintaba en chino jaja. Naye, por haber sido compañera no solo de clase sino de todo lo que abordamos en el transcurso de la elaboración de nuestros proyectos.

**A las personitas** que, durante mi trayecto de esta maestría, con cariño estuvieron de alguna u otra manera apoyándome, motivándome y dando palabras sabias para continuar siempre hacia adelante. ¡Muchas Gracias!!!!

## AGRADECIMIENTOS

**Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT):** Por otorgarme los recursos necesarios para poder llevar a cabo mis estudios de posgrado y forjarme como profesional dándome las herramientas necesarias para culminar.

**Al Instituto Tecnológico de Roque:** Por acogerme en su institución y darme el espacio y la confianza para llevar a buen término una maestría en ciencias.

**Al Dr. Mariano Mendoza Elos:** por darme la oportunidad y la confianza para la realización de esta tesis, por la atención prestada, su apoyo y consejos, por su comprensión y humildad en la conducción de este trabajo. Le agradezco la paciencia que tuvo conmigo.

**Al Dr. Gilberto Rodríguez Pérez:** por su apoyo, interés y dedicación para este trabajo, así como su buena disposición y comprensión para poder llegar a buen culmen con esta investigación. Muchas gracias por los conocimientos aportados hacia mi trabajo y mi persona.

**Al Dr. Francisco Cervantes Ortiz:** por el conocimiento aportado para el desarrollo de esta tesis, los conocimientos que me brindo durante mi formación, el apoyo y la confianza depositadas para esta investigación.

**A la maestra Susana Altamirano del departamento de Industrias Alimentarias:** por su apoyo y colaboración en el proceso de esta investigación. Así como la enseñanza en el manejo del equipo del laboratorio, su buena vibra que le pone a las cosas y porque no hace diferencias entre alumnos para colaborar. ¡Gracias maestra!!!

## ÍNDICE

### Contenido

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN .....	x
SUMMARY.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1 Generalidades e importancia del maíz .....	5
3.3 Producción de maíz en México.....	8
3.4 Producción de maíz pigmentado.....	10
3.4 Clasificación del maíz (Razas de maíz) .....	11
3.5 Caracteres agronómicos de maíces pigmentados.....	17
3.6 El maíz como cultivo.....	18
3.7 Maíces pigmentados.....	18
3.8 Granos de maíces pigmentados.....	19
3.9 Las bases genéticas del color del grano .....	20
3.10 Composición química del grano de maíz pigmentado .....	20
3.11 Antocianinas .....	21
3.12 Tipos de Antocianinas de maíces pigmentados .....	25
3.13 Calidad del maíz .....	28
3.14 Dureza de maíz.....	28
3.15 Peso hectolítrico.....	29
3.16 Humedad .....	30
3.17 Grados Brix .....	31
3.18 Color.....	32
3.19 Aceite .....	33
3.20 Nixtamalización .....	33



IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
4.1 Ubicación del experimento .....	34
4.2 Material genético .....	35
4.3 Manejo agronómico .....	36
4.3.1 Barbecho:.....	36
4.3.2 Cruza: .....	36
4.3.3 Rastra: .....	36
4.3.4 Surcado: .....	36
4.4 Labores culturales.....	37
4.4.1 Siembra y diseño experimental: .....	37
4.4.2 Riegos:.....	38
4.4.3 Fertilización:.....	39
4.4.4 Deshierbe:.....	40
4.4.5 Cosecha .....	40
4.5 Las variables que se registraron fueron:.....	40
4.5.1 Longitud de mazorca.....	40
4.5.2 Peso de mazorca .....	40
4.5.3 Diámetro de mazorca (Diam).....	41
4.5.4 Numero de hileras por mazorca (NHil).....	41
4.5.4 Peso de 1000 granos .....	41
4.6 Análisis fisicoquímicos .....	41
4.6.1 Punción fuerza .....	41
4.6.2 Peso hectolítrico.....	42
4.6.3 Índice de flotación .....	44
4.6.4 Humedad (HUM).....	45
4.6.5 Grados Brix.....	46
4.6.6 Luminosidad L* (Lum).....	48
4.6.7 Aceite .....	48
4.6.8 Antocianinas (AT) .....	50

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
Variables agronómicas .....	52
Variables fisicoquímicas .....	56
V. CONCLUSIONES.....	62
VI. LITERATURA CITADA.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Producción de maíz grano ciclo OI 2018 vs 2019 p/ Avance a agosto 2019 (miles de toneladas).....	8
Tabla 2. Descripción de los grupos de razas presentes en México.....	12
Tabla 3. Pesos de grano por planta por clases de color en su fenotipo. ....	23
Tabla 4 Contenido de antocianinas en variedades de maíz con granos pigmentados .....	26
Tabla 5. Material genético utilizado en el ciclo PV-2018 .....	35
Tabla 6. Distribución al azar de los criollos evaluados en Roque, Celaya, Gto., en 2018 .....	38
Tabla 7. Clasificación de dureza según peso hectolítrico.....	43
Tabla 8. Clasificación del grano de maíz por su dureza.....	44
Tabla 9. Análisis de varianza de las variables agronómicas en ocho criollos pigmentados en el Instituto Tecnológico de Roque del ciclo (P-V 2018).....	52
Tabla 10. Análisis de varianza de variables agronómicas en ocho criollos pigmentados en el Instituto Tecnológico de Roque del ciclo (P-V 2018). ....	55
Tabla 11. Análisis de varianza de las variables fisicoquímicas en 8 criollos pigmentados en el Instituto Tecnológico de Roque del ciclo (P-V 2018). ....	56
Tabla 12. Comparación de medias (DMS) variables fisicoquímicas en 8 criollos pigmentados experimentales en el Instituto Tecnológico de Roque del ciclo (P-V 2018). ....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de maíz. Fuente: INTECAMP. 2017.....	7
Figura 2. Producción de maíz grano. Ciclo OI 2018 vs 2019 p/ Avance a agosto 2019 (miles de toneladas).....	9
Figura 3 Producción de maíz blanco, amarillo y azul, Primavera-verano 2018.....	11
Figura 4. Composición del grano.....	20
Figura 5. A: Termobalanza; B: Equipo Steinlite; C: Estufa de secado.....	31
Figura 6. Ubicación del experimento.....	34
Figura 7. Material genético: (1 Único), (2 Rojo), (3 Espiral), (4 Enano), (5 Dragón), (6 cerrado), (7 Biformal), (8 Pozo).....	35
Figura 8. Siembra manual.....	37
Figura 9. Riego por rodado.....	39
Figura 10. Fertilización manual granulada después de la emergencia.....	39
Figura 11. Cosecha de cada genotipo y expuesta al aire libre para eliminar un poco de humedad.....	40
Figura 12. Análisis de textura en equipo Texturometro manual TA-XT2i.....	42
Figura 13. Balanza para tomar el peso hectolítrico.....	43
Figura 14. Método de tomar el Índice de flotación.....	45
Figura 15. a) Termo balanza con la muestra húmeda, b) Charola con la muestra en seco.....	46
Figura 16. a) Molienda de las semillas de maíz, b) Colocación de la muestra en la placa.....	47
Figura 17. Muestras molidas.....	47
Figura 18. Toma de lectura de color, Colorímetro Mini Scan XE Plus Hunter Lab....	48
Figura 19. Extracción de Aceite en equipo Soxlhet.....	50
Figura 20. Extracción de antocianinas totales.....	51

## RESUMEN

Los maíces pigmentados se usan tradicionalmente en la alimentación humana de México y de algunos otros países, especialmente para la elaboración de tortillas. Las antocianinas son los compuestos responsables del color rojo-azul de plantas, flores y frutos como en el caso del maíz y por sus propiedades antioxidantes son benéficas a la salud. Estos pigmentos se encuentran en la capa de la aleurona, del endospermo y en el pericarpio del grano. El objetivo de esta investigación fue evaluar poblaciones de maíces de grano de color en función de sus componentes de rendimiento y características físico-químicas del grano. Los genotipos se evaluaron en el ciclo primavera-verano 2018 en el Instituto Tecnológico de Roque. Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En las características agronómicas se determinó la Longitud de Mazorca, Peso de Mazorca, Diámetro de Mazorca, Numero de Hileras, Grano por Hileras, Peso de Olote, Diámetro de Olote y Peso de Cien Granos y los caracteres físicoquímicas incluyeron la Punción Fuerza, Peso Hectolítrico, Índice de Flotación, Humedad, Grados Brix, Luminosidad, Aceite y cuantificación de Antocianinas Totales. Los resultados del análisis de varianza expresaron efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) para genotipos en todos los caracteres evaluados. El genotipo con mayor Longitud de Mazorca fue el 6 (Cerrado). En la variable Peso de Mazorca los genotipos con valores más altos fueron: Pozo, Cerrado y Único. Con respecto a Diámetro de Mazorca, el genotipo Espiral fue quien mejores resultados obtuvo, al igual que en la variable Número de hileras. Para la variable Grano por Hileras el genotipo Rojo fue el que obtuvo mayor resultado, siendo Dragón el valor más bajo. En cuanto a Peso de Olote los genotipos más altos fueron: Pozo, Rojo y Dragón, siendo Biformal y Espiral los valores más bajos. El Diámetro de Olote el genotipo Pozo es el de valores más altos seguido de Cerrado y Rojo, siendo Biformal el del valor más bajo. Con respecto a peso de cien granos, los genotipos más sobresalientes son: Biformal, Pozo, Único y Cerrado. Para la variable Punción Fuerza, el genotipo Dragón es quien obtuvo

el valor más alto seguido de Rojo y Cerrado, siendo Único, Espiral y Enano los que se representan con valores menores. En Peso Hectolítrico, el genotipo Cerrado es representado con los valores más altos, dejando a Espiral con los valores más bajos. En Índice de Flotación, el genotipo Espiral está representado con los valores más altos seguido de Pozo, dejando a Rojo y Cerrado en los últimos lugares. La variable Humedad el genotipo más sobresaliente es Pozo siendo Espiral el valor más bajo. El mayor porcentaje de Grados Brix fue encontrado en el genotipo: Único, Rojo y Espiral. En cuanto a la variable Luminosidad Biformal es representado por los valores más altos y en los valores menores es el genotipo Enano. En Aceite el genotipo Rojo es el más alto seguido de Único y Biformal, dejando a Cerrado en último lugar con el valor más bajo. Y finalmente los genotipos con mayor porcentaje de antocianinas fueron: Enano, Espiral y Único, siendo el genotipo Rojo el valor más bajo.

## SUMMARY

Pigmented corn is traditionally used in the human diet of Mexico and some other countries, especially for the elaboration of tortillas. Anthocyanins are the compounds responsible for the red-blue color of plants, flowers and fruits as in the case of corn and for their antioxidant properties are beneficial to health. These pigments are found in the aleurone, the endosperm and the pericarp of the grain. The objective of this research was to evaluate populations of colored grain maize based on their yield components and physicochemical characteristics of the grain. The genotypes were evaluated in the spring-summer 2018 cycle at the Instituto Tecnológico de Roque. The randomized complete block design with three repetitions was used. In the agronomic characteristics, the Length of Cobble, Cob Weight, Cob Diameter, Number of Rows, Grain by Rows, Pot Weight, Pot Diameter and Weight of One Hundred Grains were determined and physicochemical characters included Strength Puncture, Hectolometric Weight, Flotation Index, Humidity, Brix Degrees, Luminosity, Oil and Quantification of Total Anthocyanins. The results of the analysis of variance expressed significant effect ( $P \leq 0.05$ ) for genotypes in all the evaluated characters. The genotype with the longest length of Mazorca was 6 (Cerrado). In the variable Weight of Cob the genotypes with higher values were: Pozo, Cerrado and Único. With respect to Cobble Diameter, the Espiral was the one who obtained the best results, as in the variable Number of rows. For the variable Grain by Rows, the Rojo genotype was the one that obtained the highest result, with Dragón being the lowest value. As for Olote Weight, the highest genotypes were: Pozo, Rojo and Dragón, with Biformal and Espiral being the lowest values. The Diameter of Olote the genotype Pozo is the one with the highest values followed by Cerrado and Rojo, Biformal being the one with the lowest value. Regarding the weight of one hundred grains, the most outstanding genotypes are: Biformal, Pozo, Único and Cerrado. For the Force Puncture variable, the Dragon genotype is the one that obtained the highest value followed by Rojo and Cerrado,

being Único, Espiral and Enano those that are represented with smaller values. In Hectolitic Weight, the Cerrado genotype is represented with the highest values, leaving Espiral with the lowest values. In Flotation Index, the Espiral genotype is represented with the highest values followed by Pozo, leaving Rojo and Cerrado in the last places. The Humidity variable, the most prominent genotype, is Pozo, with the lowest value being Espiral. The highest percentage of Brix degrees was found in the genotype: Único, Rojo and Espiral. As for the variable Biformal Brightness, it is represented by the highest values and in the smallest values it is the Enano genotype. In Oil the Reajo genotype is the highest followed by Único and Biformal, leaving Cerrado last with the lowest value. And finally the genotypes with the highest percentage of anthocyanins were: Enano, Espiral and Unico, with the Rojo genotype being the lowest value.



## I. INTRODUCCIÓN

En México se tienen pocos estudios referentes a la caracterización de maíces de granos de color cultivados en las diferentes regiones del país. Por ello, es de suma importancia la evaluación de estos tipos de maíces cultivados en todo México, pueden existir condiciones climáticas favorables para la producción de maíces que favorecen la síntesis y acumulación de antocianinas, que son los compuestos químicos responsables del color y que poseen algunas características asociadas con la salud humana. La información sobre sus características físicas y químicas permitirá aprovechar mejor estos recursos naturales.

El contenido de carotenoides en el grano de maíz es influenciado por el genotipo, esto es, si el maíz ha sido mejorado para alto contenido de carotenoides, particularmente el  $\beta$ -caroteno, o si se trata de maíz dulce o dentado. Así, Kulirich y Juvik (1999) mencionan un rango de carotenoides en maíz azul de 0.45 a 33.11 mg kg<sup>-1</sup> de muestra seca en maíz dulce inmaduro; por su parte, De la Parra *et al.* (2008) reportan un contenido de 8.12 mg kg<sup>-1</sup> de muestra seca en maíz amarillo dentado.

Las antocianinas del grano de maíz se concentran en el pericarpio, capa de aleurona, o en ambas estructuras. De acuerdo a su localización se pueden determinar los diferentes usos del grano. Cuando se presenta una cantidad elevada de antocianinas en el pericarpio y en la capa de aleurona, los maíces tienen potencial para la extracción de pigmentos; esta condición la cumplen los maíces de color guinda o rojo intenso. Si el pigmento se localiza en la capa de aleurona son adecuados para elaborar productos nixtamalizados (Espinoza *et al.*, 2009).

Los maíces de color morado, azul o negro con pigmento en el pericarpio no son adecuados para la nixtamalización porque las condiciones de pH alcalino y temperatura elevada que caracterizan este proceso, las antocianinas se degradan (Brouillard, 1982), y adquieren un color café pardo, que se hereda a la masa y productos elaborados con ella (Salinas *et al.*, 2003).

Los maíces de grano blanco se utilizan principalmente para la elaboración de tortillas; sin embargo, los de color como el amarillo ofrecen ventajas en cuanto a la textura y apariencia de las botanas (Guerrero, 1998), además de aportar el  $\beta$ -caroteno que es la forma activa de la vitamina A que es importante para el crecimiento, el fortalecimiento del sistema inmunológico y la visión nocturna (Serna, 1996). En las dietas para pollos las xantofilas (carotenoide) son necesarias para impartir el color amarillo de la carne y la yema de huevo (Loy y Wright, 2003). En el proceso de molienda húmeda se prefieren los maíces amarillos porque normalmente proporcionan mayor rendimiento de almidón (64-72 %) que los maíces blancos (Johnson y May, 2003).

En México existe diversidad genética y fenotípica entre y dentro de las razas de maíz, que incluye la variación en color del grano desde blanco, amarillo, rojo y hasta negro, con diferentes grados de intensidad (Hernández, 1985). Los granos amarillos contienen carotenoides, los rojos y negros tienen antocianinas, mientras que los blancos carecen de estos pigmentos (Ford, 2000). Actualmente se reconoce la relevancia nutraceutica de las antocianinas como antioxidantes, anticancerígenas y reductoras de triglicéridos y de colesterol (De Pascual y Sánchez, 2008). Aun cuando México es un país rico en maíces con este tipo de pigmentos, no se les ha dado la importancia como recurso genético para generar conocimiento que haga eficiente su aprovechamiento; de ellos tampoco se cuenta con variedades mejoradas, tecnología de producción en campo y de uso industrial, ni de aprovechamiento nutraceutico (Antonio *et al.*, 2004).

Los estudios pioneros de la pigmentación del grano de maíz por antocianinas en maíces de grano púrpura, azul, rojo y blanco pretendieron determinar su herencia desde el enfoque mendeliano (East, citado por Espinoza *et al.*, 2010). Sin embargo, se encontró que algunos alelos de ciertos loci del color del grano segregan de manera impredecible (Coulter, citado por Espinoza *et al.*, 2010). Los genes que manifiestan su efecto en el color de grano en maíz se denominan genes dominantes homocigotos (RRRR) que heredan color muy oscuro, heterocigotos dominantes (RRRr) heredan

color oscuro, (RRrr) color intermedio, (Rrrr) color claro y los genes homocigotos recesivos (rrrr) heredan color muy claro; la explicación de este hecho se expresó sobre la base de dos pares de genes, en cada uno de los cuales cada gene individual dominante tiene un efecto aditivo para la intensidad del color dominante. La distribución en clases de colores de acuerdo con el número de genes dominantes, muestra el efecto de los genes individuales en la variación continúa exhibida como herencia cuantitativa.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Evaluar las poblaciones de maíces de granos de color en función de sus componentes de rendimiento y características físico-químicas del grano.

#### 2.1.1 Objetivos específicos

1. Caracterizar la diversidad fenotípica de 8 subpoblaciones de maíz criollo en variables de componentes de rendimiento.
2. Determinar los contenidos de antocianinas de 8 subpoblaciones de maíces criollos de Guanajuato.
3. Determinar la calidad fisicoquímica de los granos de maíces pigmentados.

### 2.2. Hipótesis

1. Existen poblaciones criollas de maíz con diferentes caracteres agronómicos y valor nutritivo del grano.
2. Los maíces de color difieren en el contenido de antocianinas y carotenoides.
3. Existe variabilidad en la composición química de poblaciones de maíces criollos de color.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Generalidades e importancia del maíz

El cultivo de maíz en México se cultiva en una amplia variación climática y una altitud que va desde el nivel del mar hasta los 3400 msnm. Se siembra en diferentes épocas del año y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico (CONABIO, 2011).

A esta gran diversidad de ambientes, los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y habilidad, han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos (Muñoz, 2003). Los agricultores de este cultivo año con año siembran semilla que han mantenido, intercambian, o experimentan con nueva semilla de otras regiones o de la misma localidad.

El maíz es el segundo cereal más abundante que se cultiva para el consumo humano, y durante mucho tiempo ha sido utilizado por diversas culturas en el mundo. Es un cultivo versátil ya que toda la planta es utilizable puesto que sabiendo utilizarla no se desperdiciaría ninguna parte de ella. Tradicionalmente la hoja de maíz es utilizada para la elaboración de tamales, el grano es utilizado para la alimentación humana y algunas veces para el consumo animal, así como la molienda de tallos es convertido para alimento de ganado. Y en algunos lugares utilizan la espiga para teses medicinales.

Así mismo del maíz existen alimentos derivados como el aceite, harina de maíz, jarabe de maíz e incluso el bourbon. Los productos de maíz refinado más importante son los edulcorantes que en 2011 representaron más del 56% del mercado nacional en EU de edulcorantes nutritivos (Craig-Haaland, 2012).

El maíz es una planta que por su tipo de fotosíntesis se conoce como C4 y su particularidad es que tienen células especiales que las hacen hasta tres veces más productivas. Las plantas C4 procesan tanto dióxido de carbono como oxígeno, pero solo pueden producir azúcar a partir del CO<sub>2</sub>, cuando obtienen una molécula de

oxígeno. Es decir, no solo no producen azúcar, sino que liberan una de esas valiosas moléculas de CO<sub>2</sub>. La ventaja de las plantas C4 la obtienen de las células guarda, manteniendo el oxígeno fuera y permitiendo que solo el CO<sub>2</sub> ingrese al sistema. Así mismo las plantas C4 usan el agua más eficientemente en la fotosíntesis.

El maíz ha sido adaptado a casi todos los climas, lo que significa que existe una fuente de genes para elegir cuando las condiciones cambiantes hacen que sea necesaria una mayor adaptación.

### **3.2 Producción mundial de maíz**

Maíz, trigo y arroz son los principales granos que se producen a nivel mundial. Según datos del sitio [statista.com](http://statista.com), la producción mundial de maíz en el periodo de 2016 a 2017 ascendió a 1.07 billones de toneladas métricas (Figura 1). Siendo Estados Unidos el más grande productor con aproximadamente la tercera parte de la producción. China es el segundo lugar con un 2.5 % menor de la superficie cultivada en 2016; seguido de Brasil con un incremento de 38.9 % en la cosecha de maíz. Europa en cuarto lugar. Argentina sembró una superficie de aproximada de 5.4 millones de hectáreas cosechando más de 41 millones de toneladas. Dejando a México en sexto lugar (Intecamp, 2017).



Figura 1. Producción mundial de maíz. Fuente: INTECAMP. 2017.

El pronóstico sobre la producción mundial de cereales en 2019 se sitúa en 2,685 millones de toneladas, apunta a un aumento del 1,2 % en comparación con 2018. La mayor parte del crecimiento interanual se atribuye al incremento de la producción de trigo, prevista actualmente en casi 771 millones de toneladas, un 5,6 % por encima del nivel del año pasado. El pronóstico más reciente sobre la producción mundial de trigo incluye una revisión al alza en la India, donde se prevé que los rendimientos excepcionales esperados harán que la producción alcance un máximo histórico. Por el contrario, el pronóstico de la FAO relativo a la producción mundial de cereales secundarios en 2019, que asciende a 1,398 millones de toneladas, es ligeramente inferior al de 2018, ya que se prevé que la reducción de la producción mundial de maíz contrarrestará con creces el aumento de la producción de cebada.

Según las previsiones, la mayor parte de la disminución de la producción de maíz tendrá lugar en los Estados Unidos de América, donde una primavera anormalmente húmeda ha retrasado las siembras y se estima que ocasionará una reducción de los rendimientos. Las perspectivas de disminución de las cosechas en China y en África oriental y austral han mermado aún más la producción total de maíz, contrarrestando con creces una probable recuperación en la Argentina.

### **3.3 Producción de maíz en México**

El maíz es el cultivo más representativo de México por su importancia económica, social y cultural. Con un consumo promedio per capita al año de 196.4 kg de maíz blanco, especialmente e tortillas, representa 20.9% del gasto total en Alimentos, bebidas y tabaco realizado por las familias mexicanas. La producción de maíz grano se divide en blanco y amarillo. El maíz blanco representa 86.94% de la producción y se destina principalmente al consumo humano. Esa producción satisface la totalidad del consumo nacional. El maíz amarillo se destina a la industria o a la fabricación de alimentos balanceados para la producción pecuaria. Esa producción satisface solo el 24% de los requerimientos nacionales. (SIAP, 2017).

Gran parte del territorio nacional es propicio para la producción de maíz grano.

En agosto de 2019, la superficie sembrada, para el ciclo otoño invierno 2019, es de 1.3 millones de hectáreas, se han cosechado 1.2 millones de hectáreas (98.7%), con una producción de 8.7 millones de toneladas, 12.5% más, en comparación con el mismo ciclo del año anterior.

Las entidades destacadas en la producción; Sinaloa, Tamaulipas, en conjunto han obtenido 92.2% del total de la producción nacional.

**Tabla 1 Producción de maíz grano ciclo OI 2018 vs 2019 p/ Avance a agosto 2019 (miles de toneladas)**

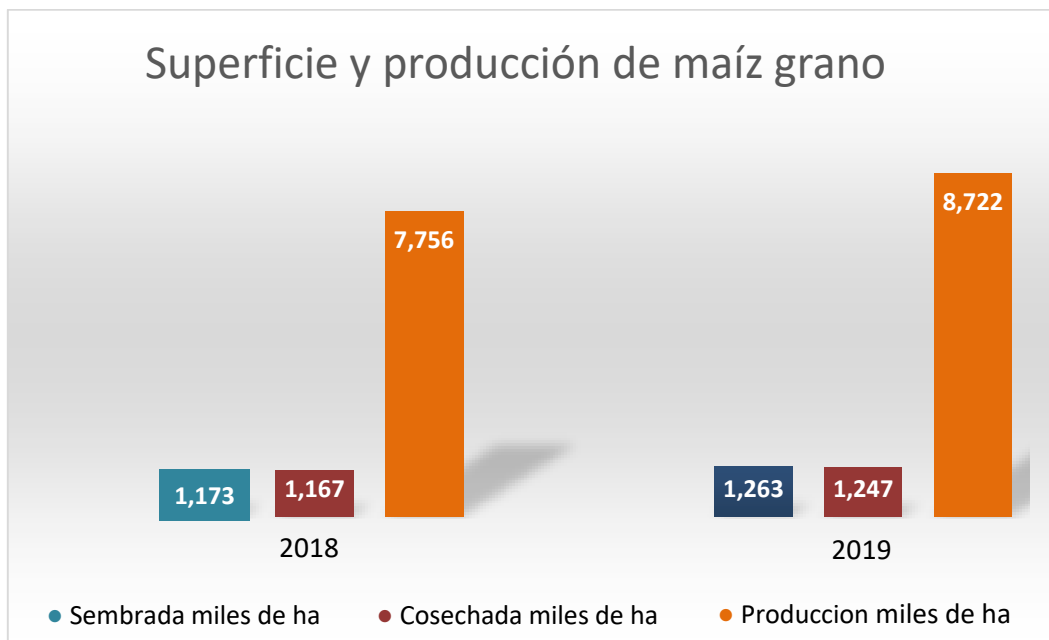


Entidad	Producción		Var. % anual	Part. % 2019
	2018	2019		
Nacional	7,756	8,722	12.5	100
Sinaloa	5,003	5,943	18.8	68.1
Tamaulipas	927	810	-12.6	9.3
Sonora	519	667	28.5	7.6
Veracruz	469	437	-6.9	5
Chiapas	112	189	69.4	2.2
Resto	726	677	-6.9	7.8

p/: Cifras preliminares.

SIAP, 2019

En la región noroeste, Sinaloa es la entidad que más incremento su volumen de producción, 18.8% más respecto del mismo periodo del año anterior; a la fecha en el ciclo otoño-invierno 2018/2019 esta entidad ha cosechado 487 mil 360 hectáreas.



**Figura 2. Producción de maíz grano. Ciclo OI 2018 vs 2019 p/ Avance a agosto 2019 (miles de toneladas).**

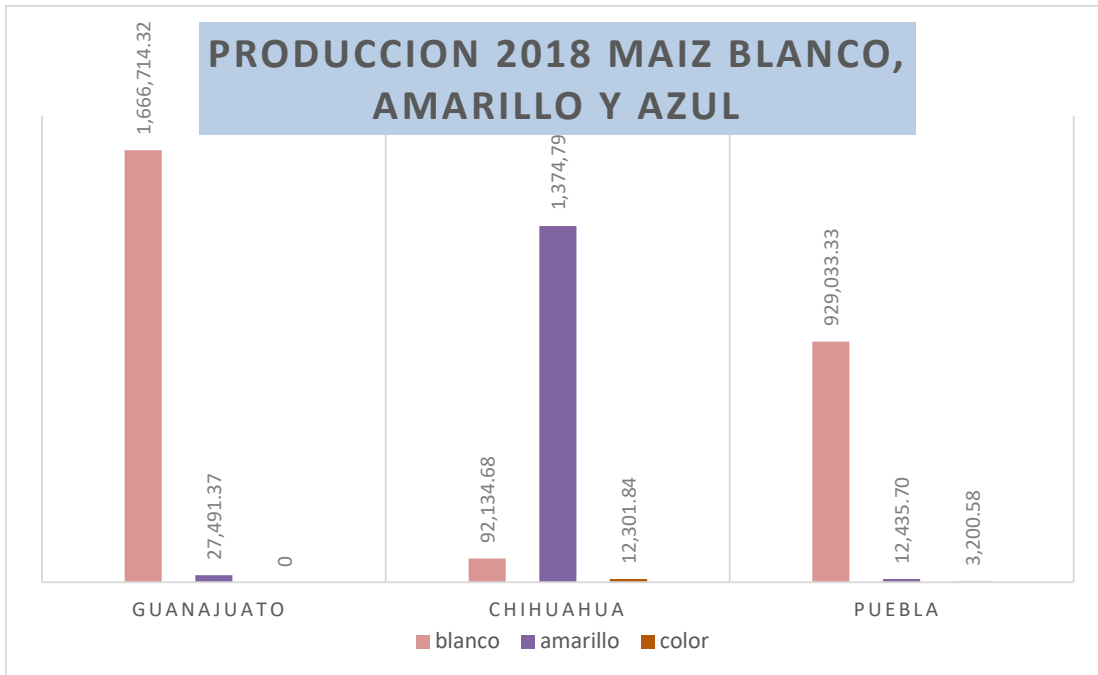
En el ciclo primavera-verano se cuenta con una superficie sembrada de 5.7 millones de hectáreas, con un decremento de 5% comparado con mismo periodo del año anterior. Destaca Jalisco con 584 mil 835 hectáreas, localizada en la región centro occidente del país.

### **3.4 Producción de maíz pigmentado.**

En los Estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Guerrero y el Estado de México, se encuentran ubicadas las razas de maíces pigmentados: Olotillo, Tehua, Olotón, Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico y Grande, Bolita, Cónico, Mushito y Tuxpeño. Pero no hay estadísticas sobre su producción (Salinas-Moreno *et al.*, 2013).

El consumo de maíces pigmentados aumento en EE. UU., mientras que en México los maíces pigmentados se usan principalmente para elaborar tortillas para autoconsumo, pero también se ocupan en pequeña escala en establecimientos comerciales de comida típica. Sin embargo, de la producción total de maíz en México los maíces pigmentados representan solo el 10%, lo cual indica que su aprovechamiento es bajo, pues su contenido nutricional y propiedades nutraceuticos representa una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos, con nuevas o mejores características funcionales y nutricionales (Bello-Pérez *et al.*, 2016).

En el 2018 (SIAP) reportó una producción de 1.37 (MT) millones de toneladas de maíz color amarillo y 12,301 de color azul en el estado de Chihuahua, (Figura 3). En el estado de Puebla se reportó una producción de 12,435 de color amarillo y 3,200 de color, mientras que para Guanajuato no hay datos registrados en siembras de maíces de color, sin embargo, se sabe que para la parte Norte del estado, en el municipio de Comonfort y zonas aledañas se sembró maíz negro, rojo y azul.



**Figura 3 Producción de maíz blanco, amarillo y azul, Primavera-verano 2018**

SIAP, 2018

### 3.4 Clasificación del maíz (Razas de maíz)

El término raza es utilizado para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo (Hernández *et al.*, 1970). Las razas se agrupan a su vez en grupos o complejos raciales, los cuales se asocian a una distribución geográfica y climática más o menos definida y a una historia evolutiva común (Sánchez *et al.*, 2000).

A partir de las distintas características fenotípicas como la forma de la mazorca, el tipo de grano, el lugar y la región donde inicialmente fueron colectadas o son relevantes, o por el nombre que le dan los grupos indígenas o mestizos que las cultivan, se nombra a una raza.

Las razas se nombran a partir de las características fenotípicas, tipo de grano, el lugar o región donde inicialmente se colectaron, o por el nombre con que son conocidas por los grupos indígenas y mestizos que las cultivan (McClintock, 1981; Wellhausen *et al.*, 1951).

Las razas de maíz de México se han agrupado (Tabla 1) con base en caracteres morfológicos, de adaptación y genéticos (isoenzimas) en siete grupos o complejos raciales (Goodman y Mck Bird 1977; Ruíz *et al.*, 2008; Sánchez *et al.*, 2000).

**Tabla 2.** Descripción de los grupos de razas presentes en México.

GRUPO	Razas que pertenecen a este grupo	Distribución	Características en común	Usos
Cónico	Arrocillo, Cacahuacintle, Cónico, Cónico Norteño, Chalqueño, Dulce, Elotes Cónicos, Mixteco, Mushito, Mushito de Michoacán, Negrito, Palomero de Jalisco, Palomero Toluqueño y Uruapeño (Sánchez <i>et al.</i> , 2000).	Predominantemente en las regiones con elevaciones de más de 2,000 m. En su mayoría son endémicas a los valles altos y sierras del centro del país: el Valle de México, el Valle de Toluca, la Sierra Norte de Puebla, la Meseta Purhépecha en Michoacán y la Mixteca Alta en Oaxaca.	mazorcas de forma cónica, números altos de hileras de grano, entre 14 y 20; granos de 4 a 8 mm de ancho con textura variable, desde harinosos hasta palomeros, número reducido de ramas de la espiga, sistema de raíces débiles, hojas caídas y vainas de las hojas fuertemente pubescentes con la presencia de antocianina (Sánchez, 2011).	Producción de tortilla, tamales, antojitos, pozoles, palomitas, entre otros. A la importancia económica del grano se asocia el aprovechamiento de subproductos de la planta como la hoja para tamal y la planta entera para forraje.

<p><b>Sierra de Chihuahua</b></p>	<p>Cristalino de Chihuahua, Gordo, Azul, Apachito y Complejo Serrano de Jalisco (Sánchez <i>et al.</i>, 2000)</p>	<p>Se cultivan en las tierras altas del estado de Chihuahua, en pequeños valles a altitudes de 2,000 a 2,600 m, y se extienden hacia el norte de Durango, este de Sonora y norte de Sinaloa</p>	<p>presentan plantas pequeñas, de 140 a 200 cm de altura, 12 a 14 hojas por planta, de floración temprana (50 a 55 días), pocas ramas de la espiga (4 a 9), mazorcas largas (de 14 a 20 cm), delgadas, con granos redondeados de 7 a 9 mm de ancho, 9-11 mm de largo, y 4-6 mm de espesor. La textura del grano de estas razas es muy dura en Apachito y Cristalino de Chihuahua y harinosa en Gordo y Azul” (Sánchez, 2011).</p>	<p>Elaboración de botanas como “palomitas”</p>
<p><b>Ocho hileras</b></p>	<p>Blando de Sonora y Onaveño, que tienen mayor presencia en el noroeste; Harinoso de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Elotes Occidentales, Tablilla de Ocho, Jala y Zamorano Amarillo, que concentran principalmente en el occidente; y las razas Ancho y Bolita que se distribuyen en el centro y sur (CONABIO 2011; Sánchez <i>et al.</i>, 2000).</p>	<p>con la excepción de Jala y Zamorano Amarillo, se caracterizan generalmente por plantas de 200 a 250 cm de altura, 16 a 20 hojas por planta, 70 a 80 días a floración, mazorcas con 8 a 12 hileras de granos, granos de 10 a 12 mm de ancho, mazorcas largas de 18 a 22 cm (a excepción de Bolita, con 14 cm) y 12 a 18 ramas de la espiga (Sánchez, 2011)</p>	<p>Los elotes Occidentales, Jala, Bofo, Bolita, Ancho, Blando, Harinoso de Ocho-se cultivan especialmente para consumo como elotes y para varios usos especiales (elote, tlayudas, tejate, galletas, pozole, huachales, tejuino, huajatoles, usos rituales, etc.) -. Por su parte, Jala, Onaveño, Tabloncillo y Zamorano Amarillo son rendidoras y apreciadas para forraje (Hernández, 1985; CONABIO 2010, Wellhausen <i>et al.</i>, 1951).</p>	

<p><b>Chapalote</b></p>	<p>Chapalote, Reventador, Dulcillo del Noroeste y Elotero de Sinaloa,</p>	<p>predominantemente en elevaciones de 100 a 500 m en la planicie costera del Pacífico de Nayarit a Sonora y en el piedemonte y escarpa de la Sierra Madre Occidental, donde se han obtenido muestras hasta cerca de los 2,000 m de altitud</p>	<p>Todas las razas de este grupo tienen mazorcas alargadas con forma de puro y granos con textura que va desde la cristalina, harinosa hasta dulce (textura rugosa por el alto contenido de sacarosa) (CONABIO, 2011; Sánchez, 2011)</p>	<p>Las razas de este grupo, además de los usos comunes, resaltan por sus usos especiales: Chapalote para palomitas, pinole y ponteduro; Reventador para palomitas; Elotero de Sinaloa como su nombre lo indica, por su tipo de grano –azul, semiharinoso y dulce– para elotes; y Dulcillo del Noroeste para pinole, elotes y esquites (Wellhausen <i>et al.</i>, 1951).</p>
<p><b>Tropicales precoces</b></p>	<p>Nal-Tel, Zapalote Chico, Conejo y Ratón.</p>	<p>principalmente en terrenos del trópico seco y regiones semiáridas del país, generalmente en zonas bajas e intermedias (100-1,300 m), adaptadas a limitados regímenes de lluvia lo que les ha conferido un ciclo de maduración corta o temprana con gran adaptabilidad y baja sensibilidad al fotoperíodo</p>	<p>Por su ciclo corto de maduración, se puede disponer de grano de estas razas previo a que maduren otras razas más tardías o cuando se ha terminado la reserva de maíz del ciclo de cultivo previo</p>	<p>ara usos especiales. Nal-Tel es apreciado para preparar atole nuevo y tener elote a buen tiempo; de igual manera Zapalote Chico, que además se utiliza para preparar los típicos “totopos” del istmo. (Aragón <i>et al.</i>, 2006, Arias <i>et al.</i>, 2003, Camacho y Servia, 2004; CONABIO 2010).</p>

<b>Dentados tropicales</b>	Tuxpeño, Vandeño, Tuxpeño Norteño, Tepecintle, Zapalote Grande y Celaya	regiones intermedias y de baja altitud	Las razas de este grupo se caracterizan “por plantas de altura entre 250 y 320 cm, de 85 a 105 días a floración, 20 a 25 hojas por planta, y muchas ramas de espiga (20 a 35). Las mazorcas son medianas a largas (12 a 20 cm), cilíndricas, con 12 a 16 hileras de granos profundamente dentados y con endospermo que va de suave a medio duro. Las razas de este grupo y sus derivados, son probablemente las más usadas en los programas de mejoramiento genético públicos y privados en el ámbito mundial” (Sánchez, 2011).	La utilización de razas de este grupo en programas de mejoramiento, especialmente de poblaciones de Tuxpeño y Celaya, ha favorecido su difusión amplia, por lo que se encuentran frecuentemente como materiales acriollados en varias regiones (Morris <i>et al.</i> , 2000).
<b>Maduración tardía</b>	Olotillo, Dzit-Bacal, Comiteco, Motozinteco, Tehua, Olotón y Coscomatepec	La raza Dzit Bacal se distribuye en las tierras bajas de la península de Yucatán y el resto en zonas de ladera y cañadas en los sistemas montañosos de la Sierra Madre de Chiapas, incluyendo la Depresión Central, la Sierra Madre del Sur y la porción sur de la Sierra Madre Oriental	Se caracterizan por presentar “plantas muy tardías, 95 a 115 días a floración, con 24 a 28 hojas por planta, y con 320 a 380 cm de altura de la planta. Son muy sensibles al fotoperiodo y la temperatura (Stevenson <i>et al.</i> , 1972). Estas razas tienen muchas ramas de la espiga (20 a 40), mazorcas largas (de 18 a 22 cm), y 12 a 14 hileras de granos, 8 a 11 mm de ancho, 9 a 13 mm de largo, con la textura del endospermo que va de suave a medio duro” (Sánchez, 2011).	Alimentos tradicionales; tortillas, atoles.

México es centro de origen y diversidad del maíz, siendo este cultivo la base de la alimentación de México y de otras culturas donde ha sido expandido hacia todo el continente americano. Su esparcimiento se debe a que es una especie vegetal con una adaptación bajo diversas condiciones ecológicas y edáficas, tanto es que puede cultivarse desde Canadá hasta Argentina. En nuestro país, el maíz ocupa cerca del 80% de la superficie dedicada al cultivo de cereales. Esto es por su excelente capacidad de adaptación a una serie muy diferente de ambientes (Dowswell *et al.*, 1996).

En México existen 64 razas de las cuales tienen variantes en el color de grano pigmentado (CONABIO, 2016) que van desde el negro, café, rojo hasta rosa pálido, y los maíces rojos y azules son los más comunes (Salinas *et al.*, 2013). Los maíces pigmentados son preferidos por los consumidores gracias al color, textura y sabor que otorgan a sus productos procesados.

Estos maíces son considerados maíces de usos especiales (SIAP, 2016). El color rosado, azul, morado y negro de estos maíces está dado por la presencia de antocianinas, las cuales se acumulan principalmente en el pericarpio y la capa de la aleurona. (Agama-Acevedo *et al.*, 2011). La acumulación del pigmento en las estructuras del grano determina el posible uso de este tipo de maíces. Por ejemplo, si el pigmento se concentra en la aleurona, del grano se puede usar para la nixtamalización y elaborar productos con tonalidades azules, pero si se acumula en el pericarpio y en cantidad suficiente el grano pigmentado se podría utilizar para la extracción de pigmentos (Salinas, 2009).

Dentro de las razas y entre ellas existe una variación de color de grano y es habitual observar e identificar granos de color: blanco, amarillo, anaranjado, café, azul, rojo, guinda, negro, púrpura, pinto, variegado y moteado (Johannessen, 1982; Aragón, 2006), entre otras tonalidades; sin embargo, su caracterización por color es inconsistente y subjetiva (Aguirre *et al.*, 2008).

En relación al color del grano, Johannessen (1970) menciona que tuvo un significado religioso y relacionado con las cuatro direcciones cardinales por las que el viento corre:



amarillo al norte, azul al oeste, rojo al sur y blanco al este. Todo lo anterior revela la importancia tanto alimentaria como mitológica que ha ejercido el maíz en los pueblos que lo domesticaron.

### **3.5 Caracteres agronómicos de maíces pigmentados.**

Los componentes del rendimiento del maíz están determinados por características biométricas de la mazorca (longitud y diámetro de la mazorca, número de hileras y número de granos por hilera), número de mazorcas por planta, peso de 1000 granos, etc.

Diversos estudios así lo corroboran, sobre todo los realizados por Ferraris y Couretot (2004), quienes evaluaron el comportamiento de 26 híbridos de maíz y los siguientes componentes del rendimiento: número de granos/m<sup>2</sup>, peso de 1000 granos y número de hileras por mazorca. Rivetti (2006) luego de evaluar el rendimiento de grano y sus componentes bajo diferentes regímenes de riego, estableció los siguientes componentes del rendimiento: número de hileras por mazorca, número de granos/m<sup>2</sup>, número de granos por hilera y el peso de 1000 granos.

Características deseables en plantas de maíz son, principalmente, poca altura de planta, mayor precocidad y hojas superiores erectas (ángulo de inserción de hoja pequeño). En la costa peruana, por ejemplo, el sistema de producción requiere híbridos de maíz más precoces y de porte más bajo, que puedan sembrarse a altas densidades (Chura y Sevilla, 2002). Asimismo, hojas superiores erectas combinadas con hojas horizontales inferiores dan lugar a un uso más eficiente de la radiación por parte de la capa total de hojas (Paliwal, 2001).

Las características agronómicas que varían dentro de los maíces azules son: días a floración masculina y femenina, número de hileras por mazorca, largo y ancho del grano (Espinoza *et al.*, 2006).

Dentro de sus principales problemas están el acame que puede llegar a 30% de la parcela (Antonio *et al.*, 2004). En algunas variedades de maíz azul de la raza Chalqueña se presentan problemas de pudrición de la mazorca que pueden llegar a 10.5%. Esto indica que las variedades de maíz azul son susceptibles a la pudrición de

mazorcas, probablemente debido a la textura harinosa de su grano (Antonio *et al.*, 2004).

Arellano *et al.* (2003) determinaron que las variedades de maíz azul son sensibles a condiciones de sequía y temperatura distintas a su lugar de origen.

### **3.6 El maíz como cultivo**

El maíz es un cultivo que requiere suelos estructurados, fértiles y profundos que permitan el desarrollo de las raíces, de manera que eviten encharcamientos y al mismo tiempo almacenen agua y que a su vez permitan el aprovechamiento óptimo de los nutrientes.

El maíz se siembra de forma directa, siendo de abril hasta principios de junio la época ideal para el óptimo desarrollo. Una de las técnicas de sembrado más utilizada es la conocida como “siembra a golpe” es decir colocando la semilla en un hoyo de entre 3 y 5 cm de profundidad depositando de 2 a 3 semillas por cada hoyo.

Desde que se siembran las semillas hasta la aparición de los primeros brotes, transcurre un tiempo de 8 a 10 días, donde se ve muy reflejado el continuo y rápido crecimiento de la plántula.

Una vez que la planta este desarrollada y tenga mazorcas con granos formados y duros, se disminuye el riego para dejar que el cultivo seque por completo. Hasta ese momento el maíz requiere de un buen aporte de nutrientes, una tierra bien abonada, profunda, fértil, y bien aireada. Llegada la madurez fisiológica se dispone a recolectar el fruto, actividad conocida como cosecha.

### **3.7 Maíces pigmentados**

En la actualidad se cultivan maíces de diferentes formas y tonalidades de grano; los azules, negros, guindas, púrpura y rojos se conocen como maíces pigmentados. Diversas instituciones de investigaciones nacionales e internacionales conservan las semillas de muchas de estas razas pigmentadas que han colectado en los estados de

puebla, Guerrero, Oaxaca, Estado de México y Chiapas, principalmente (Ramírez-Romero *et al.*, 2008).

Estos maíces constituyen parte de la diversidad genética que existe de esta gramínea en el país, donde se han descrito al menos 59 razas (Sánchez *et al.*, 2000).

Hoy en día se cultivan maíces de distinguida forma y tonalidades de grano, negros, guindas, purpura, rojos y azules, los cuales son muy conocidos como maíces pigmentados. A pesar de sus variantes y hermosos colores, son poco producidos en nuestro país. Algunas instituciones y centros de investigación realizan estudios para promover su siembra y mejorar su productividad en el campo, ya que, para poder ampliar el uso de estos hermosos maíces, que además de atractivos por su color son saludables, es necesario seguir estudiando la estructura del grano y los compuestos químicos que se encuentran dentro.

### **3.8 Granos de maíces pigmentados**

Las variantes de grano de color continúan sembrándose en México como poblaciones criollas, las cuales son nativas de las diferentes regiones agroecológicas del país y son considerados criollos desde el punto de vista genético, geográfico y cultural. Los colores predominantes en las poblaciones son el blanco y amarillo, mientras que el azul, rojo y los pintos no son tan frecuentes. Este comportamiento está relacionado con la mayor demanda del grano blanco en el mercado, mientras que los demás colores comúnmente se destinan al autoconsumo (Brush y Perales, 2007) y fueron menospreciados en la política mexicana, la cual se enfocó al mejoramiento genético y comercialización del maíz blanco (Muñoz, 2003).

A diferencia de los granos de maíz blanco, los pigmentados poseen compuestos llamados antocianinas, lo cual les otorga los colores vistosos. La ubicación de los pigmentos es muy importante ya que indica la cantidad de pigmentos que se pueden extraer y a su vez permite tomar decisiones sobre la forma más correcta de aprovechar

estos compuestos sin degradarlos durante el proceso de transformación de grano (Ramírez *et al.*, 2008).

Se sabe que el grano está compuesto o formado por diversas estructuras; pericarpio, endospermo, germen, cofia o pedicelo.

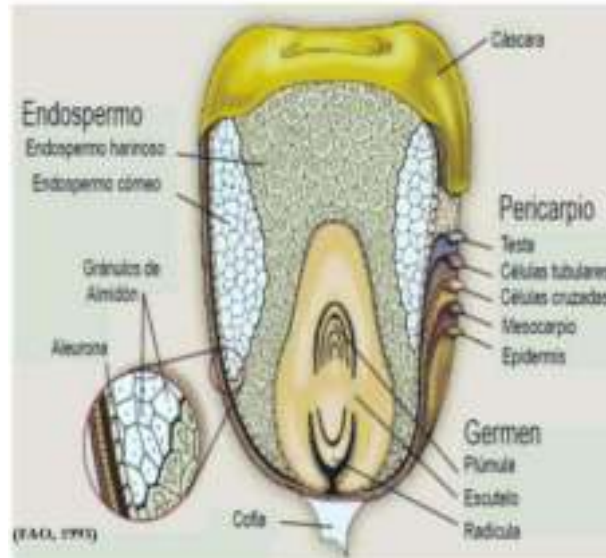


Figura 4. Composición del grano.

### 3.9 Las bases genéticas del color del grano

Los primeros estudios que se hicieron respecto al color de los órganos de las plantas, se hicieron en chícharo con la finalidad de analizar la aparición del color a través de cada generación, realizando cruza entre variedades contrastantes en color de la flor, de testa y de los cotiledones de la semilla. Los descubrimientos aportaron que la pigmentación fue dominante sobre el color blanco de la flor, sobre el blanco de la testa y el verde de la semilla, siguiendo las reglas proporcionales precisas (Trujillo, 2012).

### 3.10 Composición química del grano de maíz pigmentado

La composición química del grano de maíz es afectada por el genotipo (variedad), por el medio ambiente y por las condiciones del cultivo. En promedio el contenido de proteína del maíz es 10% y una gran parte se encuentra en el endospermo del grano

(Bello-Perez *et al.*, 2016). Los maíces pigmentados (azul y negro) tienen de 8.2 a 9.4 % de proteína (Agama-Acevedo *et al.*, 2005), mientras que en el estado de Oaxaca las razas de maíces pigmentados adaptados a climas tropicales tienen 9.5 a 10.4 % y 10.1 a 10.6 % en climas subtropicales y en algunas formas segregantes de la raza Bolita hay una relación positiva entre la dureza del grano y el contenido de proteína que se atribuye a una mayor presencia de cuerpos proteínicos (prolaminas) que rodean a los gránulos de almidón (Salinas-Moreno *et al.*, 2013).

En el grano de maíz puede presentarse una relación de endospermo vítreo: harinoso de 2:1, pero varía considerablemente de acuerdo con la raza (Inglett *et al.*, 1970).

El contenido de lípidos en el grano de maíz es alrededor de 5 % y están localizados principalmente en el germen. En los maíces pigmentados el contenido varía de 3.7 a 5 % (Agama-Acevedo *et al.*, 2004; Salinas-Moreno *et al.*, 2013), pero en el endospermo de maíz azul hay solo 0.52 % (Utrilla-Coello *et al.*, 2009). El contenido de cenizas, esto es los minerales presentes en los maíces pigmentados, es  $\approx$  1-2%, y la mayoría está en el germen del grano. Los carbohidratos son el componente mayoritario del grano de maíz, en los maíces pigmentados varían de 76 a 84 % (Agama-Acevedo *et al.*, 2004). El almidón es el principal carbohidrato del maíz y está formado por amilosa o componente lineal y la amilopectina o componente ramificado (Cuadro 3). El almidón de los maíces pigmentados presenta  $\approx$ 20 % de amilosa, pero hay razas con 13 % (De la Rosa-Millán *et al.*, 2010), lo cual indica diferencias en la organización de estos dos componentes dentro del granulo del almidón y por lo tanto diferencias en sus propiedades funcionales y nutricionales. A pesar de la diversidad de razas de maíces pigmentados, hay pocos estudios sobre las características de su almidón, por lo cual se debe investigar más para potencializar su uso o aplicación.

### **3.11 Antocianinas**

Generalmente las antocianinas se acumulan en cualquier órgano vegetativo de la planta en respuesta a la radiación ultravioleta (UV-B) (Singh *et al.*, 1999); por ello, estos pigmentos junto con la expresión de una amplia variedad de proteínas, le

confieren tolerancia a la radiación UV-B a determinadas razas de maíz que se cultivan en los Valles Altos Centrales de México (Casati *et al.*, 2005). Ésta cualidad de tolerar la radiación se considera importante ya que a largo plazo se espera que exista un incremento en la radiación UV-B como resultado del cambio climático global (Caldwell *et al.*, 2003).

Las antocianinas son compuestos derivados del metabolismo secundario y pertenecen al grupo de fitoquímicos conocido como flavonoides. Una de sus propiedades ópticas es el color por lo que son pigmentos que se encuentran acumulados en las vacuolas de hojas, flores, frutos, semillas y otros órganos de la planta (Tanaka, 2008). Su estructura química se compone de una antocianidina o aglucón de la cual se conocen varios tipos: pelargonidina, cianidina, delphinidina, petunidina, peonidina y malvidina. Esta diversidad de moléculas se debe al número y posición de los grupos hidroxilo (OH) y metoxilo (OCH<sub>3</sub>), a la presencia de una o varias moléculas de carbohidratos (con mayor frecuencia glucosa) y de varios ácidos orgánicos.

De Pascual *et al.*, (2008) mencionan que la combinación de estas moléculas origina más de 500 estructuras de antocianinas, de las cuales 50% se basa en cianidina, 12% en pelargonidina, 12% en delphinidina, 7% en petunidina y 7% en malvidina.

Por su estructura química las antocianinas tienen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y previenen el desarrollo de varios tipos de cáncer.

El grano de maíz azul y púrpura han sido objeto de estudios con la finalidad de determinar el contenido y tipo de antocianinas, su variación por efecto del ambiente, además de ensayos biomédicos para conocer su actividad biológica (Jing *et al.*, 2006). Por su contenido de flavonoides se considera al maíz azul una fuente de compuestos nutraceuticos (Serna, 2004).

Las antocianinas son pigmentos vegetales con gran potencial para el reemplazo competitivo de colorantes sintéticos; por tanto, es de gran importancia conocer los aspectos bioquímicos que enmarcan estos pigmentos.

Las antocianinas, además de ser colorantes inocuos para el consumo humano, poseen importantes actividades biológicas como antioxidantes, antimutagénicas y

anticancerígenas (López-Martínez *et al.*, 2009; Zhao *et al.*, 2009), y por ello es que son de gran interés para la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética.

Brink (1934) demostró que las plantas de maíz que pertenecen a la serie de tipos de antocianinas de color difieren considerablemente en su promedio de producción de grano. La comparación de los cuatro tipos de antocianinas llevó a la conclusión de que el color púrpura fue muy inferior a rojo claro, mientras que púrpura claro y rojo claro presentaron mayor rendimiento promedio por planta que el rojo (Tabla 2). El color púrpura con genes dominantes recesivos heredó el color púrpura, el púrpura claro cuando intervienen tres genes dominantes y un recesivo, el rojo con genes heterocigotos.

Las antocianinas en el grano de maíz se acumulan predominantemente en el pericarpio, en la aleurona o en ambas estructuras (Salinas *et al.*, 1999). Trabajos recientes han reportado la presencia marginal (0.07 a 0.08 mg/grano) de estos fenoles en el endospermo almidonoso y el embrión (Cui *et al.*, 2012). La acumulación del pigmento en las estructuras del grano determina el posible uso de este tipo de maíces. Si el pigmento se concentra en la aleurona, el grano puede canalizarse al proceso de nixtamalización para la elaboración de productos con tonalidades azules, mientras que si se acumula en el pericarpio y en cantidad suficiente el grano pigmentado podría considerarse para la extracción de pigmentos (Salinas *et al.*, 1999; Salinas, 2009).

**Tabla 3. Pesos de grano por planta por clases de color en su fenotipo.**

Fenotipo	Experimento I (1938)		Experimento III (1939)	
	Nº plantas	Media en libras	Nº plantas	Media en libras.
AB PI (púrpura)	674	0.307	600	0.282
A PI B (púrpura claro)	681	0.361	641	0.323
AB pl (rojo)	694	0.355	686	0.318
pl b (rojo claro)	688	0.372	682	0.331
PI B (marrón)	698	0.344	602	0.305
pl B, AB PI, pl ab(verde)	2002	0.368	2000	0.319

Total

5437

5211

Salinas *et al.* (2010) reportaron que los maíces criollos de color azul presentaron un rango mayor en el contenido de antocianinas de (400 – 940 mg kg<sup>-1</sup>) que los maíces azules mejorados con (400- 700 mg kg<sup>-1</sup>). Estos valores son consistentes con los informados por otros investigadores en maíces de grano morado (De la Parra *et al.*, 2008) y azul (López-Martínez *et al.*, 2009).

Ouing-Ping y Jian-Gou (2011) estudiaron el contenido de antocianinas y carotenoides en maíces criollos en los granos de color blanco, rojo púrpura, amarillo, amarillo cremoso y negro, reportaron que los maíces de color negro presentaron mayor contenido de antocianinas con  $276.11 \pm 22.62$  expresadas mg de cianidin 3-glucoside equivalentes/peso seco, en segundo lugar lo obtuvieron los maíces de color rojo púrpura ( $138.06 \pm 9.85$ ), amarillo cremoso ( $1.73 \pm 0.10$ ) y amarillo ( $1.04 \pm 0.059$ ); los valores más bajos lo presentaron los maíces blancos  $0.09 \pm 0.01$ . Con respecto al contenido de carotenoides, los maíces amarillo cremoso obtuvieron mayores concentraciones con  $39.61 \pm 0.42$  µg g<sup>-1</sup> seguidos de los maíces amarillos ( $34.82 \pm 0.33$ ), rojo púrpura ( $14.52 \pm 0.09$ ), negro ( $8.55 \pm 0.05$ ) y blanco ( $1.77 \pm 0.07$ ).

Por otra parte, Rui Hai *et al.* (2007) estudiaron maíces criollos de color blanco, amarillo, azul y rojo, para determinar el contenido total de fenoles en semillas y sus productos de nixtamalización como masa, tortilla y frituras; reportaron que en grano amarillo fue mayor el contenido de fenoles obteniendo valores de  $285 \pm 14$  mg de ácido galico equivalente/100 g de harina seca, seguido de maíz azul ( $266.2 \pm 0.7$ ), maíz blanco ( $260.7 \pm 6.1$ ) y el rojo ( $243.8 \pm 4.6$ ). Referente a masa, el maíz amarillo obtuvo el mayor contenido ( $182.2 \pm 2.4$ ) seguido de maíz blanco ( $165.2 \pm 4$ ), azul ( $158.5 \pm 1.2$ ) y rojo ( $125.3 \pm 2.8$ ). En tortilla y frituras los valores de mayor a menor se encontraron en el orden de, maíz de color amarillo, blanco, azul y rojo.



Otro estudio fue realizado por Gokmen *et al.* (2012) quienes utilizaron maíces de color blanco, amarillo limón, amarillo, naranja, amarillo-rojo, rojo, rojo oscuro, azul claro, azul fuerte, y un multicolor y encontraron mayores contenidos de antocianinas en los maíces de color rojo oscuro y azul fuerte, mientras que los de color más claro como el blanco, naranja y amarillo presentaron menores contenidos de antocianinas; sin embargo, para la pro-vitamina A carotenoides, el orden de mayor contenido fue para el color naranja, azul fuerte, el multicolorido y el amarillo-limón. En contraste, los colores rojos, naranja, amarillo-rojo, azul fuerte y el multicolorido presentaron mayor contenido de Luteína, los granos azul fuerte y claro obtuvieron mayor contenido de flavonoides.

Entre los nuevos desafíos que deberá enfrentar el agricultor maicero es fundamental su integración en la explotación de maíces especiales que conocemos hoy como los maíces de color, que actualmente están adquiriendo mayor importancia en nuestro país dándoles un valor agregado, ya que cada día se descubren nuevos usos alimentarios e industriales para estos tipos de maíces.

### **3.12 Tipos de Antocianinas de maíces pigmentados**

Las antocianinas son los compuestos responsables de la coloración en plantas comestibles, principalmente cereales y frutas (Escribano-Bailón *et al.*, 2004). El color de las antocianinas depende del número y posición de los grupos sustituyentes en la molécula. Un aumento en la cantidad de grupos hidroxilo produce pigmentos de tonos azules, y por el contrario, con predominancia de grupos metóxilo se presenta una tonalidad roja. Se han descrito de 12 a 17 antocianidinas diferentes, pero solo seis de ellas se encuentran comúnmente en frutas, vegetales y cereales como el maíz (Kong *et al.*, 2003).

Escalante-Arburto *et al.* (2013) en su revisión La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados, nos muestran los contenidos de antocianinas en diferentes variedades y tipos de maíz, (Tabla 3) clasificados en tres

niveles: bajo, medio y alto. Como las antocianinas proporcionan el color característico a cada grano, los maíces blancos no aportan una cantidad significativa de estos compuestos, con contenidos de antocianinas entre 0.9 y 1.59 mg/100 g, en equivalentes de cianidina 3-glucósido (López-Martínez 2011). El contenido de antocianinas varía ampliamente entre genotipos; así, los maíces de color rojo presentan valores altos, medios y bajos, lo cual pudiera depender de su variabilidad genética. En general los maíces que contienen bajos valores de antocianinas son los maíces amarillos y rosas, mientras que en el grupo de los valores medios se encuentran los maíces azules, y los contenidos más elevados ocurren en los granos de colores morado y negro (Escalante-Arburto *et al.*, 2013).

**Tabla 4 Contenido de antocianinas en variedades de maíz con granos pigmentados**

Variedad de maíz	Contenido de antocianinas $\pm$ DE† (mg eq de cianidina 3 glucósido/100g)	Referencia
<b>BAJO</b>		
Amarillo ceroso	(Xinnuo 301) $0.63 \pm 0.05$	Hu y Xu (2011)
Amarillo comercial	(Xinhuangdan 85) $1.11 \pm 0.03$	Hu y Xu (2011)
Rojo carmesí	$5.09 \pm 0.17$	Abdel-Aal <i>et al.</i> (2006)
Rojo rubí	$6.94 \pm 0.19$	Abdel-Aal <i>et al.</i> (2006)
Negro	$10.07 \pm 1.766$	Agama-Acevedo <i>et al.</i> (2004)
Rosa Jinheiyu	$12.74 \pm 0.41$	Zhao <i>et al.</i> (2008)
Fiesta India (Multicolor)	$13.17 \pm 0.56$	Abdel-Aal <i>et al.</i> (2006)
Rosa Cutie	$16.39 \pm 0.47$	Abdel-Aal <i>et al.</i> (2006)
Azul Cutie	$19.67 \pm 0.21$	Abdel-Aal <i>et al.</i> (2006)
Naranja	$21.5 \pm 1.1$	López-Martínez y García-Galindo (2009)
Azul suave comercial	$27.20 \pm 0.08$	Cortés-Gómez <i>et al.</i> (2006)
Azul	$29.15 \pm 1.44$	Agama-Acevedo <i>et al.</i> (2004)
Negro aperlado Guangdong	$29.22 \pm 0.86$	Zhao <i>et al.</i> (2008)
Azul americano comercial	30.7	Del Pozo-Insfran <i>et al.</i> (2006)
Azul mexicano comercial	32.1	Del Pozo-Insfran <i>et al.</i> (2006)
Azul Shaman	$32.27 \pm 0.15$	Abdel-Aal <i>et al.</i> (2006)

Amarillo "Población tropical"	33.1	Ruíz et al. (2008)
<b><u>MEDIO</u></b>		
Rojo púrpura dulce	60.71 ± 2.17	Abdel-Aal et al. (2006)
Azul criollo	62.09 ± 0.84	Escalante-Aburto et al. (2013)
Azul comercial	63.1 ± 1.4	López-Martínez et al. (2011)
Rojo comercial	82.3 ± 3.8	López-Martínez et al. (2011)
RO (Rojo)	127 ± 2.13	López-Martínez y García-Galindo (2009)
Morado	127.7 ± 0.49	Abdel-Aal et al. (2006)
Mr-m (Rojo-morado)	141 ± 1.56	López-Martínez y García-Galindo (2009)
Rojo carmesí Shijazhuang	149.3 ± 5.63	Zhao et al. (2008)
M5IG04 (Rojo)	159 ± 1.22	López-Martínez y García-Galindo (2009)
<b><u>ALTO</u></b>		
Negro mexicano	324 ± 3.45	López-Martínez y García-Galindo (2009)
Rojo mexicano	366 ± 3.22	López-Martínez y García-Galindo (2009)
RaO04PV (Rojo)	385 ± 4.22	López-Martínez y García-Galindo (2009)
NO04c (Negro)	431 ± 34.5	López-Martínez y García-Galindo (2009)
Pinto mexicano (Rojo)	431 ± 3.89	López-Martínez y García-Galindo (2009)
337 (Morado)	478 ± 4.11	López-Martínez y García-Galindo (2009)
Nn04cl (Negro)	529 ± 7.12	López-Martínez y García-Galindo (2009)
'Veracruz 42' mexicano (Morado)	1050 ± 10.11	López-Martínez y García-Galindo (2009)
'AREQTL' (Morado)	2050 ± 10.15	López-Martínez y García-Galindo (2009)
Morado oscuro Jingheinuo	2565 ± 112.1	Zhao et al. (2008)
Morado Zhuozhou	3045 ± 163.2	Zhao et al. (2008)

† DE = desviación estándar.

(Escalante-Aburto *et al.*, 2013).

En el grano de maíz se han encontrado pigmentos en pericarpio y en la capa de la aleurona. En el endospermo del grano de maíz azul, la capa de la aleurona contiene los pigmentos de antocianinas azul que le confieren su color característico. Estos compuestos derivan principalmente de la cianidina y pelargonidina, la primera identificada en maíces azules provenientes de Bolivia. Según Betrán *et al.* (2001) también se a sugerido la presencia de antocianinas en el germen de ciertas variedades de maíz.

Yang *et al.* (2009) Identificaron tres tipos de antocianinas no asiladas en maíces de color morado: la cianidina 3-glucosido, pelargonidina 3-glucosido y peonidina 3-

glucosido, provenientes de Perú y Bolivia, siendo estos maíces uno de los más estudiados y que al parecer este tipo de coloración produce un mayor rendimiento de antocianinas al momento de su extracción, y una mayor capacidad antioxidante de las antocianinas contenidas en estos granos. Por su parte De Pascual-Teresa *et al.* (2002) en este color de grano identificaron también a cianidina 3-(6"-malonilglucosido), pelargonidina 3-(6" –malonilglucosido), peonidina 3-(6"malonilglucosido), cianidina 3-(6" -etilmalonilglucosido), pelargonidina 3-(6" –etilmalonilglucosido) y peonidina 3-(6" –etilmalonilglucosido).

### **3.13 Calidad del maíz**

Para obtener buena calidad de semilla en un lote de producción debe evitar la contaminación y cumplir los estándares de calidad requeridos, como para obtener los volúmenes adecuados de semilla aprovechable. La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos índices de viabilidad. Los principales indicadores de la calidad fisiológica son la germinación y el vigor, que dependen del genotipo y del cuidado de su desarrollo en la producción y del manejo poscosecha. Las determinaciones del vigor de la semilla son útiles para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas, así como para estimar el periodo de almacenamiento de las mismas al que pueden ser sometidas, ya que se ha demostrado que el vigor y la longevidad están altamente relacionados (Antuna *et al.*, 2003).

### **3.14 Dureza de maíz**

La dureza del grano de maíz se define como la fuerza necesaria para romperlo y contribuye a otorgarle resistencia mecánica, propiedad deseable para mantener la

integridad del grano durante las operaciones de cosecha y postcosecha, sin embargo, también es el parámetro que determina esencialmente la capacidad del grano para absorber y retener agua durante las diferentes etapas del proceso de cocción, especialmente durante la nixtamalización. Los maíces denominados suaves se hidratan mejor que los duros, es decir, absorben mayor cantidad de agua debido a que los gránulos de almidón son más fácilmente alcanzados por el líquido (CIMMYT, 2016). La dureza está determinada por la estructura del grano, especialmente por la relación entre el endospermo vítreo y harinoso. El maíz de endospermo vítreo, así como las variedades de maíz cristalino y reventador, tienen granos duros, en tanto que las variedades de maíz amiláceas y harinosas tienen granos blandos (Véles-Medina, 2004).

### **3.15 Peso hectolítrico**

El peso hectolítrico (masa hectolítrica, gravedad específica, peso específico o densidad aparente) es un parámetro exigido por la norma mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002<sup>1</sup> debido a que es un factor relacionado con la dureza, susceptibilidad a ruptura, rendimientos de molienda, velocidad de secado, condiciones generales del grano y resistencia al desarrollo de hongos. Los granos más densos tienen menos probabilidad de ser dañados por insectos y mejores posibilidades de soportar el manejo durante el almacenamiento y comercialización. Mauricio *et al.* (2004) reportaron que los granos aptos para producir atoles y pozoles se caracterizan por tener tamaño grande y valores bajos de dureza y gravedad específica, en tanto que los granos para tortillas tienen valores intermedios en tales características; en contraste, los granos para pinoles se caracterizan por ser cortos, anchos y gruesos, de baja dureza y gravedad específica. Los granos palomeros son pequeños, duros y de alta gravedad específica. Los granos empleados para botanas son los más largos y duros. Por ello los investigadores consideran que las características de mayor definición respecto al producto alimenticio obtenido, son dureza del grano, pérdida de peso y capacidad de absorción de agua, porque los valores altos de capacidad de absorción de agua se registran en los maíces para la producción de tortillas y atoles,

mientras que los granos destinados a botanas tienen valores menores, y son aún menores en los maíces para palomitas y pinoles. Así pues, las características estudiadas de los granos de maíz, especialmente la dureza, se relacionan con el uso alimenticio al cual se destinan, y por lo mismo son útiles para definir la calidad industrial del grano respecto al producto que se desee elaborar (Figueroa *et al.*, 2013).

### **3.16 Humedad**

La humedad es uno de los factores que afecta el almacenamiento del maíz, ya que es la responsable de que ocurran diferentes reacciones, ya sean del tipo biológicas o bioquímicas, tales como crecimiento de hongos, germinación del grano, calidad del grano que se ve disminuida al reducir su viabilidad, entre otros, provocando que la cadena de productor-industria-consumidor se vea afectada por el mal manejo de almacenamiento en cualquiera de estas tres áreas, por lo que es importante un control de la humedad desde el inicio del almacenamiento del grano (Minguez *et al.*, 2005).

El contenido de humedad determina la proporción real en que se encuentran los nutrientes en el grano de maíz. Su determinación permite no solo la cuantificación de compuestos de manera exacta, sino también contribuyen en el almacenamiento adecuado de las semillas y la limitación del crecimiento de hongos o microorganismos que afectan la calidad del producto (Palacios-Rojas *et al.*, 2018).

Así mismo existen diversos métodos para determinar la humedad tales como: determinación de humedad por medio de termobalanza (Figura 5 A), y se basa en la pérdida de humedad mediante el calentamiento; determinación de humedad por conductividad utilizando el medidor Steinlite (Figura 5B), este determinador de humedad utiliza el principio de capacitancia, se basa en la relación que existe entre el contenido de agua en el grano y su constante dieléctrica y cae en medio de dos placas paralelas que tienen alrededor de 5 cm de separación, una vez que va cayendo la muestra se va desplazando, por lo que las placas detectan el cambio en las características eléctricas del condensador a causa de las características dieléctricas del gran, cuantificado de esta manera su contenido de agua Y determinación de humedad en estufa de secado (Figura 5C): donde la muestra es pesada y secada

dentro de una estufa bajo condiciones específicas de tiempo y temperatura (Palacios-Rojas, 2018).



Figura 5. A: Termobalanza; B: Equipo Steinlite; C: Estufa de secado

### 3.17 Grados Brix

Los °Brix miden la cantidad de sólidos solubles presentes en alimento, expresados en porcentaje de sacarosa. Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua presentes en los jugos de las células de los alimentos. Se determinan empleando un refractómetro calibrado y a 20 °C.

La medición de °Brix nos ayuda para saber hasta dónde concentrar un alimento o que cantidad de azúcar se debe agregar para que quede siempre con el mismo sabor.

También representa la relación entre masa del azúcar y el volumen de la solución (g/ml) (Kg/L).

La Norma Oficial Mexicana NOM-173-SCFI-2009, señala que los °Brix es el por ciento de sólidos disueltos en un producto derivado de las frutas o de un líquido azucarado.

La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos para medir la cantidad aproximada de azúcares en zumos de fruta, vino o bebidas suaves, y en la industria azucarera.

Para los zumos de fruta, un °Brix indica cerca de 1-2% de azúcar por peso.

Ya que los °Brix son relativos al contenido de sólidos disueltos (sobre todo sacarosa) en un líquido, se refieren a la densidad del líquido. Esta propiedad física de las soluciones de sacarosa también puede evaluarse con un refractómetro. Por facilidad de empleo, los refractómetros son preferibles a los areómetros de temperatura compensada evitan dependencia de la temperatura en mediciones de la densidad. Para tomar la lectura se requiere de una a dos gotas de muestra (Cordero *et al.*, 2018).

### **3.18 Color**

El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto. Se trata de una apreciación, que depende de cómo nuestros ojos detectan la luz reflejada y de cómo nuestro cerebro la procesa. Esta afectado por el objeto, el área, fondo, superficie, brillo y temperatura. Se lo define entonces como una respuesta mental al estímulo que una radiación luminosa visible produce en la retina.

En las frutas y vegetales el color se debe principalmente a tres familias de pigmentos: clorofilas, carotenoides y antocianinas, que son los responsables de la coloración verde, amarillo-roja, azul-violeta respectivamente (Badui, 2006).

El primer acercamiento del consumidor al alimento es por su color, ya que lo relaciona con la aceptación o rechazo. En algunos alimentos el color es el resultado conjunto de sus características físicas y sus compuestos pigmentantes. A simple vista se puede hacer una evaluación de un color, pero la percepción en cada persona es diferente (Palacios-Rojas, 2018) por ello existen diferentes métodos de determinación de color.



### **3.19 Aceite**

Los lípidos son considerados macronutrientes necesarios en el suministro de energía, además, proporcionan ácidos grasos esenciales (vitaminas, hormonas, pigmentos, entre otros) y facilitan la absorción de vitaminas liposolubles. También intervienen en varias funciones del organismo, cumpliendo alguna actividad biológica o como parte estructural de membranas celulares y de sistemas de transporte de diversos nutrimentos. Por lo anterior, es importante conocer el porcentaje de grasa que contienen los alimentos y entre ellos los granos de maíz. La extracción con solventes es utilizada para aislar materia soluble de diferentes materiales como cereales, comida, forrajes, suelo, entre otros.

### **3.20 Nixtamalización**

La nixtamalización es un proceso térmico que requiere de una combinación de temperatura y tiempo para lograr los cambios adecuados en los granos de maíz para su uso en la elaboración de alimentos (Méndez-Montealvo *et al.*, 2008).

El tiempo de cocción es un factor crítico durante la nixtamalización y es variable porque este tiempo se determina con base en la experiencia (Milán-Carrillo *et al.*, 2002), y se determina de manera empírica mediante variables cualitativas como el desprendimiento del pericarpio con los dedos (Cornejo-Villegas *et al.*, 2008).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Ubicación del experimento

La investigación se llevó a cabo en el campo experimental del Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Roque, ubicado en km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas; coordenadas  $20^{\circ} 34' 54.24''$  de latitud Norte y  $100^{\circ} 49' 35.34''$  de latitud Oeste, con una altitud de 1767 msnm (INEGI, 2012).

En la región de Celaya, el clima que predomina es semi-cálido, sub-húmedo BS, C (Wo) con temperatura media que oscila de los 14 a 22 °C y precipitación pluvial que varían de 600 hasta 1,000 mm anuales. Los suelos predominantes en la región son Vertisol Pélico y Vertisol Crómico, siendo más predominantes los primeros. Son de textura arcillosa, planos de reacción ligeramente alcalina, sumamente fértiles y aptos para una gran variedad de cultivos.

El experimento se llevó a cabo en dos etapas. La primera que se basa en actividades de campo y postcosecha y la segunda etapa que consiste en la evaluación de análisis fisicoquímico de los criollos evaluados.



Figura 6. Ubicación del experimento.

#### 4.2 Material genético

En la (Tabla 4) y (figura 7) se presentan los ocho genotipos de maíces usados en esta investigación, proporcionados por el Dr. J. Guadalupe Gracia Rodríguez, docente del departamento de Agronomía del Instituto Tecnológico de México, Campus Roque.

**Tabla 5. Material genético utilizado en el ciclo PV-2018**

(P-V)2018	Color
1 Único	Azul
2 Rojo	Rojo brillante
3 Espiral	Azul
4 Enano	purpura
5 Dragón	Azul pálido
6 Cerrado	Azul oscuro
7 Biforme	Azul oscuro
8 Pozo	Rosa pálido



**Figura 7. Material genético: (1 Único), (2 Rojo), (3 Espiral), (4 Enano), (5 Dragón), (6 cerrado), (7 Biformal), (8 Pozo).**

### 4.3 Manejo agronómico

**4.3.1 Barbecho:** es la etapa en que el suelo permanece improductivo, entre un cultivo establecido en el ciclo anterior y el siguiente cultivo por establecer. Básicamente, la función del barbecho es para acumular agua en el perfil, lo que permitirá emerger y crecer al cultivo siguiente en sus primeras etapas. Incrementa la disponibilidad de nitratos en el suelo. Puesto que el objetivo del barbecho es acumular nitratos y agua para el cultivo siguiente, el resultado será mayor cuanto más libre de malezas permanezca el suelo en esta etapa. El barbecho se realizó de 25 a 30 cm, de profundidad; se ejecutó un solo barbecho en abril de 2018.

**4.3.2 Cruza:** esta actividad sirve para el mejoramiento de la cama de preparación del suelo, su objetivo esencial es eliminar y desmenuzar los terrones para obtener mayor porcentaje de germinación, y no entorpecer el desarrollo inicial de la plántula, que permita dar los mejores rendimientos en la producción; esta se realizó en abril de 2018.

**4.3.3 Rastra:** para lograr una siembra adecuada y uniforme se necesita preparar una buena cama de siembra de por lo menos 10 cm de tierra, esto se logra con uno o dos pasos de rastra, procurando que los discos de la rastra penetren como mínimo 12 cm de profundidad. El rastreo además de preparar la cama de siembra, ayuda a eliminar la primera generación de maleza; la rastra se realizó en abril de 2018.

**4.3.4 Surcado:** el surcado es una práctica agronómica, que se realiza con la finalidad de realizar una adecuada siembra, se realizó a una distancia de 80 cm entre surco. El surcado se llevó a cabo el día 18 de mayo.

#### 4.4 Labores culturales

Con la finalidad de tener un buen desarrollo de las plantas, es recomendable realizar las siguientes labores posteriores a la nacencia del cultivo: fertilización, escardas, control de maleza, control de plagas y enfermedades.

**4.4.1 Siembra y diseño experimental:** La siembra se realizó de forma manual, el día 25 de mayo de 2018 (Tabla 4); se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se sembraron cuatro surcos por genotipo colocando una semilla por golpe a una profundidad de 7 a 10 cm. Cada surco consistió de 5 m de longitud y 0.75 m de separación entre cada surco, teniendo un área la parcela de 15 m<sup>2</sup>.



**Figura 8. Siembra manual**

**Tabla 6. Distribución al azar de los criollos evaluados en Roque, Celaya, Gto., en 2018**

REP I	unico	Dragon	Pozo	Rojo	Cerrado	Espiral	Enano	Biformal
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
REP II	Biformal	Espiral	Dragon	Unico	Pozo	Rojo	Dragon	Cerrado
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
REP	Cerrado	Unico	Enano	Rojo	Pozo	Biformal	Dragon	Espiral
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**4.4.2 Riegos:** El maíz es un cultivo que exige agua de al menos 5 mm al día. Las necesidades hídricas varían de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua, pero sí mantener una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración. Se realizó los días 29 de mayo y 14 de junio.



**Figura 9. Riego por rodado.**

**4.4.3 Fertilización:** La fertilización se aplicó directamente al suelo alrededor de la planta cuando la planta ya tenía 15 días de emergencia. Se llevó de forma manual el día 8 de junio de 2018. Y la segunda fertilización fue el día 28 de junio, la fórmula de fertilización fue de 240-40-00 (N, P, K); dosis recomendada por el INIFAP, 2017.



**Figura 10. Fertilización manual granulada después de la emergencia.**

**4.4.4 Deshierbe:** en los primeros cuarenta y cinco días de desarrollo del cultivo debe evitarse la competencia de la maleza. El control de malezas se realizó en forma manual 10 a 15 días después de la siembra; en forma química se hizo una aplicación empleando herbicida para hoja ancha

#### **4.4.5 Cosecha**

Se realizó el día 26 de octubre de forma manual, identificando cada genotipo en cada costal.



**Figura 11. Cosecha de cada genotipo y expuesta al aire libre para eliminar un poco de humedad.**

#### **4.5 Las variables que se registraron fueron:**

##### **4.5.1 Longitud de mazorca**

Se seleccionaron al azar seis mazorcas por genotipo, su cuantificación fue en centímetros y se midió desde la base de la mazorca hasta el ápice de la misma.

##### **4.5.2 Peso de mazorca**

Se tomó el peso de seis mazorcas tomadas al azar, como muestra representativa por cada genotipo, cuantificado en gramos.



#### **4.5.3 Diámetro de mazorca (Diam)**

Se eligieron al azar seis mazorcas y con ayuda de un vernier se determinó su valor que fue cuantificado en centímetros y se tomó la medida de la variable a un tercio de la base de la mazorca (cm).

#### **4.5.4 Numero de hileras por mazorca (NHil)**

El valor se determinó contando el número de hileras por cada mazorca de las seis que se eligieron al azar, provenientes de plantas con competencia completa.

#### **4.5.4 Peso de 1000 granos**

Se pesó cada genotipo, el dato se reportó en gramos con cuatro repeticiones 100 semillas de cada subpoblación con una balanza de precisión. Según la ISTA, 1993 se deben realizar los cálculos de acuerdo a la siguiente formula.

### **4.6 Análisis fisicoquímicos**

#### **4.6.1 Punción fuerza**

Se determinó utilizando un texturometro. Se seleccionaron 10 granos por cada genotipo, se colocaron uno a uno los granos sobre la placa para ser sometidos a una fuerza de penetración mediante un punzón, que a su vez envió a la base de datos de un ordenador/analizador de textura universal Ta-XT2 los resultados de cada muestra. La velocidad en que el texturometro realizo la prueba fue de 2mm/s y 2 mm de penetración, es decir la fuerza requerida para la ruptura del grano y esta a su vez se registró en kilogramos.

Un método utilizado habitualmente en control de calidad es el análisis sensorial descriptivo Spectrum (Muñoz y Civille, 1992; Stone, 1992). Las propiedades fisicoquímicas del grano influyen durante el proceso de producción, así como en el producto terminado. Algunas de las variables importantes consideradas como índices de calidad son: tamaño, color, forma, pruebas de densidad (peso hectolítrico), peso de

mil granos, porcentaje de humedad, determinación pH, acidez titulable, índice de refracción, tinción de almidón y °Brix (Serna-Saldívar, 1996).

El material empleado para esta prueba fue el texturometro manual TA-XT2i, aguja y las muestras de granos de maíz.



**Figura 12. Análisis de textura en equipo Texturometro manual TA-XT2i.**

#### **4.6.2 Peso hectolítrico**

El material empleado para esta prueba debe estar libre de impurezas. Se coloca la semilla en el embudo, se abre la compuerta de salida para que la semilla caiga en el tazón de 1 litro, con un rizador de madera se elimina el exceso de grano del recipiente

con movimientos en zig-zag. El sobrante pasara por la charola rebosadora para caer en el deposito triangular de plástico.

Se levanta el tazón y se coloca en la balanza mecánica con lector graduado y se toma lectura del peso en  $\text{Kg L}^{-1}$ .

Se realizó la clasificación de dureza según el peso hectolítrico, de acuerdo a la Tabla 5.



**Figura 13. Balanza para tomar el peso hectolítrico.**

**Tabla 7. Clasificación de dureza según peso hectolítrico.**

<b>PESO HECTOLITRICO</b>	<b>DUREZA</b>
<b>78</b>	<b>Duro</b>
<b>74-75</b>	<b>Intermedio</b>
<b>73</b>	<b>Suave</b>

### 4.6.3 Índice de flotación

Para el índice de flotación se colocó agua purificada en el recipiente hasta 580 ml, posteriormente se pesa 670 g de azúcar refinada y se agrega al agua en forma de lluvia y de manera lenta, agitando constantemente con una cucharada de plástico para lograr que se disuelva.

Una vez disuelta el azúcar, el volumen total de la solución será exactamente de 1 L.

Para realizar la determinación del índice de flotación:

Se seleccionan 100 granos sanos de cada muestra de los cuales se registra el peso. (Peso de cien granos). Se adicionaron 500 mL de la solución de azúcar en un recipiente transparente de 1 L.

Se vierten los 100 granos en la solución y se agita tres veces a la derecha y tres a la izquierda con ayuda de una cuchara o espátula. Dejar reposar durante 30 segundos para que los granos floten o se vayan al fondo.

Posteriormente se retiraron los granos flotantes con una cuchara, depositarlos en un colador y cuantificarlos. Determinar la dureza de la muestra de acuerdo a la Tabla 6 (CIMMYT, 2016).

**Tabla 8. Clasificación del grano de maíz por su dureza.**

Granos flotantes	Dureza
0-12	Muy duro
13-37	Duro
38-62	Intermedio
63-87	Suave
88-100	Muy suave



**Figura 14. Método de tomar el Índice de flotación.**

#### **4.6.4 Humedad (HUM)**

Es de suma importancia determinar humedad de grano, ya que un valor de 13.5 y 14.0% no puede ser almacenado en buenas condiciones.

La determinación de humedad de grano se utilizó el método de termo balanza. Esta trabaja según el principio termogravimétrico, es decir el contenido de humedad se basa en la pérdida de peso mediante el calentamiento. Al inicio de la medición el analizador de humedad determinó el peso de la muestra, luego la muestra se calienta rápidamente con la unidad de calentamiento halógeno integrado y la humedad se evapora. Durante la desecación, el equipo calcula continuamente el peso de la muestra y visualiza la pérdida de humedad. Una vez concluida la desecación el resultado final es el contenido de humedad o materia seca de la muestra.

Se requiere de tres a cinco gramos de muestra. Se abrió la unidad de calentamiento para colocar el porta muestras vacío y se cierra la unidad de calentamiento (Figura 14). Se tara y nuevamente se abre la unidad para colocar cinco gramos de muestra y cerrando nuevamente la unidad para esperar a que se enviara la señal acústica que va de entre 2 a 5 minutos según la literatura, aunque en este caso la termobalanza utilizada registro de 5 a 17 minutos. El % de humedad se registra automáticamente. Se retiró la muestra y se limpió el plato de aluminio. Se esperó un poco a que la temperatura disminuya al menos a 50 °C antes de analizar otra muestra.



**Figura 15. a) Termo balanza con la muestra húmeda, b) Charola con la muestra en seco.**

#### **4.6.5 Grados Brix**

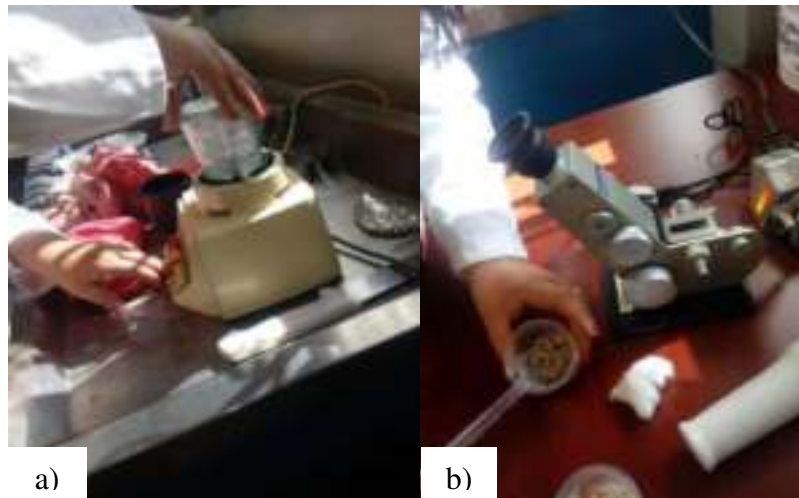
Para hacer la determinación de grados brix se utilizó la norma NMX-F-103-1982. Se colocó el refractómetro en una posición tal que difundiera la luz natural o cualquier otra forma de luz artificial, que pueda utilizarse para iluminación. Se hizo circular agua a 293 K (20 °C) a través de los prismas. Se limpió cuidadosamente con alcohol y éter de petróleo el refractómetro antes de hacer la lectura (Figura 15,16).

Para cargar el refractómetro se abrió el doble prisma girando el tornillo correspondiente y colocó unas gotas de muestra sobre el prisma, se cerró y se ajustó adecuadamente.

Se verificó la exactitud del refractómetro con agua a 293 K (20 °C) a esta temperatura, el índice de refracción del agua es de 1.3 o bien se utiliza la placa de cuarzo que viene con el equipo, usando bromonaftaleno, al leer hacer las correcciones necesarias.

Mover el brazo giratorio del aparato hacia delante y hacia atrás hasta que el campo visual se divida en dos partes, una luminosa y otra oscura. La línea divisoria entre esas dos partes, se le conoce como "línea margen". Ajustar la línea margen y leer directamente el por ciento de sólidos en la escala Brix.

Para este análisis se utilizó un equipo conocido como refractómetro Atago NAR-1TSolid.



**Figura 16. a) Molienda de las semillas de maíz, b) Colocación de la muestra en la placa.**



**Figura 17. Muestras molidas.**

#### 4.6.6 Luminosidad L\* (Lum)

El color se midió usando el colorímetro Mini Scan XE plus (Hunter Lab, modelo 45/0-L), que descompone el color en tres variables: L\* que representa la luminosidad y cuyos valores van del 100, que corresponde al blanco, hasta cero para el negro; la escala a\* que registra valores positivos cuando están presentes los tonos rojos y adquiere valores negativos cuando registra tonos verdes. La variable b\* califica los colores amarillos (+) a azul (-). Con las variables a\* y b\* se calculó el ángulo del tono hue o tinte ( $\text{hue} = \arctan a/b$ ), que es un valor angular, el cual indica el cuadrante correspondiente al color de la muestra en un sistema cartesiano, donde el eje X corresponde a los valores de a y el eje Y a los de b, donde  $0^\circ$  = color rojo-púrpura;  $90^\circ$ =amarillo;  $180^\circ$ =verde; y  $270^\circ$ =azul (Mc Guire, 1992).

Encendido el equipo se realizó la calibración, se colocó el azulejo negro sin dejar espacio para que no entrara luz, después el azulejo blanco.

Enseguida se colocó la muestra en un recipiente para muestreo y se colocó la lámpara sobre la muestra y se presionó el botón de lectura, se procedió a realizar tres repeticiones de cada muestra.



Figura 18. Toma de lectura de color, Colorímetro Mini Scan XE Plus Hunter Lab.

#### 4.6.7 Aceite



Para la extracción de grasa se utilizó la norma NMX-F-089-S-1978 emitida el 7 de abril de 1961 publicada en el diario oficial de la federación y la metodología de Palacios-Rojas, (2018).

#### Procedimiento

Se elaboraron cartuchos y se identificaron de acuerdo a las muestras, se procedió a vaciar 2.0 g de la muestra y se cerró el cartucho. Posteriormente el cartucho se colocó en la trampa soxhlet.

En la parte inferior se ajustó un matraz con cuerpos de ebullición (llevados previamente a peso constante por calentamiento a 100 – 110 °C) y se colocó el refrigerante.

Se añadió hexano por el extremo superior del refrigerante en cantidad suficiente para tener dos o tres descargas del extractor (alrededor de 80 ml).

Se hizo circular el agua por el refrigerante y se calentó hasta que se obtuvo una frecuencia de unas dos gotas por segundo.

Se efectuó la extracción durante cuatro a seis horas. Se suspendió el calentamiento, para quitar el extractor del matraz y se dejó caer una gota de hexano del extractor a un papel, (si al evaporarse el hexano se observa una mancha de grasa, se ajusta el Soxhlet de nuevo al matraz) y se continuó con la extracción.

Se evaporó suavemente el éter del matraz y se puso a secar a 100 °C hasta peso constante.



**Figura 19. Extracción de Aceite en equipo Soxhlet.**

#### **4.6.8 Antocianinas (AT)**

Para la cuantificación de antocianinas totales el método utilizado se basó en el protocolo descrito por Abdel-Aaal (2006), se procedió a moler el grano de cada muestra. Y se prepararon los reactivos: etanol acidificado en un volumen total de 100ml (85 ml etanol absoluto y 15 ml de HCl)

Se pesaron 0.05 g de harina seca y se adicionaron 24 ml de etanol. Después se procedió a agitar en vortex (Scientific Industries, Genie-2, New York, USA) durante 30 minutos.

Se midió el pH al extracto directamente en el tubo a 1 aproximadamente.

Las muestras se centrifugaron a 5000 rpm durante 15 minutos. Y Se decantó el sobrenadante en un matraz de 50 ml. Se aforo con etanol acidificado (a 25 ml por ahorro de reactivo), se agitaron los matraces en vortex y se llevó a lectura en espectrofotómetro a 535 nm.



**Figura 20. Extracción de antocianinas totales.**

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### VARIABLES AGRONÓMICAS

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.01$ ) para la fuente de variación Genotipos (Tabla 7) en Longitud de mazorca (LongMz), Numero de hilera (NHil), Grano por hilera (GHil), Peso de olote (Pol) y Diámetro de Olote (Dolt). Por otro lado, se puede apreciar que existe diferencia estadística significativa al ( $p \leq 0.05$ ) en Peso de mazorca (PMz). Las variables DiamMz y Peso de 100 granos no fueron significativos. Los coeficientes de variación fluctuaron desde 5.20 hasta 18.53 %, considerados como aceptables indicando que los resultados presentaron una confiabilidad de 82 a 95%.

**Tabla 9. Análisis de varianza de las variables agronómicas en ocho criollos pigmentados en el Instituto Tecnológico de Roque del ciclo (P-V 2018).**

Fuente	Gl	LonMz (cm)	PMz (g)	DiamMaz (cm)	NHil	GHil	Pol (g)	Diám Olot (cm)	P100 G (g)
Repetición	2	5.42	1927.38	3.47	2.16	2.54	4.40	0.64	335982.33
Genotipo	7	34.51**	2002.28*	2.39ns	20.54**	105.9**	163.67**	1.76**	370080.91ns
Error	14	2.82	669.16	1.66	2.54	7.49	6.78	0.21	354044.78
Total	23								
CV %		10.07	16.97	8.21	11.75	9.22	14.28	5.20	18.53

\*,\*\* =significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01 respectivamente, ns= no significativo. Longitud de Mazorca (LonMz), Peso de mazorca (PMz), Diámetro de mazorca (DiamMz), Numero de hilera (NHil), Grano por hilera (GHil), Peso de olote (Pol), Diámetro de Olote (Dolt), y Peso de 100 granos (P100G).

La prueba de comparación de medias (Tukey  $\alpha = 0.05$ ) de los ocho criollos pigmentados se muestran en la (Tabla 7). En Longitud de mazorca (LongMz) se obtuvieron 4 grupos estadísticos, los genotipos 2, 6 y 8 que corresponden a Rojo Cerrado y Pozo, fueron

los que tuvieron mazorcas con mayor longitud (aproximadamente 20 cms). Los que tuvieron una longitud intermedia fueron: 1, 4 y 5 con un promedio de 16.57 cm. Los genotipos con mazorcas de longitud más pequeña, fueron 3 y 7 (Espiral y Biformal) con un valor promedio de 12.67 cm

Estos resultados concuerdan con los rangos máximos y mínimos para las características cualitativas y cuantitativas de maíz y teocintle, establecidas por Sánchez *et al.* (1998), en donde el rango máximo fue de 6.14 a 30.5 cm de longitud de mazorca. Por otro lado, Ángeles-Gaspar *et al.* (2010) reportaron que la mayor longitud de mazorcas en maíces pigmentados fue de 13.6 cm, dato que concuerda con los resultados de longitud de mazorca de esta investigación.

Para la variable peso de mazorca (PMZ) se encontraron 4 grupos estadísticos siendo el genotipo 8 (Pozo) el más sobresaliente con un promedio de 188 g. El genotipo 6 (Cerrado) y 1 (Único) obtuvieron en promedio 177.24 y 168.67 g, respectivamente. Sin embargo, en valores intermedios los genotipos; 3 (Espiral), 2 (Rojo) y 5 (Dragón) obtuvieron un valor promedio de 156.67, 150.11 y 141.71 g. El grupo que se presentó con valores más pequeños son el genotipo 4 (Enano) y 7 (Biformal) con un promedio de 124 y 112.67 g, respectivamente. Resultados similares son los de Quispe-Jacobo *et al.* (2011), en características morfológicas y químicas de tres cultivares de maíz morado, donde al realizar la evaluación morfológica de la mazorca, los resultados del peso de mazorca fueron valores de 90 a 140 gr.

En la variable Diámetro de mazorca (DiamMz), se obtuvieron tres grupos siendo el genotipo 3 (Espiral), quien presento el mayor valor (17.09 cm), seguido de 1, 4, 5, 7 y 8 (Único 16.33, Enano 15.80, Dragón 15.83, Biformal 15.80 y Pozo 15.83), sin embargo, los genotipos 2 y 6 (Rojo y Cerrado) obtuvieron 14.63 y 14.26, respectivamente.

Para número de hileras se formaron 5 grupos estadísticos, de los cuales los genotipos 3 y 4 fueron los que obtuvieron en promedio mayor número de hileras con 16.66, seguido de 1, 2 y 5 (Único, Rojo y Dragón) quienes obtuvieron en promedio 14 hileras, sin embargo, los genotipos 6, 7 y 8 (Cerrado, Biformal y Pozo) presentaron en promedio los valores más bajos entre 9, 10 y 12 hileras. Estos resultados concuerdan con Ángeles *et al.* (2010), donde sus valores con menor número de hileras fueron de 11 hileras por mazorca.

Para granos por hilera (Ghil) se encontraron 4 grupos. (Tabla 7). El primer grupo estuvo integrado por 2, 6 y 8 (Rojo, Cerrado, Pozo) con un promedio de 37, 36 y 34 granos por hilera. El grupo intermedio está conformado por el genotipo 1 y 3 (Único y Espiral) con 29 y 28 granos por hileras, y el último grupo lo integra 4, 5 y 7 (Enano, Dragón y Biformal) con 24, 22 y 24, respectivamente. Estos resultados coinciden con la investigación de Rodríguez *et al.* (2012) y Arellano *et al.* (2014) quienes en su investigación: Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor, el número de granos por hilera en sus resultados va de 25 y 30 en maíz criollo y 28 granos por hileras en un híbrido.

En la variable peso de olote (Polt) se obtuvieron 5 grupos estadísticos, siendo los genotipos 8, 2, y 4 (Pozo, Rojo, Enano), de mayor promedio teniendo valores de 34.71, 20.53, 19.09 g respectivamente. Mientras que los genotipos con valores intermedios son: 6 y 5 (Cerrado y Dragón) con valores de 18.23 y 15.33, genotipos con valores más bajos: 1, 7 y 3 (Único, Biformal, Espiral). Gonzales *et al.* (2008) en su investigación, diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el valle Toluca-Atzacomulco, México, encontraron valores de peso de olote que oscilan de entre 18.17 a 21.53 g, estos valores coinciden con los resultados obtenidos para dicha variable en esta investigación.

En diámetro de olote (Dolt) se encontraron 4 grupos. En el grupo de valores altos se encuentran los genotipos 2, 6 y 8 (Rojo, Cerrado y Pozo), 9.23, 9.66 y 10. El grupo con valores intermedios lo conforman los genotipos 1 y 5 (Único y Dragón) con un valor promedio de 8.53 y 8.66 respectivamente. El grupo con genotipos con promedios más bajos, está representado por los genotipos 3, 4 y 7 que corresponden a Espiral, Enano y Biformal con valores de 8.36, 8.30 y 7.70, respectivamente.

Para la variable peso de Mil granos (P1000G) se obtuvieron dos grupos estadísticos, los genotipos con valores más altos son: 1, 7 y 8 (Único, Biformal y Pozo) con valores promedio de 416.3, 598.6 y 537.9. Los genotipos con valores intermedios son 2, 5 y 6 (Rojo, Dragón y Cerrado) 294.8, 278.1 y 365.2. En los promedios más bajos se encuentran los genotipos 3 y 4 (Espiral y Enano) con valores promedio de 254.2 y 258.3, respectivamente. Al respecto Rendon-Aguilar *et al.* (2015) en un estudio de diversidad de razas de maíz en la sierra Sur de Oaxaca, México, reportan para peso de 1000 granos valores que oscilan de 109 a 440 g.

Resultados contrastantes son los de la investigación de Andrio-Enriques *et al.*(2015) Aptitud combinatoria y efectos maternos en razas de maíz mexicanas por el modelo I de Griffing, donde sus resultados de P1000G rondan de 7588,65 hasta 5283,00 g.

**Tabla 10. Análisis de varianza de variables agronómicas en ocho criollos pigmentados en el Instituto Tecnológico de Roque del ciclo (P-V 2018).**

Gen	LongMz (cm)	PMaz (gr)	DiamMaz (cm)	NumHil	Granhil	POlt (gr)	DiámOlt (cm)	P1000G (gr)
Único	16.56 b	168.67abc	16.33 ab	14.00 ab	29.33 b	13.77 de	8.53 bc	416.3 ab
Rojo	20.33 a	150.11 abcd	14.63 b	14.00 ab	37.33 a	20.53 b	9.23 ab	294.8 ab
Espiral	13.43 cd	156.67 abcd	17.09 a	16.66 a	28.66 bc	11.53 e	8.36 cd	254.2 b
Enano	14.83 bcd	124 cd	15.80 ab	16.66 a	24.00 cd	19.09 bc	8.30 cd	258.3 ab
Dragón	16.19 bc	141.71 bcd	15.83 ab	14.66 ab	22.66 d	15.33 cde	8.66 bc	278.1 ab
Cerrado	20.93 a	177.24 ab	14.26 b	10.66 cd	36.66 a	18.23 bcd	9.66 a	365.2 ab
Biformal	11.90 d	112.67 d	15.80 ab	12.66 bc	24.00 cd	12.66 e	7.70 d	598.6 a
Pozo	20.16 a	188.00 a	15.83 ab	9.33 d	34.66 a	34.71 a	10.00 a	537.9 ab
DMS(0.05)	2.94	45.30	2.25	2.79	4.79	4.56	0.8	10.42

El análisis de varianza reveló que hay diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre genotipos criollos y sus variables, esto significa que existe diferencias estadísticas entre genotipos y altos niveles la existencia de diversidad genética en las variedades evaluadas y su diferencia en el potencial productivo. Estas diferencias de las variables encontradas en genotipos se atribuyen al origen del material y a su constitución genética.

### Variabes fisicoquímicas

Los resultados de las variables fisicoquímicas, Punción fuerza (punción Fza), Peso hectolítrico (Phec), Índice de flotación (ÍndFlot), Humedad (Hum), Grados brix (Gbx), Luminosidad (L\*), Aceite y Antocianinas, se pueden observar en la Tabla 9 en donde las variables puncion fza, phec, Ind flot, Hum, Gbx, L\*, aceite y antocianinas presentan diferencias altamente significativas ( $P \geq 0.01$ ). Los porcentajes de coeficiente de variación fueron bajos, debido a las condiciones del manejo de las muestras. Se presentó una amplia uniformidad en la evaluación de las variables realizadas.

**Tabla 11. Análisis de varianza de las variables fisicoquímicas en 8 criollos pigmentados en el Instituto Tecnológico de Roque del ciclo (P-V 2018).**

Genotipo	Gl	PunFza gr	PHec Kg/hL	ÍndFlot Kg/L	Hum %	GBx	Lum L*	Aceite %	AT mg
Repetición	2	493100.6	0.06	0.54	0.01	0.07	207.40	0.00	275.47
Genotipo	7	30876538.7**	52.25**	19.47**	4.60**	1.20 **	640.28**	89.99**	442097.55**
Error	14	3479404.4	0.08	0.25	0.01	0.24	52.13	4.95	161.56
Total	23								
CV %		12.73	0.43	0.52	0.85	8.59	14.44	16.66	2.92



\*,\*\* =significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01 respectivamente, ns= no significativo estadísticamente  
 Puncion fuerza, peso hectolitrico (Phec), índice de flotación (IndFlot), Humedad (Hum), Grados brix (Gbx), luminosidad (L\*), Aceite y antocianinas.

La prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) de los 8 genotipos criollos pigmentados se muestran en el Tabla 9, donde la variable punción fuerza se obtuvo dos grupos de los cuales los genotipos Dragón, Rojo, y Cerrado conforman el grupo a formando un 53 % del grupo total en evaluación, teniendo un promedio de 12,706 gFza. Y el segundo grupo lo conforman los genotipos, Pozo, Biformal, Único, Espiral y Enano los cuales conforman el 47% del grupo total con un promedio de 6770.6 gramos fuerza.

Para punción fuerza se encontraron dos grupos estadísticos que se pueden observar en el Tabla 10. Genotipos que conforman el primer grupo: 2, 5 y 6 (Rojo, Dragón y Cerrado) siendo estos los de mayor dureza. El segundo grupo lo conforman el resto de los genotipos, siendo; 1, 3, 4, 7 y 8 (Único, Espiral, Enano, Biformal y Pozo), es decir son de menor dureza. Esto de acuerdo a la Norma de calidad para maíz nixtamalizados (NMX-FF-034/1-2002), donde a menor fuerza más suave es el grano, así mismo la norma define que el Maíz suave (harinoso): Es un grano con porción interna (endospermo) de aspecto predominantemente almidonoso y opaco, que presenta una hendidura en la parte superior; el endospermo harinoso constituye aproximadamente el 35 % en base seca del grano.

En Peso Hectolitrico (Phec) se obtuvieron 6 grupos estadísticos, (Tabla 10) genotipos que representan al primer grupo: 6, 7 y 8 que corresponden a Cerrado, Biforme y Pozo con un promedio de 72.69, 72.36 y 71.71, respectivamente. El grupo con valores intermedios lo conforman los genotipos: 8, 2 y 5 (Pozo, Rojo y Dragón) y finalmente el grupo con valores más bajos pertenece a los genotipos 1, 3 y 4 (Único, Espiral y Enano) con valores de 66.44, 63.25 y 61.56 kg en un litro. Estos valores concuerdan con los valores de Bello-Pérez *et al.* (2016) donde maíces azules van desde 71.2 a 75.6, en

maíces azul/morado de 75.1 a 80.7. A su vez estos resultados se relacionan con la clasificación indicada y exigida en la norma mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002.

**Clasificación**

>75 = duro  
74-75  
Intermedio  
<74 = suave

los granos más densos tienen menos probabilidad de ser dañados por insectos y mejores posibilidades de soportar el manejo durante el almacenamiento y comercialización (Palacio-Rojas, 2018).

En índice de flotación (IndFlot) se obtuvieron 4 grupos estadísticos, representados en el Tabla 10. En el grupo con valores más altos se encuentran los genotipos: 3, 4 y 8 (Espiral, Enano y Pozo) con valores de 98.66, 98.66 y 98.66, respectivamente. Los genotipos con valores intermedios son: 5 y 7 que corresponden a Dragón y Biformal, con valores de 95.33 y 97.66 respectivamente y finalmente, el grupo con valores más bajos: genotipos 1, 2 y 6 (Único, Rojo y Cerrado) con valores promedio de 94.66, 92.66 y 92.66, lo cual indica que los maíces son de endospermo muy suave ya que presentan alto índice de flotación. Estos resultados concuerdan con García *et al.* (2016), quien en su investigación resalta que el maíz criollo correspondió a maíces de endospermo suave.

De acuerdo con Salinas *et al.* (2010) y Cirilo *et al.* (2003), el índice de flotación está relacionado con la dureza del endospermo que corresponde a su vez al tipo y cantidad de almidón. Esta característica determina la calidad del maíz para su industrialización en masa y tortilla, de la dureza del endospermo depende el tiempo de cocción durante el nixtamalizado además de participar en la textura, volumen y consistencia (Narváez *et al.*, 2007). La densidad del grano está relacionada con su dureza, susceptibilidad del grano a la ruptura, y velocidad de secado (Chang, 1988).

De acuerdo con Vázquez *et al.* (2010) en su investigación determinaron que las variables peso hectolítrico, peso de 100 granos e índice de flotación presentan diferencias altamente significativas y que así mismo estas variables son de gran importancia para determinar la calidad del grano de maíces criollos

En humedad, el grupo con valores promedios más altos pertenecen los genotipos: 8, 7, 6 y 1 que corresponde a (Pozo, Biformal, Cerrado y Único) siendo valores de, 15.02, 14.62, 14.06 y 14.02% de humedad. El grupo con valores intermedios pertenece a los genotipos: 4 y 1 (Enano y Único) con un valor promedio de 14.02 y 13.15, y finalmente el grupo con valores estadísticos más bajos se encuentran el genotipo 5, 2 y 3 (Dragón Rojo y Espiral) con un promedio de 12.25, 11.99 y 11.84% de humedad. Siendo estos últimos valores los que concuerdan con Bello *et al.* (2016) quien en su investigación de Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas, propone que en maíz azul va de 7.9 a 9.8% y en maíz morado de 10 a 11.6%

Para la variable Grados brix encontramos a los genotipos con mayor promedio: 1, 2 y 3 (Único, Rojo y Espiral) con los siguientes valores: 6.23, 6.10 y 5.93, respectivamente. Genotipos con valores intermedios encontramos a 7 y 8 (Biformal y Pozo) con valores promedio 5.80 y 5.90. y finalmente los genotipos con promedios más bajos son: 4, 5 y 6 (Enano, Dragón y Cerrado) con los siguientes valores 4.20, 5.76 y 5.76. Estos resultados coinciden con los de Ortiz *et al.* (2013), donde para consumo de elotes son valores buenos, pero a paso del tiempo va disminuyendo el nivel de °Brix.

En luminosidad (L\*) se obtuvieron dos grupos estadísticos (Tabla 10 Los genotipos con valores más altos son: 1, 7, 8, (Único, Biformal, Pozo) y sus valores son 39.06, 39.81 y 38.20, respectivamente. Los genotipos de valores intermedios son 3, 5 y 6 (Espiral: 34.62; Dragón: 37.26 y Cerrado: 35.15) y por último los genotipos con promedios más bajos: 2 y 4 (Rojo y Enano) con los siguientes valores: 8.06 y 4.15. Estos resultados

son similares a los de Salinas *et al.* (2013) quienes evaluaron 61 colectas de maíz con grano azul/morado del estado de Oaxaca México.

Para la variable de aceite se obtuvieron dos grupos estadísticos, (Tabla 10) genotipos 1 y 2 (Único y Rojo) con promedios más altos 11.66 y 15.33 respectivamente. Los genotipos que representan los valores intermedios son: 3, 7 y 8 (Espiral, Biformal y Pozo) con los siguientes valores: 1.87, 1.88 y 1.87. Finalmente, los genotipos que conforman los promedios más bajos son 4, 5 y 6 (Enano, Dragón y Cerrado) con valores de 1.87, 1.85 y 1.80, respectivamente.

En el grano de maíz, el aceite se encuentra principalmente en el germen, y cuando su tamaño incrementa, también aumenta el contenido de aceite y mejora la calidad de la proteína debido a que está constituido principalmente por albuminas y globulinas con un balance adecuado de aminoácidos (Lambert *et al.*, 1998).

Los resultados de esta investigación concuerdan con Guzmán-Maldonado *et al.* (2015) quienes en sus resultados demostraron que maíz rojo y maíz de color negro presentaron mayor contenido de aceite de 14.9 y 14.0, respectivamente.

En la variable antocianinas se obtuvieron 7 grupos (Tabla 10); el genotipo que conforma al grupo de mayores promedios es el genotipo 4 (Enano) 1331.69. En el grupo de valores intermedios se encuentran, genotipo 1, 3, 5 y 7 (Único, Espiral, Dragón y Biformal) siendo sus valores de: 420.00, 432.75, 405.55 y 377.23 mg respectivamente. Finalmente, el grupo con valores más bajos encontramos a los genotipos 2, 6 y 8 (Rojo, Cerrado y Pozo) siendo sus valores 108.76, 259.65 y 141.93, respectivamente.

Resultados similares a los de Mendoza *et al.* (2017) donde reportaron valores en antocianinas entre 85 a 1075 mg, estos valores fueron menores a los que se encontraron en esta investigación, lo cual indica que Rojo, Cerrado y Pozo tienden ser prospectos para seguir utilizándolos en futuras investigaciones

Por otra parte, Salinas (2012) encontró que en granos de maíz azul los valores van de 0.27 g hasta 0.90 g.

**Tabla 12. Comparación de medias (DMS) variables fisicoquímicas en 8 criollos pigmentados experimentales en el Instituto Tecnológico de Roque del ciclo (P-V 2018).**

<b>Genotipo</b>	<b>PunFza gr</b>	<b>PHect Kg/hL</b>	<b>ÍndFlot Kg/L</b>	<b>Hum %</b>	<b>GBrix</b>	<b>Lum L*</b>	<b>Aceite %</b>	<b>AT mg</b>
Único	6943 b	66.44 d	94.66 c	14.02 c	6.23 a	39.06 a	11.66 a	420.00 bc
Rojo	13036 a	68.86 c	92.66 d	11.99 f	6.10 a	8.06 b	15.33 a	108.76 g
Espiral	5978 b	61.56 f	98.66 a	11.84 f	5.93 a	34.62 a	1.87 b	432.75 b
Enano	5753 b	63.25 e	98.00 ab	13.15 d	4.20 b	4.15 b	1.87 b	1331.69 a
Dragón	13635 a	61.56 f	95.33 c	12.25 e	5.76 a	37.26 a	1.85 b	405.55 c
Cerrado	11447 a	72.69 a	92.66 d	14.62 b	5.76 a	35.15 a	1.80 b	259.65 e
Biformal	7142 b	72.36 a	97.66 b	14.06 c	6.80 a	39.81 a	1.88 b	377.23 d
Pozo	8037 b	71.71 b	98.66 a	15.02 a	5.90 a	38.20 a	1.87 b	141.93 f
	3266.6	0.51	0.88	0.20	0.85	12.64	3.89	22.25

DMS(0.05)

P-V: primavera verano 2018

## V. CONCLUSIONES

- ✓ Los genotipos con mayor longitud de mazorca fueron, Cerrado y Rojo.
- ✓ Los genotipos con mayor peso de mazorca fueron: Pozo, Cerrado y Único,
- ✓ Los valores de mayor diámetro de mazorca (DiamMz) se encontraron en los genotipos Espiral y Único.
- ✓ El mayor número de hileras (Nhil) se expresó en los genotipos Espiral, Enano, Dragón, Rojo y Único.
- ✓ Con respecto a peso de cien granos (P100G), los genotipos que más destacan son: Biformal, Pozo, Único y Cerrado.
- ✓ Los genotipos Cerrado, Biformal y Pozo presentaron valores altos para la variable peso hectolitrico (PHec).
- ✓ En cuanto al índice de flotación con valores más altos sobresalen los genotipos: Espiral, Pozo y enano.
- ✓ El mayor porcentaje de grados brix fue encontrado en el genotipo: Único, Rojo y Espiral
- ✓ Los genotipos con mayor porcentaje de antocianinas fueron: Enano, Espiral y Único.

## VI. LITERATURA CITADA

- Abdel-Aal E-S., Young C. y Rabalski I. 2006. Anthocyanin Composition in Black, Blue, Pink, Purple and Red Cereal Grains. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 54:4696-4704
- Agama-Acevedo, E., M. A. Otthenhof, I. A. Farhat, O. ParedesLópez, J. Ortíz-Cereceres, and L. A. Bello-Pérez. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia* 29:643-649.
- Agama-Acevedo, E., Y. Salinas-Moreno, G. Pacheco-Vargas y L. A. Bello-Pérez (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: morfología del almidón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2:317-329.
- Andrio-Enríquez Enrique, Cervantes-Ortiz Francisco, Rivera -Reyes J. Guadalupe, Guevara-Acevedo Luis Patricio, Rodriguez-Herrera Sergio A., Rodriguez-Perez Gilberto, Rangel-Lucio Jose Antonio, Mendoza-Elos Mariano.. (2015). Aptitud combinatoria y efectos maternos en razas de maiz mexicanas por el modelo I de Griffing. *Agrociencia* , 31(1), 5-14.
- Ángeles-Gaspar, Elizabeth, Ortiz-Torres, Enrique, López, Pedro A., y López-Romero, Gustavo. (2010). Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 287-296. Recuperado en 05 de agosto de (2019), de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802010000400006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000400006&lng=es&tlng=es)
- Antonio, M. M.; Arellano, V. J. L.; García- de los Santos, G.; Miranda, C. S.; Mejía, J. A. y González, C. F. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):9-15
- Arellano V. J., Rojas M. Israel, y Gutiérrez H., Germán F. (2014). Variedades de maíz azul Chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(8), 1469-1480. Recuperado en 06 de agosto de (2019), de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200709342014000800011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342014000800011&lng=es&tlng=es).

- Arellano, V. J. L.; Tut, C. C.; María, R. A.; Salinas, M. Y. y Tabeada, G. O. R. 2003. Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2): 101-107.
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. México. Pearson educación.
- Bello-Pérez, L. A., Camelo-Mendez, Gustavo A., Agama-Acevedo, Edith, y Utrilla-Coello, Rubí G. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8): 1041-1063.
- Brouillard R. (1982). Chemical structure of anthocyanins . In: *Anthocyanins as food colors*. P. Markakis (ed). Academic Press. New York. 1-38 pp.
- Brus H. S. B. and H R. Perales. (2007). A maize landscape: ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121:211–221.
- Caldwell M. M, Bornman J. F, Ballaré C. L, Flint S.D, Kulandaivelu G. (2003). Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation and interactions with other climatic change factors. *Photochemistry Photobiology Science* 6(3), 252-266.
- Casati P, X Zhang, A. L. Burlingame and V. Walbot. (2005). Analysis of leaf proteome after UV-B irradiation in maize lines differing in sensitivity. *Molecular & Cellular Proteomics* 4(11):1673-1685.
- Chang C. S. (1988). Measuring density and porosity of grain kernel using a gas pycnometer *Cereal*. 65: 13-15
- Chura, J. y Sevilla, R. 2002. Mejoramiento genético del maíz en el Perú. *Symposium: El mejoramiento genético de las plantas en el Perú*. Primera Edición. Sociedad Peruana de Genética. Lima, Perú. 189 pp.
- CIMMYT. (2016). Calidad de grano para técnicos postcosecha . Mayo 19, de Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo Sitio web: [http://conservacion.cimmyt.org/en/component/docman/doc\\_view/2022-calidad-de-grano-para-tecnicos-postcosecha](http://conservacion.cimmyt.org/en/component/docman/doc_view/2022-calidad-de-grano-para-tecnicos-postcosecha)
- CIMMYT. (2016). Calidad de grano para técnicos postcosecha. 1-52. Agosto 19, De <http://conservacion.cimmyt.org> Base de datos.



- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2016). Razas de maíz en México. <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas2012.html> (Mayo 2016).
- CONABIO. (2011). Razas de maíz de México. 31 diciembre 2018, de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Sitio web: <https://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas2012.html>
- Cordero, B. C.; Mariño, F. N.; Torres, C. K. (2018). Aceptación de la bebida de maíz morado (*Zea mays*, L.) y aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) en la comunidad universitaria de la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Lima Perú. p.1-118
- Cornejo-Villegas, M. A., A. I. Hernández-Samano, E. Gutiérrez-Córtes, A. Rojas-Molina, y M. E. Rodríguez-García. (2008). Establecimiento del tiempo de cocción de granos de maíz variedad QPM H368C con parámetros fisicoquímicos. In: Sánchez E., L. A., D. G. Espinoza A., y M. E. Rodríguez-García. Memorias del Tercer Congreso de Nixtamalización: Del Maíz a la Tortilla .Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. pp: 24-29.
- Coulter M. C. (1920). Inheritance of aleurone color in maize. *Bot. Gazette* 69:407-425.
- Craig Haaland. (2012). The Importance of Corn. 14/12/18, de Latham Hi-Tech Seeds Sitio web: <https://www.lathamseeds.com/2012/06/the-importance-of-corn/>
- Cui L, G Rongqi. D. Shuting. J. Zhang, L. Peng, H. Zhang, J. Meng, D. Shi. (2012). Effects of ear shading on the anthocyanin contents and quality of kernels in various genotypes of maize. *Aust. J. Crop Sci.* 4:704-710.
- De la Parra C. S, O. Serna and R Hai Liu (2008). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55:4177-4183.
- De La Rosa-Millán, J., E. Agama-Acevedo, A.R. Jiménez-Aparicio, and L.A. Bello-Pérez. 2010. Starch characterization of different blue maize varieties. *Starch-Starke* 62: 549-557.
- De Pascual-Teresa S, B. M. T. Sánchez. (2008). Anthocyanins: from plant to health. *Phytochem. Rev.* 7:281-299.

- De Pascual-Teresa S, C. Santos-Buelga, J. C. Rivas-Gonzalo (2002) LC-MS analysis of anthocyanins from purple corn cob. *J. Sci. Food Agric.* 82:1003-1006
- Dowswell, C.R., Paliwal, R.L. & Cantrell, R.P. 1996. *Maize in the third world*. Boulder, CO, USA, Westview Press.
- East E. M. (1912). Inheritance of color in the aleurone cells of maize. *Amer. Naturalist* 46:363-365. Tomado de Espinoza *et al.*, 2010
- Escribano-Bailón M. T, C. Santos-Buelga, J. C. Rivas-Gonzalo (2004) Anthocyanins in cereals. *J. Chromatogr.* 1054:129-141.
- Espinosa-Trujillo, E.; Castillo, G. Ma. del C y Castillo, G. F. 2006. Nota científica: diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(2):19-23.
- Espinoza E. T, M. C. C. Mendoza, F. C. González, J. O. Cereceres, A. D. Alvarado y A. C. Zalazar. (2009). Acumulación de antocianinas en el pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 32 (4): 303 – 309.
- Ferraris, G. y Couretot, L. 2004. Ensayo comparativo de híbridos comerciales de maíz en el área de Colón-Wheelwright, Argentina. *Maíz. Resultados de las Unidades Demostrativas. Desarrollo Rural INTA Pergamino. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN*, pp. 37-43.
- Figuroa C. Juan de D., Narvárez G. D. E., M. Sánchez, A. Taba, S. G. Martínez, M. Véles M., José J., Rincón S. F., y Aragón C. F. (2013). Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(Supl. 3-a), 305-314. Recuperado en 17 de julio de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802013000500007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000500007&lng=es&tlng=es).
- Ford R. H. (2000). Inheritance of kernel color in corn: explanations and investigations. *Amer. Biol. Teacher* 62:181-188.
- García Jiménez A y Vázquez Ch. L. (2016). Secado de maíz propiedades del grano . *IDC y TA*, 1 no. 2, 73-77.

- González-Huerta, A, Vázquez-García, L. M, Sahagún-Castellanos J. y Rodríguez-Pérez, J.E. (2008). Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el valle Toluca Atlacomulco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* v, 31: 67-76.
- Goodman, M. M. y R. McK. Bird. (1977). The races of maize IV: Tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany* 31:204-221 Tomado de [www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas2012.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/razas2012.html)
- Guerrero de G. G. (1998). Molienda seca del maíz en México. In: Primer Taller de Especialidades de Maíz. Secretaria de Desarrollo Rural, SAGARPA, México. Noviembre 26 y 27, Chápingo, México. 45-48 pp.
- Guzmán-Maldonado, Salvador H., Vázquez-Carrillo Ma. Gricelda, Aguirre-Gómez J. Alfonso, Serrano-Fujarte Isela. (2015). Contenido de ácidos grasos, compuestos fenólicos y calidad industrial de maíces nativos de Guanajuato. *Rev. fitotec. Mex.* [citado 2019 Ago 07]; 38(2):213-222. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802015000200012&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000200012&lng=es).
- Hernández X. E. (1985). Maize and man in the greater southwest. *Econ. Bot.* 39: 416-430.
- Hernandez X., E. y G. Alanis F. (1970). Estudio Morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5 (1): 3-30.
- Inglett, E. 1970. Kernel structure, composition and quality. In: Inglett, E. G. (ed). *Corn: Culture, Processing, Products*. The Avi publishing Co., Inc., USA. pp: 123-124.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Datos y Mapas 2012.
- ISTA. International Rules for Seed Testing Rules. *Seed Science & Technology*, 1993, 211-287. Suplement.
- Jing P. (2006). Purple corn anthocyanins: chemical structure, chemoprotective activity and structure/function relationships. Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy the Graduate School of The Ohio State University, USA. 287 p.
- Johannessen C. L, M. R. Wilson and W. A. Davenport. (1970). The domestication of maize: process or event?. *Geographical Review* 60 (3): 393-413.

- Johnson L. A. and J. B. May. (2003). Wet milling: the basis for corn biorefineries. *In: Corn: Chemistry and Technology*. P. J. White, L. A. Johnson (eds). American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp:449-494
- Kong J. M, L. S. Chia,, N. K. Goh, T. F. Chia, R. Brouillard (2003) Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 64:923-933.
- Kurilich A. C. and J. A. Juvik. (1999). Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *J. Agric. Food Chem.* 47:1948-1955.
- Lambert, R. J., D. E. Alexander, and Z. J. Han. (1998). A high oil pollinator enhancement of kernel oil and effects on grain yields of maize hybrids. *Agron. J.* 90: 211-215
- López-Martínez L X, H S García-Galindo (2009) Actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de distintas variedades de maíz mexicano. *Nova Scientia* 3,2:51-65.
- López-Martínez L. X, R. M. Oliart-Ros, G. Valerio-Alfaro, C-H Lee, K. L. Parkin, H. S. Garcia. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT-Food Sci. Technol.* 42:1187-1192.
- Loy D. D. and K. N. Wright (2003). Nutritional properties and feeding value of corn and its by-products. *In: Corn: Chemistry and Technology*. P J White, L A Johnson (eds). American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp:571-603.
- McGuire G. R. (1992). Reporting objective color measurements. *Hort. Sci.* (27):1254-1255.
- Méndez-Montevalvo, G., J. Solorza-Feria, M. Velázquez del Valle, N. Gómez-Montiel, O. Paredes-López, y L. A. Bello-Pérez. (2008). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia* 39: 267-274.
- Mendoza-Mendoza C. G, Mendoza-Castillo Ma. del C, Delgado-Alvarado A, Castillo-Gonzalez F,, Kato-Yamakake T. A y Cruz-Izquierdo S. (2017). Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(4): 471-479.
- Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Camacho-Hernández I. L, Rouzaud-Sandez O. (2002). Optimization of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L) into a useful product. *J. Sci. Food Agric.* 82: 1718-1728.

- Muñoz O. A. (2003). Centli-maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 210 pp.
- Narváz G., E. D., J. D. Figueroa C., S. Taba., E. Castaño T., R. A. Martínez P. (2007). Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 30, 3:269-277.
- Oing-Ping Hu and Jian-Guo Xu (2011). Profiles of Carotenoids, Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Activity of Selected Color Waxy Corn Grains during Maturation. *J. Agric. Food Chem.* 59 (5) 2026-2033 pp.
- Palacios-Rojas, N. (2018). Calidad nutricional e industrial de maíz "Evangalina Villegas" CDMX, México:CIMMYT
- Paliwal, R.L. 2001. El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y protección vegetal N° 28. Roma. 350 pp. 31952009000700003&lng=es&tlng=es.
- Quispe J. F, Arroyo C. K, y Gorriti G. A. (2011). Características morfológicas y químicas de 3 cultivares de maíz morado (*Zea mays* L.) en Arequipa - Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 205-217. Recuperado en 07 de agosto de 2019, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2011000300006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000300006&lng=es&tlng=es).
- Ramírez R. G., Morán B. H., Rico-Molina D., Jiménez P. C. (2008). Maíces Pigmentados. 25 Noviembre 2018, de SNICS; SINAREFI Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241208/FOLLETO\\_UAM-MAIZ.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241208/FOLLETO_UAM-MAIZ.pdf)
- Rendón-Aguilar, B, Aguilar-Rojas, V, Aragón- Martínez, Ma. del C, ÁvilaCastañeda, J. F, Bernal-Ramírez, L. A, Bravo-Avilez, D, Carrillo-Galván, G, Cornejo-Romero, A, Delgadillo-Durán, E, Hernández-Cárdenas, G, Hernández-Hernández, M, López-Arriaga, A, Sánchez-García, J. M, Vides-Borrell, E, Ortega-Packzca, (2015). Diversidad de maíz en la sierra sur de Oaxaca, México: conocimiento y manejo tradicional. *Polibotánica*, 39, 151-174.

- Rivetti, A. R. 2006. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO* 38 (2): 25-36.
- Rodríguez-Pérez, G, Zavala-García, F, Ojeda-Zacarías, C, Gutiérrez-Diez, A, Treviño-Ramírez, J. E, Rincón-Sánchez, F. (2012). Diversidad de maíces criollos de nuevo león, México, mediante afluencia y caracteres morfológicos. *Agronomía Mesoamericana*, 23, 29-39.
- Rui H. I, C. De la Parra, S. S. O. Serna. (2012). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55(10) pp 4177-4183.
- Salinas M. Y, R. J. Soria, T. E. Espinoza. (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D.F. Primera edición. 48 páginas.
- Salinas M. Y, Soto H. M., Martínez B. F, González H. V, Ortega P. R. (1999). Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Rev. Fitotec. Mex.* 22:161-174.
- Salinas M. Y. y C. G. Vázquez. (2003). Calidad del maíz para las industrias molinero-tortillera y de harinas nixtamalizadas. In: 60 años de Investigación al Servicio de México. Campo Experimental Valle de México "El Horno". Memoria Técnica No. 6. Chápingo, México. pp:61-65.
- Salinas M., Y. y G. Vázquez Carrillo. (2006). Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto Técnico Número 1. INIFAP. Campo Experimental Valle de México Laboratorio de Maíz. 98 p.
- Salinas, M. Y. (2009). Uso de maíces con pigmento tipo antociano. In: De Teresa-Ochoa, A. P., y G. Viniegra-González. (comps). *Temas Selectos de la Cadena Maíz-Tortilla: Un Enfoque Multidisciplinario*. Universidad Autónoma Metropolitana. pp: 177-202.
- Salinas-Moreno Y, Aragón-Cuevas F, Ybarra M. C, Aguilar V. J, Altunar L. B y Sosa Montes E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36, 23-31.

- Salinas-Moreno, Yolanda, Pérez-Alonso, José J., Vázquez-Carrillo, Griselda, Aragón-Cuevas, Flavio, y Velázquez-Cardelas, Gustavo A. (2012). Antocianinas y actividad antioxidante en maíces (*Zea mays* L.) de las razas chalqueño, elotes cónicos y bolita. *Agrociencia*, 46(7), 693-706. Recuperado en 20 de julio de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952012000700005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000700005&lng=es&tlng=es).
- Sánchez G., J. J, T. A. Kato Y., M. Aguilar S., J. M. Hernández C., A López R., J. A. Ruiz C. (1998). Distribución y Caracterización del Teocintle. INIFAP, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Guadalajara, Jalisco, México. P. 1-65
- Sánchez J. J, M. M. Goodman, C. W Stuber. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59.
- Serna-Saldívar S. O. (1996). Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. A. G. T. Editor, S. A. México, D. F. 519 p.
- Serna-Saldivar S. O. (2004). Foods from maize. In: C Wrigley and C Walker (Editors) *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). Avance de Siembras y Cosechas Resumen por estado. SIAP, Agosto-2019, De <http://infosiap.siap.gob.mx> Base de datos.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). Avance de Siembras y Cosechas Resumen por estado. SIAP, Agosto-2019, De <http://infosiap.siap.gob.mx> Base de datos.
- Singh A, M. T. Selvi and R. Sharma. (1999). Sunlight-induced anthocyanin pigmentation in maize vegetative tissues. *Journal of Experimental Botany* 50(339):1619–1625.
- Trujillo, E. E. (2012). Bioquímica y genética de las antocianinas del grano de maíz. Guanajuato.
- Vázquez C. Ma. G, Pérez C. J. P., Hernández C. J. M., Marrufo D. Ma. de la Luz, y Martínez R. E. (2010). Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del mezquital, México. *Revista fitotecnica mexicana*, 33(spe4), 49-56. Recuperado en 19 de julio de 2019, de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802010000500011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000500011&lng=es&tlng=es).

- Véles-Medina, José Juan. (2004). Caracterización de Tostadas Elaboradas Con Maíces Pigmentados Y Diferentes Métodos de Nixtamalización. CICATA-Instituto Politécnico Nacional.
- Yang Z, Z Chen, S Yuan, W Zhai, X Piao, X Piao (2009) Extraction and identification of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.). *Int. J. Food Sci. Technol.* 44:24-85-2492.







TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Roque



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**GANANCIA GENÉTICA EN CINCO CICLOS DE SELECCIÓN MASAL  
ESTRATIFICADA PARA RENDIMIENTO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) DE TEMPORAL  
EN EL BAJÍO.**

**QUE PRESENTA**

**ELIAS UBIAS SERAFIN**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: M.C. JORGE COVARRUBIAS PRIETO**

**CO-DIRECTOR: DR. JESÚS FRÍAS PIZANO**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO**

**DICIEMBRE 2019.**

La tesis “Ganancia genética de cinco ciclos de selección masal estratificada para rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) de temporal en El Bajío”, fue realizada por el alumno Elías Ubias Serafín, bajo la dirección del M.C. Jorge Covarrubias Prieto, Co-director Dr. Jesús Frías Pizano y asesoría del Dr. Juan Carlos Raya Pérez y M.C. J. Guadalupe García Rodríguez, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

---

**M.C. Jorge Covarrubias Prieto**  
**Cédula: 5007776**

**Co-Director:**

---

**Dr. Jesús Frías Pizano**  
**Cédula: 7076659**

**Asesor:**

---

**Dr. Juan Carlos Raya Pérez**  
**Cédula: 4798249**

**Asesor:**

---

**M.C. J. Guadalupe García Rodríguez**  
**Cédula: 4142620**

## DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de cumplir esta meta, por darme la sabiduría para culminar con esta etapa de mi vida.

A mi esposa Eseidi Parras Pineda por motivarme, por su apoyo incondicional, por estar siempre conmigo a pesar de las adversidades.

A mis padres Elías Ubias Hernández y Teodora Serafín Alonzo por motivarme, por su apoyo incondicional, por darme su ejemplo de superación y por formarme de la mejor manera posible.

A mis hermanos Marlene y Pedro por apoyarme en los momentos más difíciles para cumplir con este proyecto.

Al Dr. Jorge Covarrubias Prieto por el apoyo moral e incondicional, por confiar en mí, por ser siempre atento hacia mi persona, por permitirme ser parte de su amistad y por regalarme su gran gesto de calidad humana, que sin duda siempre le mostrare mi gratitud.

A mis amigos y compañeros de grupo de maestría Daniel, Andrea, Guadalupe, Leticia y Carlos, muchas gracias por su amistad, por compartir momentos de alegría y por superar juntos los momentos más difíciles para culminar esta etapa.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo económico con la beca otorgada, la cual me permitió concluir mis estudios de maestría.

Al Instituto Tecnológico de Roque en especial al área de División de Estudios de Posgrado e Investigación dirigida por el Dr. Cesar Leobardo Aguirre Mancilla, muchísimas gracias por confiar en mi, por darme siempre la mejor atención.

A toda mi familia por sus buenos consejos, por su apoyo incondicional, muchas gracias por preocuparse y estar atentos de mi persona, no me alcanza para agradecer todo su apoyo.

A mi director de tesis Dr. Jorge Covarrubias Prieto, mi profunda admiración y respeto, estoy muy agradecido por sus buenos consejos, por su apoyo, por su ayuda incondicional, por creer en mi, por compartir sus conocimientos y por guiarme para ser mejor, usted es un ejemplo de vida, muchas gracias por ser mi amigo.

Al Dr. Juan Carlos Raya Pérez por todo su apoyo y confianza brindada, por compartir sus conocimientos, por regalarme parte de su tiempo y darme la mejor atención, por ser una gran persona.

Al Dr. J. Guadalupe García Rodríguez, muchas gracias por su apoyo y confianza, por ser parte de mi trabajo de tesis, por compartir sus conocimientos y por siempre motivarme y por estar pendiente de mi trabajo.

Al Dr. Jesús Frías Pizano, muchas gracias por todo su apoyo y confianza, por creer en mi, por motivarme, por compartir sus conocimientos, por siempre darme la mejor atención.

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	v
SUMMARY .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
2.3. Hipótesis .....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1. Origen y domesticación del maíz.....	5
3.2. Descripción botánica de la planta de maíz .....	5
3.3. Requerimientos edafoclimaticos .....	7
3.3.1. Siembra.....	8
3.3.2. Riego.....	8
3.4. Densidad de población .....	9
3.5. Fertilización.....	11
3.5.1. Fertilización nitrogenada .....	11
3.6. Producción de maíz a nivel mundial .....	12
3.7. Producción de maíz a nivel nacional .....	13
3.8. Mejoramiento genético.....	14
3.9. Métodos de selección recurrente .....	16
3.10. Esquemas de selección .....	18
3.11. Selección recurrente intrapoblacional.....	19
3.11.1. Selección masal .....	19
3.11.1.1. Selección masal simple .....	19
3.11.1.2. Selección masal estratificada .....	21
3.11.1.3. Selección convergente-divergente.....	25
3.11.2. Selección Familiar .....	26
3.11.2.1. Familia de Medios Hermanos (FMH).....	26
3.11.2.2. Familia de Hermanos Completos (FHC).....	27
3.11.2.3. Familia de Autohermanos (S1).....	28
3.11.3. Calidad fisicoquímica .....	28
3.11.3.1. Peso de 1000 granos.....	29
3.11.3.2 Índice de flotación.....	29
3.11.3.3. Peso hectolítrico .....	29
3.11.3.4. Proteína .....	30
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1. Localización del experimento.....	32
4.2. Material genético .....	32

4.3. Manejo agronómico del campo experimental .....	32
4.3.1 Preparación del terreno .....	32
4.3.2 Barbecho .....	33
4.3.3 Rastra .....	33
4.3.4 Surcado .....	33
4.3.5 Siembra del experimento .....	33
4.3.6 Riego .....	33
4.3.7 Aclareo del lote de selección .....	34
4.3.8 Escarda .....	34
4.3.9 Fertilización .....	34
4.3.10. Control de malezas .....	34
4.3.11. Control de plagas .....	34
4.4. Cosecha .....	35
4.5. Diseño experimental .....	35
4.6. Caracteres agronómicos .....	35
4.6.1. Días a floración masculina (DFM) .....	35
4.6.2. Días a floración femenina (DFF) .....	35
4.6.3. Altura de planta (AP) .....	35
4.6.4. Altura de mazorca (AM) .....	36
4.6.5. Número de hojas abajo de la mazorca (NHBM) .....	36
4.6.6. Número de hojas arriba de la mazorca (NHAM) .....	36
4.6.7. Número de hojas total (NHT) .....	36
4.7. Caracteres de rendimiento y sus componentes .....	36
4.7.1. Longitud de mazorca (LM) .....	36
4.7.2. Diámetro de mazorca (DM) .....	37
4.7.3. Número de hileras por mazorca (NHM) .....	37
4.7.4. Número de granos por hilera (GPH) .....	37
4.8. Rendimiento de campo (RC) .....	37
4.9. Caracteres de calidad física de la semilla .....	37
4.9.1. Peso de 1000 semillas .....	38
4.9.2. Peso Hectolítrico .....	38
4.9.3. Índice de Flotación .....	38
4.10. Determinación de contenido de Proteína (%) .....	39
4.11. Análisis estadístico .....	40
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
VI. CONCLUSIONES .....	49
VII. LITERATURA CITADA .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.		Pág
3.1.	Producción de maíz a nivel mundial.	12
5.1.	Cuadrados medios, grados de libertad y coeficiente de variación del análisis de covarianza con una covariable (número de plantas).	38
5.2	Cuadrados medios, grados de libertad y coeficiente de variación del análisis de varianza para las variables de calidad física de variedades con ciclos de selección.	40
5.3.	Comparación de medias (DMS, $p=0.05$ ). para las variables de calidad física; peso hectolitrico, peso de mil semillas y índice de flotación de todos los ciclos de selección.	41



**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura.		Pág
3.1.	Principales estados productores de maíz bajo condiciones de temporal.	13
3.2.	Principales estados con mayor producción de maíz bajo condiciones de riego.	14
5.1.	Respuesta a la selección masal estratificada en maíz, durante cinco ciclos.	39
5.2.	Determinación de proteína con solución salina.	42
5.3.	Determinación de proteína con 2-Propanol al 55%.	44

## RESUMEN

El maíz es el cultivo agrícola más importante en México. La agricultura de temporal en la región de El Bajío carece de variedades mejoradas de amplia adaptación y productividad. Mediante el método de Selección Masal Moderna o Estratificada (SME) se logra incrementar la productividad de variedades de amplia base genética (variedades de polinización libre), así como el grado de adaptación. La finalidad de este proyecto fue evaluar la ganancia genética de cinco ciclos de Selección Masal Estratificada aplicados en un compuesto de familias de medios hermanos. El experimento se estableció en el campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México, en el ciclo Verano-Otoño 2018. El material utilizado para la evaluación de la ganancia genética fueron cinco variedades, productos de la SME, evaluadas bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para la evaluación de los caracteres agronómicos se realizó un análisis de covarianza, donde la covariable fue el número de plantas. Además, se realizó un análisis de regresión para la variable rendimiento. Para la prueba de calidad física de la semilla, se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias (DMS,  $p=0.05$ ). Para la determinación de proteína total se empleó una solución salina (tris-HCl 50 mM pH 8.8 NaCl 500 mM) y solución con 2-Propanol al 55%; en ambas se utilizó la técnica de espectrofotometría de Bradford. En los resultados del análisis de covarianza se encontró que en la variable rendimiento hubo diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre las variedades, mientras que en el análisis de regresión para rendimiento la variedad original rindió  $6.3 \text{ t ha}^{-1}$  y como resultado del quinto ciclo de selección se obtuvo un rendimiento de  $8.7 \text{ t ha}^{-1}$ ; es decir, se elevó el rendimiento en  $2.4 \text{ t ha}^{-1}$  a través de cinco ciclos de SME; la ganancia promedio por ciclo fue de selección medida por el coeficiente de regresión fue de 5.59% por ciclo; en calidad física de la semilla el análisis de varianza arrojó diferencias entre la variedades para la expresión de Peso Hectolitrico (PHL) en la comparación de medias la variedad "SMEII" presentó mayor peso hectolitrico con

respecto a las demás y finalmente en la determinación de proteína, el mejor ajuste en proteína se logró con el método salino, ya que presentó un  $R^2$  de 0.65, pues el otro método de 2-Propanol al 55% solo explico un  $R^2$  menor que .1.

## SUMMARY

Corn is the most important agricultural crop in México. Rain fed agriculture at El Bajío region lacks improved varieties of wide adaptation and productivity. Through the method of Modern or Stratified Masal Selection (SME) it is possible to increase the productivity of varieties of broad genetic base (varieties of free pollination), as well as the degree of adaptation. The purpose of this project was to evaluate the genetic gain of five stratified Mass Selection cycles applied in a family compound. The experiment was established in the experimental field of the Technological Institute of Roque, Celaya, Guanajuato, México, in the Summer-Autumn 2018 cycle. The material used for the evaluation of genetic gain were five varieties, products of the SME, evaluated under a randomized complete block design with four repetitions. For the evaluation of agronomic characters, a covariance analysis was performed, where the covariate was the number of plants. In addition, a regression analysis was performed for the performance variable. For the physical quality test of the seed, an analysis of variance and a comparison of means (DMS,  $p = 0.05$ ) were performed. For the determination of total protein, a saline solution (50 mM tris-HCl pH 8.8 500 mM NaCl) and solution with 55% 2-Propanol were used; in both the Bradford spectrophotometry technique was used. In the results of the covariance analysis it was found that in the yield variable there were highly significant differences ( $p < 0.01$ ) between the varieties, while in the regression analysis for yield the original variety yielded  $6.3 \text{ t ha}^{-1}$  and as a result of the fifth selection cycle a yield of  $8.7 \text{ t ha}^{-1}$  was obtained; that is, the yield was increased by  $2.4 \text{ t ha}^{-1}$  through five cycles of SME; the average gain per selection cycle was measured by the regression coefficient was 5.59% per cycle; In physical quality of the seed the analysis of variance showed differences between the varieties for the expression of Hectolitic Weight (PHL) in the comparison of means the variety "SMEII" presented greater hectolitic weight with respect to the others and finally in the determination of protein, the best protein adjustment was achieved with the saline

method, since it presented an  $R^2$  of 0.65, since the other method of 55% 2-Propanol only explained an  $R^2$  less than .1.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción anual de maíz en México es de 27 millones de toneladas (MMt); sin embargo, consumimos alrededor de 39 MMt anuales, lo que significa que existe un déficit de 12 MMt. En cuanto a maíz blanco, la producción en México es de 23 MMt anuales, pero consumimos solo 19 millones; por lo tanto, tenemos un superávit de alrededor de 4 MMt. En cambio, de maíz amarillo sólo se producen 4 MMt anuales, lo que nos obliga a importar entre 12 y 13 MMt al año; esto significa que 80% del maíz amarillo, componente esencial de la alimentación de ganado y los usos industriales, es importado, principalmente de Estados Unidos, con un costo de 2,500 millones de dólares (CIMMYT, 2017).

En el Estado de Guanajuato, el maíz es el alimento de mayor importancia; en el año 2018 se sembró una superficie de 408,640 hectáreas, de las cuales se cosecharon 277,104 hectáreas y se reportó un siniestro de 131,536 hectáreas. Del total de la superficie sembrada, 148,631 hectáreas se establecieron bajo condiciones de riego y 260,009.00 hectáreas bajo condiciones de temporal, con una producción de 1,128,693 toneladas bajo riego y 255,923 toneladas en temporal (SIAP, 2018).

En México, el maíz es el cereal básico en la alimentación de la población y es en esta especie donde se tiene la mayor diversidad genética para diferentes ambientes y usos. Con respecto a sus usos, 69% del maíz producido es destinado al consumo humano, 20% al sector ganadero, 10% para su industrialización y 1% para la producción de semilla (Ortega y Ochoa, 2003).

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor consumo y producción a nivel mundial. La actual competencia entre los usos alimentarios e industriales del maíz, aunados al efecto negativo del estrés abiótico, ha hecho que la producción mundial de maíz no sea suficiente para satisfacer la demanda. El maíz es el principal alimento de la población de escasos recursos en México, principalmente, y su producción

continuamente está amenazada por el cambio climático, comprometiendo nuestra seguridad alimentaria. Este problema se ve agravado por el hecho de que los precios del maíz se establecen a escala global, y en consecuencia, durante un período de escasez causada por los efectos del cambio climático, los precios aumentan sustancialmente, al mismo tiempo que la necesidad de importar más alimentos. México resulta ser especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático al situarse en zonas que serán impactadas por sequías (Noroeste) e inundaciones (Sureste). Se estima que entre 2020 y 2050 los estados que pueden resentir mayores incrementos en sus temperaturas medias son Guanajuato, Estado de México, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz, lo que afectará las actividades agrícolas (FAO y SAGARPA, 2014).

Aunque México cuenta con una amplia diversidad del maíz (Sánchez *et al.*, 2000), el uso de tal diversidad en programas de mejoramiento genético se ha limitado a unas cuantas poblaciones locales en cada región agrícola (Molina, 1990; Castillo, 1993). El estado de México ocupa el tercer lugar a nivel nacional como productor de maíz (Ortega y Ochoa, 2003), donde 98.5% de las siembras se realizan principalmente en el ciclo primavera-verano y el 1.5% restante se efectúan durante el ciclo otoño-invierno.

Debido a que la demanda nacional de maíz supera a la producción, es necesario generar variedades mejoradas con altos rendimientos por unidad de superficie. El mejoramiento poblacional permite generar variedades mejoradas de polinización libre, las cuales son convenientes para los agricultores que no cuentan con los recursos para adquirir semilla híbrida (Hallauer y Miranda, 1981). La selección masal visual estratificada (SMVE) y la selección de familias de medios hermanos (SFMH), en su modalidad de mazorca por surco (Lonquist, 1964), han sido efectivas para mejorar el rendimiento de grano en maíz.

Los maíces criollos locales, que han sido cultivados durante muchas generaciones, siguen siendo utilizados actualmente por los productores, por cualidades como su adaptación, características de producción y consumo. Sin embargo, dichos materiales son susceptibles de mejorarse genéticamente, principalmente por selección e hibridación o por la introducción de alelos exóticos útiles para rendimiento, tolerancia a la sequía, resistencia a las plagas de pos cosecha o mayor contenido de nutrientes (Bergvinson *et al.*, 2007).

En México, es casi nula la posibilidad de aumentar la superficie agrícola y también es difícil mejorar las condiciones de producción del cultivo en el corto plazo, debido al rezago en que se encuentre el sector agrícola, principalmente en la agricultura tradicional (Turrent *et al.*, 2012).



## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el avance genético en cinco ciclos de selección masal estratificada con base a un compuesto de familias de medios hermanos seleccionadas visualmente.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la respuesta a la selección por rendimiento y características agronómicas a través de los ciclos de selección.
- Evaluar el efecto de la selección en la reducción de altura de planta.
- Evaluar la ganancia en precocidad a través de cinco ciclos de selección.

### **2.3. Hipótesis**

La ganancia en rendimiento por el método de selección masal estratificada es del 3 % por ciclo; por lo tanto, a mayor número de ciclos la ganancia se incrementa.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Origen y domesticación del maíz

El maíz surgió en México hace 9,000 años en la región que comprende el Centro y Sur de nuestro País y una parte de los Países Centroamericanos. Los pueblos Mesoamericanos utilizaban el maíz no sólo para alimentarse, sino también como parte importante de sus ceremonias religiosas (SIAP, 2010). Con el desarrollo y evolución de las plantas cultivadas, se dio el proceso de “domesticación”. La participación del hombre ha sido importante en la generación de una amplia diversidad, donde a través de la selección ha modificado las características genotípicas de las plantas generando la formación de nuevas poblaciones adaptadas a diferentes condiciones de suelo y clima (Bellon, 2009; Boege, 2009).

Existen dos teorías respecto a la domesticación y diversificación del maíz: a) la que propone que el maíz tuvo un origen multicéntrico; es decir, que existieron varios centros de domesticación a partir de diferentes poblaciones de teocintle hace unos 8,000 años, b) la teoría del evento único de domesticación (unicéntrica) que propone que las poblaciones del teocintle de la raza Balsas o subespecie (spp.) *parviglumis* localizadas en el centro de la cuenca del Balsas (Oriente de Michoacán, Suroeste del Estado de México y Norte de Guerrero) dieron origen al maíz. Estas dos teorías están asociadas con respecto al origen y diversificación del maíz en sus diferentes formas para adaptarse a condiciones ambientales (Kato *et al.*, 2009).

#### 3.2. Descripción botánica de la planta de maíz

El maíz es una planta de porte robusto y de ciclo anual; el tallo es simple y erecto, cuya altura de planta varía de un metro hasta los cinco metros, con pocos macollos; Su aspecto es muy parecido al de una caña de azúcar por su presencia de nudos,

con una médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo de todo el tallo, se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve al entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Sus raíces primarias son fibrosas y están acompañadas de raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo: ambas raíces tienen la misión de mantener a la planta erecta. La planta de maíz tiene flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas, bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal y se conoce como panícula o espiga; consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas; cada florecilla se compone de la panícula con tres estambres, donde se desarrollan los granos de polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada. Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en las yemas axilares de la planta; son espigas de forma cilíndrica que consisten en un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas; cada espiguilla contiene dos flores pistiladas, una fértil y otra abortiva; estas flores se arreglan en hileras; las flores pistiladas tienen un ovario unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen (Jugenheimer, 1988).

La inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de 8 a 24 hileras por mazorca; todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas; estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso se conoce como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas, el maíz es una planta de polinización abierta propensa al cruzamiento; la mayoría de los granos de polen viajan de 100 y hasta los 1000 metros (Reyes, 1990).

Cada grano o semilla de la mazorca de maíz es un fruto independiente llamado cariósido que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano

producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño) que han sido importantes en la selección del grano como alimento (Kato *et al.*, 2009).

### **3.3. Requerimientos edafoclimaticos**

El maíz es una planta tropical, pero su potencial de rendimiento es bajo en los ambientes tropicales. Su potencial de rendimiento se expresa mejor en ambientes templados y subtropicales (FAO, 2000).

La temperatura óptima para la germinación está entre 18 y 21°C; por debajo de 13°C se reduce significativamente la germinación y de 10°C hacia abajo no se presenta germinación (Purseglove, 1985).

La mayoría de los procesos de crecimiento y desarrollo en maíz están fuertemente influidos por temperaturas entre 10 y 28°C (Warrington y Kanemasu, 1983).

Aunque en suelos profundos las raíces pueden llegar a una profundidad de 2 metros, el sistema muy ramificado, se sitúa en la capa superior de 0.8 a 1 metro, produciéndose cerca del 80% de absorción del agua del suelo dentro de esta capa. Normalmente el 100% del agua se absorbe de la primera capa de suelo, de una profundidad de 1 a 1.7 m (Doorenbos y Kassam, 1979).

Prefiere suelos franco-limosos, franco-arcillosos y franco-arcillo-limosos, pero prospera suelos de textura ligera a media (Benacchio, 1982). Requiere de un buen drenaje, ya que no tolera encharcamientos o suelos inundados por más de 36 horas suelen dañar a las plantas y su rendimiento final (Baradas, 1994).

### **3.3.1. Siembra**

La siembra es un proceso mediante el cual se toman decisiones sobre algunos aspectos del sistema de producción que posteriormente pueden tener relación con el rendimiento final. Dentro de estos, Tirso (2017) menciona que, para definir el periodo o fechas de siembra, una alternativa es seleccionar un sistema de producción que incluya riegos de auxilio, ya que al sembrar en épocas de temporal se aumentan las posibilidades de sufrir sequía y por consecuencia se disminuye el rendimiento.

El maíz es una planta de elevada susceptibilidad a la deficiencia de agua, principalmente se afecta la etapa de floración, por lo cual puede darse una merma en los rendimientos; asimismo, el suministro de agua adquiere importancia en los periodos críticos del mismo, de tal manera que se puedan superar transitorios de estrés hídrico. Este cultivo se adapta muy bien a todo tipo de suelos, pero si estos cuentan con pH entre 6 a 7, existe una mejor adaptación. También se requiere de suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharques que originen asfixia radicular (López-Bucio *et al.*, 2003)

### **3.3.2. Riego**

Imbachí (2011) señala al maíz como un cultivo exigente en agua, que requiere de unos 5 mm al día. Las necesidades hídricas varían a lo largo del cultivo; se requiere menos cantidad de agua cuando las plantas comienzan a desarrollarse, pero es necesario mantener una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo, se requiere más cantidad de agua y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración.

El citado autor también señala que, durante la fase de floración, que es el periodo más crítico, va a depender la cantidad de producción obtenida, por lo que se aconseja aplicar riegos que mantengan la humedad y permitan una eficaz polinización y llenado de mazorca. Por último, para el engrosamiento y maduración de la mazorca, se debe disminuir la cantidad de agua aplicada.

### **3.4. Densidad de población**

El maíz es el cultivo de mayor importancia en la región de Centro América de acuerdo al área de producción, consumo humano y elaboración de concentrados para la alimentación animal. Este cultivo se produce en una gran diversidad de ambientes contrastantes, muchas veces con baja productividad. A pesar de más de tres décadas de investigación desarrollados por los diferentes programas públicos y privados, todavía se obtienen muy bajos rendimientos, debido a varios factores como son: climáticos (mala distribución de las lluvias), poca fertilidad de los suelos, ya que un alto porcentaje del área sembrada se realiza en laderas y además, se utiliza un manejo agronómico inadecuado y en ciertas ocasiones no se aprovecha o no se dispone del material genético más adecuado en la región (Aguiluz, 1998).

El estudio y entendimiento de los procesos productivos de los cultivos es esencial para optimizar el uso de los recursos naturales y por este motivo es importante el diseño y operación de sistemas de producción que hagan más eficiente el uso de los recursos naturales e insumos en la producción agrícola. El número potencial de semillas se determina durante la etapa reproductiva inicial de la planta de maíz, mientras que el peso de la semilla está relacionado con la etapa del llenado de grano, la aplicación de riegos completos con niveles de población de plantas y de fertilización producen los más altos ingresos en maíz (Gutiérrez y Luna, 2002).

Bush (2005) determinó en su tesis en el Instituto Internacional de Nutrición Vegetal, que el peso final del grano de maíz depende de la duración del llenado, de la tasa de crecimiento y de su peso potencial. El máximo contenido de agua que almacena el grano durante su llenado ha sido asociado con el máximo volumen que este puede lograr y en consecuencia con el peso potencial.

La densidad de plantas en un cultivo de maíz es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos. En el maíz ejerce alta influencia sobre el rendimiento de semilla y las características agronómicas, pues el rendimiento se incrementa con la densidad de población, hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando la densidad se incrementa más allá de este punto. El aumento en la densidad de plantas es uno de los factores que puede ayudar a que el productor obtenga mayor rendimiento en su cultivo, pero no siempre se establece la densidad adecuada. Si el productor utiliza una densidad de población mayor que la óptima, incrementa la competencia por luz, agua y nutrimentos, lo que ocasiona reducción en el volumen radical, número de mazorcas, cantidad y la calidad por planta, e incrementa la frecuencia de pudriciones de raíz y acame en la planta. Por el contrario, las densidades de población bajas provocan problemas con maleza o de desperdicio de suelo.

La relación entre la producción de semilla y la densidad de población es compleja, ya que la mejor respuesta en rendimiento varía de acuerdo a la condición de cada suelo, clima, prácticas culturales y genotipo (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009). Al incrementar la densidad de población se debe tener en cuenta las necesidades nutrimentales mínimas, y tomar en cuenta la meta de rendimiento a alcanzar, ya que al aumentar la densidad de población existe una mayor demanda de nutrientes y la eficiencia del uso de nutrientes se ve afectada (Tirso, 2017). Se sugieren densidades de siembra entre 30 000 y 90 000 plantas por hectárea, en función de la región, genotipo, nivel de fertilización y el tipo de riego (Vázquez *et al.*, 2013).

### **3.5. Fertilización**

El maíz necesita para su desarrollo ciertas cantidades de elementos minerales. Las deficiencias en la planta se manifiestan cuando algún nutriente mineral está en ausencia o exceso. El crecimiento y rendimiento de las plantas se encuentran muy relacionados con los factores ambientales y del manejo que se le otorgue. La cantidad, calidad y duración de la luz y de la temperatura, así como la fecha y densidad de siembra, la humedad del suelo y la fertilización química, en particular el nitrógeno, la formación de biomasa y el rendimiento. En México, la mayoría de los genotipos de maíz poseen una calidad nutritiva baja, pues son deficientes en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano (Vivek *et al.*, 2008).

#### **3.5.1. Fertilización nitrogenada**

La fertilización se ha transformado en una de las prácticas de manejo más importantes para la obtención de rendimientos altos. El exceso de nitrógeno (N) produce plantas que pueden ser susceptibles a enfermedades que disminuirán el rendimiento y aumentarán el costo de fertilización y cosecha. Por el contrario, una poca disponibilidad de N reducirá el margen en relación a un cultivo bien fertilizado. La dosis y el momento de la fertilización nitrogenada son las mejores herramientas para producir un alto rendimiento por hectárea (Oropesa, 2012).

Teniendo en cuenta que los fertilizantes nitrogenados tienen una alta importancia relativa dentro del costo de producción, se hace necesario contar con herramientas locales que permitan determinar la dosis óptima económica (DOE), es decir, la cantidad de fertilizante nitrogenado que maximiza la renta de este cultivo. El diagnóstico de requerimiento de nitrógeno en maíz más utilizado se basa en la



determinación del contenido de N como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) hasta los 60 cm de profundidad antes de la siembra (Pagani *et al.*, 2008).

La recomendación de fertilización con nitrógeno en los cultivos se debe estimar con la mayor exactitud posible de cantidades de N a aplicar, pero al mismo tiempo, esta debe ser práctica para poder ser aplicada a campo. La dosis óptima económica (DOE) de N, es aquel nivel por encima del cual, las mayores aplicaciones de N no redundarán en un beneficio económico. La forma más común de estimar la DOE es mediante el ajuste entre la dosis de N y rendimiento, para calcular la respuesta económica en cada nivel de N aplicado (Salvagiotti *et al.*, 2011).

### 3.6. Producción de maíz a nivel mundial

A nivel mundial, los principales productores son: E.U.A, China, Brasil, Argentina, India, Indonesia, México, Ucrania, Sudáfrica y Rumania los cuales se mencionan a continuación:

**Tabla 3.1. Producción de maíz a nivel mundial.**

<b>País</b>	<b>Producción total (t)</b>
E.U.A.	370,960,390
China	259,051,000
Brasil	97,721,860
Argentina	49,475,895
India	28,720,000
Indonesia	27,952,000
México	27,762,481
Ucrania	24,668,750
Sudáfrica	16,820,000
Rumania	14,326,100

Fuente: FAOSTAT, 2017.

### 3.7. Producción de maíz a nivel nacional

De acuerdo a los datos reportados en 2019 por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la producción en México para el año agrícola 2018, alcanzó un volumen de 21,185,003 toneladas, de los cuales 40.55% correspondieron a la producción en temporal y 59.45% a la producción bajo riego, como se muestra en la Figura 3.1. Los estados que más contribuyeron al monto de producción de temporal fueron principalmente Jalisco, en segundo lugar, el Estado de México, seguido de Veracruz, Guerrero, Chiapas, Michoacán, Puebla, Oaxaca y finalmente Guanajuato se sitúa en noveno lugar (SIAP, 2018).

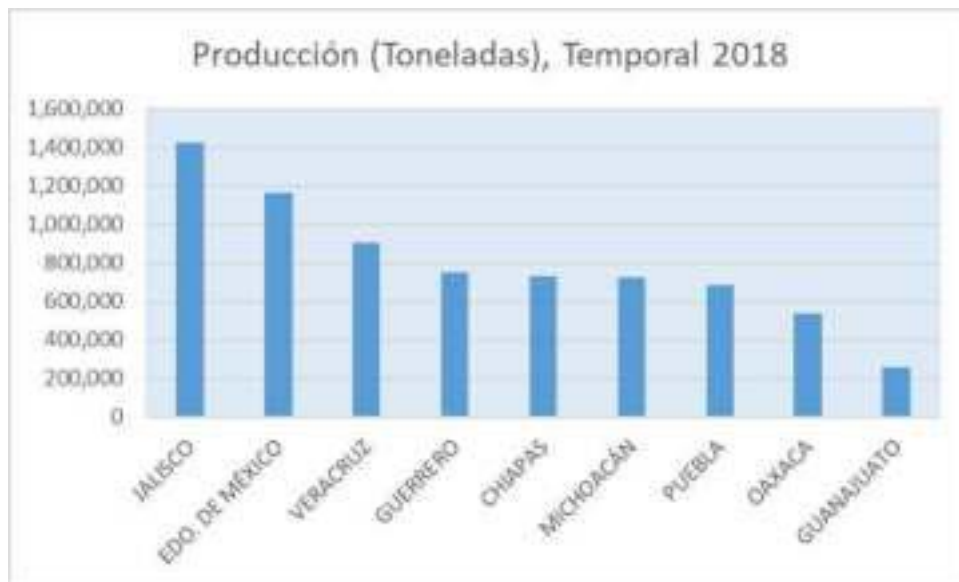


Figura 3.1. Principales Estados productores de maíz bajo condiciones de temporal.

En la Figura 3.2 se muestran los estados que contribuyeron al monto de cosecha nacional del año agrícola 2018 bajo condiciones de riego; Sinaloa ocupó el primer lugar, en segundo lugar Chihuahua y en tercer lugar Guanajuato, seguido de Tamaulipas, Michoacán, Sonora, Hidalgo y Estado de México (SIAP, 2018).

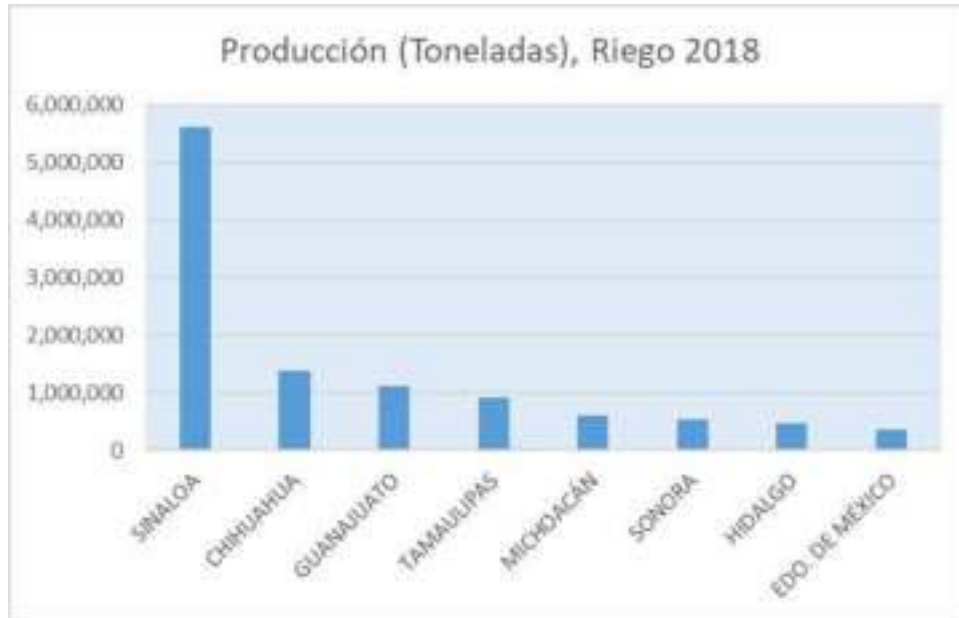


Figura 3.2. Principales Estados con mayor producción de maíz bajo condiciones de riego.

### 3.8. Mejoramiento genético

Ortiz (1993) y Chávez (1995) mencionan que el fitomejoramiento es el arte y la ciencia de mejorar características genéticas de las plantas, en relación a su uso económico, y como toda actividad humana, busca el beneficio del hombre; el objetivo fundamental es la obtención de variedades genéticamente mejoradas. Así que, el mejoramiento poblacional se basa en el principio de selección controlada por el fitomejorador, el cual trata de eliminar efectos ambientales para obtener mejores genotipos de una población.

En el mejoramiento genético del maíz, en opinión de Hallauer *et al.* (2010) indican que los fitomejoradores se ven en la necesidad de tomar dos decisiones: 1) seleccionar el germoplasma básico del programa de mejoramiento genético y 2)

seleccionar el método de mejoramiento genético; Ortiz (1993) considera una tercera decisión fundamental, la cual está constituida por los criterios de selección.

Jugenheimer (1988) menciona que, en el mejoramiento se distinguen las diferencias importantes del material vegetal disponible y selecciona e incrementa los tipos más deseables, los mismos que deberán transmitir a sus progenies esas características. Uno de los aspectos fundamentales en el mejoramiento, es el de introducir diversidad genética por cruzamientos de materiales con características sobresalientes, para luego seleccionar las plantas superiores para alcanzar altos niveles de adaptación, uniformidad genética y estabilidad agronómica (Borlaug, 1983).

Celis (1983) indicó que el fitomejoramiento se finca en la variabilidad genética que tienen los materiales criollos colectados, los cuales son el punto de partida de los programas de mejoramiento genético; posteriormente, al agotar la variabilidad genética con la metodología poblacional utilizada se continúa con otra etapa, donde se debe aprovechar la uniformidad generada mediante la formación de sintéticos e híbridos. Finalmente, el autor concluye que el objetivo del mejoramiento poblacional es liberar variedades mejoradas de polinización libre, con amplia adaptabilidad, tolerantes al acame, enfermedades, ciclo precoz y acorde con las demandas del consumidor.

Márquez *et al.* (2000) señalan que el mejoramiento genético dentro de una población consiste en identificar a los individuos que presenten las mejores características, logrando una evolución acelerada de dicha población bajo selección. Para esto, es necesario que exista variación genética. El fitomejoramiento tiene un fin primordial que es la creación de variedades de alta producción por unidad de superficie, en una región determinada y con determinados procedimientos culturales. Además, el mejoramiento procura la obtención de materiales resistentes, precoces, de fácil adaptación y que además reúnan cualidades de calidad como alta cantidad de proteínas, aceite, almidón, entre otros (Robles, 1986).

### 3.9. Métodos de selección recurrente

Los métodos de selección recurrente fueron desarrollados para mejorar de manera sistemática características heredables de una población (Paterniani, 1990; Hallauer, 1994), siendo la selección masal el método más antiguo y simple utilizado en maíz (Pandey y Gardner, 1992). Este método tomó gran interés después de que Gardner (1961) sugirió y desarrolló la selección masal estratificada como un procedimiento para controlar el efecto ambiental en el rendimiento individual de las plantas. Debido a las limitaciones de tipo práctico de este método, Molina (1983) propuso efectuar la selección masal en forma visual, método al que denominó selección masal visual estratificada.

Numerosos estudios han sido realizados utilizando la selección masal estratificada como método para mejorar el rendimiento y sus componentes (Paterniani, 1990; Pandey y Gardner, 1992; Hallauer, 1994), para modificar caracteres agronómicos de importancia económica (Hallauer, 1985), así como en la adaptación de poblaciones exóticas a áreas específicas (San Vicente y Hallauer, 1993; Pérez *et al.*, 2000).

El mejoramiento genético de poblaciones permite generar variedades mejoradas de polinización libre, recomendables para agricultores que no cuentan con los recursos económicos para adquirir semilla híbrida cada año (Hallauer y Miranda, 1981); las plantas de estas poblaciones con alelos favorables al recombinarse producen genotipos superiores.

El incremento de los caracteres de importancia económica que se logre en cada ciclo de selección estará en función de la variabilidad genética de la población bajo mejoramiento (Chávez, 1995). Tal variabilidad puede analizarse para estimar los parámetros genéticos de la población. La estimación de dichos parámetros es importante cuando la población se ha sometido a un proceso continuo de selección y

se desea saber que tan efectiva ha sido ésta en producir cambios favorables en ella (Vargas *et al.*, 1982).

Como parte del proceso evolutivo, las plantas se automejoran por selección natural, aunque a un ritmo muy lento. Según Reyes (1990) el proceso evolutivo de las especies vegetales ha sido acelerado por el hombre. Así como el maíz (*Zea mays* L.) fue mejorado por el hombre mediante selección masal efectuada a través de un largo tiempo. La siembra en ambientes diversos dio lugar a la amplia variabilidad genética que ahora existe en esta especie (García *et al.*, 2002).

Para que la selección sea efectiva en el manejo de poblaciones de maíz, se requiere que la variabilidad genética sea del tipo aditivo; de lo contrario, el método de mejoramiento adecuado es la hibridación (Sprague, 1966). Después de un periodo de mejoramiento por selección, la variabilidad puede disminuir y los avances ser más lentos y difíciles de detectar (Briggs y Knowles, 1967). En una población no mejorada de maíz, la proporción de varianza genética aditiva es mayor que la varianza genética de dominancia, pero la proporción disminuye conforme aumentan los ciclos de selección recurrente (Hallauer y Miranda, 1981; Márquez, 1987; Molina, 1992), pues la selección explota principalmente la varianza genética aditiva. En contraste, ambas varianzas, aditiva y de dominancia, pueden explotarse al combinar metodologías de selección e hibridación.

Gran parte de la diversidad genética del maíz está concentrada en el Continente Americano, principalmente en México, donde el maíz es consumido en múltiples formas, como tortillas, pinole, atoles, tostadas, tamales, elotes, pozole, entre otros alimentos (Figuroa *et al.*, 2005). Para México, el maíz no es sólo un bien comercial, sino que constituye una expresión de relaciones que han permitido a las comunidades y a los pueblos rurales de México su subsistencia. Durante más de 300 generaciones, las comunidades rurales e indígenas mexicanas han sido los guardianes de los nichos ecológicos generando múltiples variantes de este cereal,

este hecho es trascendental en la historia y la cultura de los mexicanos y un legado para la humanidad (Castañeda, 2011).

### **3.10. Esquemas de selección**

La selección se basa en escoger individuos que presenten características deseables y que son objetivo de estudio, se considera como esquema de selección y métodos de mejoramiento. Desde el punto de vista del mejoramiento genético, la selección se basa en escoger los individuos que presentan las características deseadas por el mejorador (Hallauer y Miranda, 1988). La base para la selección puede ser de una planta individual, una familia de plantas o una progenie. A través del tiempo se han desarrollado esquemas de selección que son utilizados para mejorar características cuantitativas (Paliwal *et al.*, 2001).

Chávez (1995) describe los esquemas de selección que se basan en el fenotipo de las plantas y que, por lo general, no comprenden una evaluación de las progenies: a) Selección masal, b) Selección masal estratificada, c) Selección masal Convergente-Divergente y d) selección masal rotativa. Sin embargo, hay esquemas de selección genotípica los cuales incluyen tres etapas en su desarrollo como: a) Muestreo y desarrollo de la población original, b) Evaluación de las progenies en bases visuales en campo y pruebas en laboratorio y campo, y c) Recombinación de las progenies seleccionadas para formar el ciclo siguiente de la población para continuar la selección y mejoramiento. Estos métodos de mejoramiento son llamados: d) Selección recurrente de familias de medios hermanos, e) Selección recurrente de familias de hermanos completos, f) Selección de progenies autofecundadas.

Las distintas formas de selección recurrente son generalmente agrupadas en: 1) Sistemas de selección recurrente intrapoblacional, para formar una población (este método es usado para el mejoramiento de maíz); 2) Sistemas de selección recurrente intrapoblacional; para más de dos poblaciones a la vez.

### **3.11. Selección recurrente intrapoblacional**

La selección intrapoblacional involucra el mejoramiento de una población, y los métodos más comunes para hacerlo son la selección masal y la familiar en cualquiera de sus variantes (Márquez, 1985).

#### **3.11.1. Selección masal**

Según Chávez (1995), se divide en: simple, estratificada y convergente-divergente.

##### **3.11.1.1. Selección masal simple**

El método más antiguo y simple para mejorar el maíz, consiste en seleccionar mazorcas deseables de las mejores plantas y en sembrar en masa la semilla seleccionada (Jugenheimer, 1988; Paliwal *et al.*, 2001).

Gardner (1961) mencionó en su primera publicación, que encontró en un cuarto ciclo de selección un rendimiento de 22% más que la variedad de original. Shauman y Gardner (1970) obtuvieron un incremento en productividad del 43%, después de 13 generaciones de selección continua.

De acuerdo con Cubero (1999), la selección masal consiste en la selección de individuos o de familias que muestran características requeridas, la mezcla de cuyas semillas constituirá la semilla de siembra de la generación siguiente. El proceso se repite hasta obtener una nueva población sobresaliente.

La selección masal se basa en el comportamiento y la calidad, ha conducido al desarrollo y mejoramiento de variedades de polinización libre. La experiencia ha demostrado que pueden mantenerse los rendimientos e incluso incrementarse ligeramente. La selección ha sido bastante efectiva para modificar la madurez, el tipo de planta y mazorca y la composición química. Sin embargo, este método



generalmente solo considera al progenitor femenino y el mejoramiento es lento y limitado (Jugenheimer, 1988).

La selección masal ha sido considerada como el más antiguo y simple esquema de selección recurrente que se conoce en maíz (Allard, 1980; Pandey y Gardner, 1992), pero para su éxito se requiere suficiente variabilidad genética en la población (Ángeles, 1961). Debido a que las técnicas de campo de la selección masal sugeridas por Gardner (1961) presentaban algunas restricciones de tipo práctico, Molina (1983) sugirió hacerla en forma visual, método al que denominó “Selección Masal Visual Estratificada” (SMVE).

Martínez *et al.* (2000) indicaron que evaluaron compuestos por selección masal visual estratificada para rendimiento de grano en tres ambientes de selección (riego, sequía y seco) en la población Zacatecas-58. En la evaluación de riego, el ambiente de sequía obtuvo un avance para rendimiento de 6.6% por ciclo de selección, seco 3.5% y riego 2.7%. En la evaluación de sequía, avanzó 15.4% por ciclo, riego tuvo un avance de 3% y seco un avance de 4%. En la evaluación de seco, el ambiente de sequía obtuvo un avance de 0.6% más que seco y 3.4% más que riego.

Los datos presentados por Torregrosa y Arias (1970) ha mostrado la eficiencia de la selección masal, cuando se aplica un índice conjunto de selección, como el número de mazorcas y el rendimiento por plantas; reportaron que después del cuarto ciclo de este tipo de selección, la prolificidad de ICA V 552 se aumentó en un 33% y su productividad en 49%.

La selección masal se ha utilizado para generar variedades de maíz de polinización libre con buena respuesta a condiciones ecológicas específicas, y para modificar el comportamiento de algunos caracteres agronómicos (Torregrosa y Arias, 1970). Hallauer y Sears (1972), Compton *et al.*, (1979), San Vicente y Hallauer (1993), entre

otros, consideran a la selección masal como un método efectivo para adaptar poblaciones con germoplasma exótico a áreas geográficas particulares.

### **3.11.1.2. Selección masal estratificada**

El lote de maíz donde se practique la selección debe estar aislado, para evitar contaminaciones de polen de otros maíces. El lote de selección a escoger, debe ser elegido preferiblemente en el centro del campo y debe estar rodeado por plantas de la misma variedad, por lo menos diez metros a la redonda. Si esto no es posible, debe adelantarse o atrasarse la fecha de siembra, de tal manera que, al haber floración de nuestro maíz, los maíces vecinos ya hayan florecido un tiempo antes o después. Este tiempo va variar de acuerdo con la región o país donde se siembre. Si es en clima frío son 30 días antes o después y si es en clima cálido, quince días es suficiente (ICTA, 1984). Se deben seguir los siguientes pasos para realizar el método de selección masal estratificada:

#### I. Marcado:

1. Marque las cuatro esquinas del Lote de Selección con estacas. Este lote debe tener 25 surcos de ancho por 25 plantas de largo y si se siembra al paso es de 25 surcos de 50 plantas.
2. Divida el lote grande en 25 lotes mas pequeños o sub-lotes.
3. Cada sublote consiste de 5 surcos de ancho por 5 plantas de largo. En donde se siembre al paso son 5 surcos de ancho y 10 plantas de largo.

#### II. Eliminación de plantas indeseables:

Al inicio de la floración, o sea cuando aparece la espiga, elimine todas las espigas de las plantas indeseables que pueda identificar o que estén deformes (atacadas por insectos, plantas fuera de tipo, plantas que no tengan competencia completa). La

eliminación de espigas no produce ningún efecto negativo en el llenado de las mazorcas. Puede desespigarse hasta la mitad del lote si es necesario. Se recomienda hacer el desespigado inmediatamente después de que la espiga aparezca.

### III. Selección de plantas:

Después de la floración, cuando el estigma de las mazorcas este completamente seco, seleccione las 20 mejores plantas por sublote; por ningún motivo se debe seleccionar aquellas plantas a las que se les ha eliminado la espiga. La selección de plantas debe hacerse en base a características de rendimiento, altura de planta y mazorca, precocidad, vigor, capacidad de competencia, cobertura y resistencia a plagas y enfermedades. Finalmente se deben marcar con pintura de cal las plantas seleccionadas para identificarlas en la cosecha.

### IV. Selección de mazorcas:

Al momento de la cosecha, de las 20 mejores plantas que fueron marcadas por cada sublote, se deben seleccionar de 5 a 10 mazorcas, las mejores y más sanas. Posteriormente se deben poner a secar y desgranar.

### V. Almacenamiento:

Luego del desgrane las mazorcas seleccionadas, se debe eliminar los granos indeseables, enseguida se puede tratar la semilla con algún producto químico.

### VI. Criterios a considerar en la selección de plantas:

1. Rendimiento: cuando el estigma esta completamente seco, el rendimiento se puede estimar en base al número de mazorcas por planta, diámetro y longitud

de la mazorca, las plantas que producen más de una mazorca y sean de buen tamaño, deben ser seleccionadas.

2. Altura de planta y mazorca: las plantas altas y con mazorcas ubicadas cerca de la punta son presa fácil de los fuertes vientos, debido a que se doblan y se acaman. Por lo mismo, se pueden presentar pudriciones frecuentes en mazorca cerca del suelo. Se recomienda seleccionar una altura de la planta cerda 1.25 metros y 2.50 metros.
3. Precocidad: las plantas precoces se cosechan más rápidamente, por lo que se pueden evitar daños por heladas o cosechar antes que el resto de los agricultores. También si se desea puede sembrarse tarde y cosechar en la época deseada.
4. Vigor: se seleccionan plantas de tallo fuerte y apariencia sana.
5. Competencia: solo seleccione aquellas plantas donde hayan 2 o más plantas, para asegurarse que sus buenas características se van a manifestar en competencia completa. No se seleccionan plantas que no estén rodeadas, por un mínimo de 3 plantas completas.
6. Cobertura: No se seleccionan plantas con mazorcas de punta descubierta, pues esto facilita el daño de pájaros, insectos y enfermedades.
7. Enfermedades y plagas: se seleccionan plantas que presenten el menor daño de plagas y enfermedades.

#### VII. Criterios a considerar en la selección de mazorcas:

1. Rendimiento: mazorcas cilíndricas, cubiertas completamente de grano, con muchas hileras y muchos granos por hilera producirán altos rendimientos.
2. Número de mazorcas por planta: se selecciona de preferencia, aquellas mazorcas que no presenten ningún daño y se descartan aquellas que presenten daños por pájaros, insectos o pudriciones (ICTA, 1984).

Con la estratificación y la selección de las plantas con competencia completa, se elimina en parte la variabilidad ambiental y se trata de seleccionar los individuos superiores genéticamente y no los favorecidos por el ambiente (Reyes, 1985). Pandey *et al.* (1991) consideran que este sistema fue propuesto para contrarrestar la influencia ambiental en el rendimiento individual de las plantas. El área de selección se divide en sub-parcelas más pequeñas, formando cuadrados, dentro de las cuales la variación edáfica y otras variables ambientales se reducen a un mínimo. Además, la selección en la cosecha se restringe, a las plantas que se encuentran en competencia completa. En este tipo de selección están dentro de la selección individual, la que se efectúa ejerciendo control en progenitor hembra, puesto que la selección de las plantas que tienen mayor productividad resulta del progenitor femenino, sin tener en cuenta la procedencia del polen.

Pérez *et al.* (2000) realizaron una evaluación de la variedad Tuxpeño crema 1, que había sido sometido a 12 ciclos de Selección Masal Visual Estratificada en Chapingo y en Montecillo, Edo. de México, en localidades de clima templado y la respuesta genética para rendimiento de grano por planta mostró un promedio de ganancia por ciclo de 12.88%; para días a floración masculina, la respuesta fue de 0.71%, en altura de planta la respuesta fue de 0.53% y 0.78% en altura de mazorca.

Pérez *et al.* (2002) señalan que evaluaron diez razas tropicales y subtropicales de maíz que fueron sometidas a selección masal visual estratificada para adaptación a clima templado en Montecillo, Estado de México, y como resultado mostraron cambios en su rendimiento de mazorca por planta, el cual se incremento 2.6 a 24.7%, los días a floración masculina disminuyeron de 0.5 a 1.2% y en el caso de altura de planta hubo una disminución de 0.6 a 0.9%

García *et al.* (2002) mencionan que evaluaron mestizos mejorados con seis ciclos de selección masal estratificada y encontraron una superioridad en ganancia en rendimiento de un 2% con respecto a la original. Así mismo, también mencionan que

evaluaron híbridos con seis ciclos de selección masal estratificada y se obtuvo una ganancia en rendimiento de 8% y además mostró más aptitud combinatoria general y específica con los seis ciclos de selección con respecto al primer ciclo. También Mejía y Molina (2002) evaluaron la respuesta a la selección de tres poblaciones tropicales de maíz (P1: Tuxpeño, P2: Mezcla Tropical Blanca, P3: Posta) en seis localidades en la zona costera del estado de Veracruz y en respuesta a dos ciclos de selección se obtuvieron una respuesta para la P2 de 4.6% de ganancia por ciclo, seguida de la P3 con 3.6% y finalmente la P1 obtuvo una ganancia por ciclo de 3.3%.

Por otra parte, Coyac *et al.* (2013) mencionan que evaluaron la variedad de maíz Zacatecas 58 con 24 ciclos de selección masal visual estratificada y como respuesta a la selección obtuvieron un aumento en el rendimiento de la mazorca de 3.65%.

#### **3.11.1.3. Selección convergente-divergente**

Chávez (1995) menciona que es necesario definir una región grande en cuanto a diferencias ambientales (suelo, temperatura, humedad), así como utilizar una población base de amplia variabilidad genética. se puede hacer lo siguiente: a) Recolectar variedades criollas de las localidades representativas de los diferentes ambientes del área o región ecológica definida, b) Formar un compuesto balanceado (mezcla de igual número de semillas de cada una de las variedades criollas incluidas) de todas las colecciones implicadas para recombinarlas en un lote aislado de la localidad "piloto". La semilla obtenida de tal recombinación será la población base de amplia variabilidad genética.

Una vez formada esta población, se subdivide en muestras de acuerdo con las localidades previamente definidas, en donde se sembrarán los materiales para selección (divergencia). Después del tercer ciclo de selección en cada localidad, se toma una muestra de semillas de cada una de ellas, se forma un compuesto

balanceado y se siembra en un lote aislado en el campo “piloto” (convergencia) con el fin de recombinar por una generación.

Gómez-Montiel *et al.* (2014) mencionan que realizaron diez colectas seleccionadas de maíz de la raza criolla Pipitilla para formar la variedad V-236 P con nueve ciclos de selección masal convergente-divergente, en los cuales obtuvieron un alto rendimiento de masa y tortilla (1.91 y 1.53 kg de maíz, respectivamente).

### **3.11.2. Selección Familiar**

Familia es la progenie obtenida de un apareamiento no aleatorio, cuya descendencia guarda una relación más o menos estrecha y de acuerdo a esta relación se agrupan. Así, los términos de medios hermanos (MH) y hermanos completos (HC) se refiere al número de progenitores que los individuos tienen en común (Chávez, 1995). En este sentido Márquez (1985) y Pandey *et al.* (1991) señalan que en este sistema de mejoramiento las unidades de selección son los diferentes tipos de Familias de Medios Hermanos (FMH), de Hermanos Completos (FHC) y de Autohermanos (FAH) endocriados o familias autofecundadas (S1). Además, mencionan que en la selección familiar un ciclo completo consta de tres etapas: 1) Obtención de familias, 2) Evaluación y selección de familias, y 3) Recombinación genética con semilla remanente de las familias seleccionadas.

#### **3.11.2.1. Familia de Medios Hermanos (FMH)**

Las plantas alógamas se obtienen fácilmente de una parcela bajo polinización libre (PL), pues la mazorca producida por una planta dará lugar a una familia de medios hermanos (MH), que tienen en común al progenitor femenino, mientras que el progenitor masculino es diferente. Las semillas obtenidas en las plantas seleccionadas constituyen la familia de medios hermanos (Cubero, 1999).

Para aclarar mejor estos conceptos, Chávez (1995) utiliza un ejemplo práctico y manifiesta que las semillas provenientes de una mazorca de polinización libre al sembrarla en forma individual (mazorca por surco), las plantas que se desarrollan en el surco es una familia de medios hermanos, debido a que las plantas del surco tienen el progenitor femenino común y diferentes padres, porque los estigmas se polinizaron con granos de polen de diferentes plantas.

Las FMH seleccionadas se recombinan mediante un compuesto balanceado de la semilla de cada familia y se siembra en un lote de recombinación, con lo que se inicia un nuevo ciclo de selección. Una de las ventajas del uso de la selección de MH es que, en cada ciclo de selección se puede obtener estimados de la variación genética aditiva y de herencia de los caracteres bajo selección (Pandey *et al.*, 1991).

García *et al.* (2002) encontraron en dos ciclos de selección masal visual estratificada (SMVE) y en dos ciclos de selección familiar de medios hermanos (SFMH), realizados en la población F<sub>2</sub> de la cruce de las variedades de maíz (*Zea mays* L.) Zacatecas 58 SM20 y Tuxpeño Crema 1 SM12, que la respuesta genética promedio del rendimiento de grano por ciclo de selección fue de 10% en la SFMH y de 5.7% en SMVE.

#### **3.11.2.2. Familia de Hermanos Completos (FHC)**

Las familias de hermanos completos (FHC) son la progenie del apareamiento directo de dos individuos. En este caso, los mejores resultados o progenies tienen en común tanto al progenitor masculino como al femenino. Esta selección involucra la evaluación del rendimiento de progenies, con lo cual se inicia un nuevo ciclo de selección (Pandey *et al.*, 1991).



### 3.11.2.3. Familia de Autohermanos (S<sub>1</sub>)

Las familias de autohermanos (AH) son realmente líneas S<sub>1</sub> que son obtenidas básicamente por autopolinización de plantas S<sub>0</sub> es decir plantas que no han sido autofecundadas. Una vez que la población se ha recombinado, se autofecundan para obtener un nuevo grupo de familias S<sub>1</sub>. Se requieren tres etapas de crecimiento para cada ciclo de selección (Pandey *et al.*, 1991). Hallauer y Miranda (1988) mencionan que una línea autofecundada es la población descendiente obtenida de la autopolinización de una planta en cada generación; con la autofecundación se busca aumentar la homocigosis, fijar características deseables y encontrar la máxima segregación para separar grupos de individuos que genéticamente son diferentes.

### 3.11.3. Calidad fisicoquímica

Las características físicas y químicas del grano sano y entero de maíz, pueden variar ampliamente dependiendo de la variedad o híbrido que se utilice. Estas características pueden ser influenciadas por el ambiente y el manejo agronómico, así como por el secado y las condiciones de almacenamiento (Gutiérrez-Coronado *et al.*, 2010).

Para producir una masa de alta calidad, tanto en nixtamalización como en la molienda del nixtamal, la parte fisicoquímica debe ser óptima. Entre las principales propiedades fisicoquímicas asociadas con la funcionalidad de las harinas está la distribución del tamaño de la partícula, el pH, la capacidad de absorción de agua y la reología de las masas (Bello *et al.*, 2002).

### **3.11.3.1. Peso de 1000 granos**

El peso de mil granos es un indicador del tamaño del grano; un peso alto corresponde a una muestra con gran porcentaje de granos pequeños y, por el contrario, un peso bajo se obtiene cuando los granos son grandes. Es considerada una medida fácil y rápida que permite estimar el tamaño del grano, y es uno de los métodos más utilizados, referenciado y, por lo tanto, una característica importante para la producción de harina (Palacios-Rojas, 2018).

### **3.11.3.2 Índice de flotación**

El índice de flotación se basa en el número de granos que flotan en una solución de referencia, ya que depende de la densidad de estos con respecto a la densidad de la solución de nitrato o azúcar, por lo que entre más duro sea el tipo de maíz menor es el valor de IF. Dado que el porcentaje de humedad de las muestras influye significativamente en el resultado, se recomienda que sea homogénea entre las muestras a evaluar (aproximadamente 12%) (CIMMYT, 2016).

### **3.11.3.3. Peso hectolítrico**

El peso hectolítrico (masa hectolítrica, gravedad específica, peso específico o densidad aparente) es un parámetro exigido por la norma mexicana NMX-FF034/1-SCFI-2002 (1980) debido a que es un factor relacionado con la dureza, susceptibilidad a ruptura, rendimientos de molienda, velocidad de secado, condiciones generales del grano y resistencia al desarrollo de hongos. Los granos más densos tienen menos probabilidad de ser dañados por insectos y mejores posibilidades de soportar el manejo durante el almacenamiento y comercialización (Palacios-Rojas, 2018).

El peso de una masa de semillas que ocupa el volumen de 100 litros se denomina peso volumétrico. Por ser el hectolitro un volumen muy grande, en el laboratorio se determina utilizando un recipiente de un litro. Este valor nos dice que tan sana es la semilla. Es decir, cuanto más sana sea la semilla mayor será la proporción de reservas en la semilla y mejor será la separación del endospermo al resto de la semilla. Por lo tanto, cuanto más sano, mayor extracción de harina. A su vez, es una medida de la homogeneidad de la partida de maíz, factor clave en el proceso industrial. Por consiguiente, el peso hectolítrico es una buena estimación tanto de la calidad física del grano, como de la calidad molinera (SAGARPA, 2006).

Se considera como la densidad aparente del grano, la cual está relacionada con su dureza, susceptibilidad a la ruptura y a la molienda, velocidad de secado y resistencia al desarrollo de hongos (CIMMYT, 2016).

#### **3.11.3.4. Proteína**

Las proteínas juegan un papel central en los sistemas biológicos funcionando como: parte estructural, de transporte, motilidad, defensa, reconocimiento, almacenamiento y función catalítica que llevan a cabo las enzimas. La importancia de las proteínas en los alimentos radica en que poseen propiedades nutricionales y de sus componentes se obtienen moléculas nitrogenadas que permiten conservar la estructura y el crecimiento de quien las consume; así mismo pueden ser ingredientes de productos alimenticios y por sus propiedades funcionales, ayudan a establecer la estructura y sus propiedades finales (CIMMYT, 2016).

La calidad proteínica está dada por el contenido de lisina y triptófano. El índice de calidad expresa la capacidad de dichos aminoácidos para formar proteína. Se recomienda monitorear el contenido de aminoácidos, el contenido de proteína y tener

en cuenta que el contenido proteico se ve afectado por el contenido de nitrógeno en el suelo (Palacios-Rojas, 2018).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Localización del experimento**

La presente investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental y Laboratorio de Análisis de Semilla del Instituto Tecnológico de Roque (ITR), ubicado en Celaya, Gto, México. En el km 8 de la carretera Celaya-J. Rosas. El clima del sitio experimental es de tipo cálido subhúmedo, con una precipitación de 550 a 710 mm durante el año y temperatura media anual de 18.4 °C. Los suelos son de tipo Vertisol Pélico, que se caracterizan por ser arcillosos de coloración oscura. El sitio experimental se localiza en las coordenadas 20°31' LN y 100°45' LO, a una altura de 1765 msnm.

### **4.2. Material genético**

El compuesto original (ciclo 0) fue proporcionado por el programa de mejoramiento genético del ITRoque. Para el presente experimento se utilizaron cinco variedades de maíz obtenidas mediante cinco ciclos de selección masal estratificada.

### **4.3. Manejo agronómico del campo experimental**

#### **4.3.1 Preparación del terreno**

El establecimiento de esta investigación se desarrolló en el ciclo Verano-otoño 2018, en las instalaciones del campo experimental del Instituto Tecnológico de Roque, con la finalidad de evaluar la selección masal estratificada con ciclos de selección.

#### **4.3.2. Barbecho**

Este se realizó de forma mecánica a una profundidad de 30 cm, el día 30 de julio del 2018.

#### **4.3.3. Rastra**

Se dieron dos pasos de rastra, uno a lo largo del terreno y el otro de forma cruzada. Con la finalidad de desmenuzar los terrones del terreno y el rastreo del cultivo anterior.

#### **4.3.4. Surcado**

Se surcó de manera mecánica, a una distancia de 0.75 m entre surcos.

#### **4.3.5. Siembra del experimento**

La siembra del material para la evaluación se realizó en un lote de 2500 m<sup>2</sup>. La siembra se realizó de forma manual depositando 2 semillas por golpe para obtener una buena germinación del experimento y posteriormente se realizó el aclareo y se obtuvo la densidad deseada de 20 plantas por surco. A su vez mencionar que se establecieron en cada bloque dos surcos de cada variedad. La unidad experimental constó de dos surcos de cinco m de largo (20 plantas). La densidad de población fue de 85 000 plantas m<sup>-2</sup>.

#### **4.3.6. Riego**

Se le dio un riego de auxilio a los 40 días después de la siembra (dds) debido a la ausencia de lluvia; el riego de auxilio se realizó cuando el cultivo no tenía la suficiente humedad y se escaseó el agua de lluvia.

#### **4.3.7. Aclareo del lote de selección**

El aclareo de plantas es un procedimiento donde se eliminan las plantas fuera de tipo por medio de detección visual para dejar la densidad deseada y recomendada.

#### **4.3.8. Escarda**

La escarda del campo experimental se llevó acabo de forma mecánica, cuando en el cultivo se encontró visible el cuello de la hoja 3 (etapa vegetativa V3).

#### **4.3.9. Fertilización**

La dosis de fertilización utilizada fue 80-40-00 (N-P-K). El 50% del nitrógeno y todo el fosforo se aplicó al momento de la siembra. Posteriormente, a los cuarenta días se aplicó el resto del nitrógeno para completar la fórmula. Como fuentes de fertilizantes se emplearon urea (46-00-00) y DAP (18-46-00).

#### **4.3.10. Control de malezas**

Se realizó un deshierbe de forma manual. Además, se aplicó el herbicida selectivo Lucamina (2-4 D). La aplicación se realizó de forma manual con una mochila de 15 L. Finalmente, se aplicó el herbicida selectivo para maleza de hoja angosta y para hoja ancha para post emergencia de la maleza.

#### **4.3.11. Control de plagas**

Se aplicó Clorpirifos etil 33.80% y permetrina 4.80% (KNOX-OUT), a una dosis del 0.5% para el control de gusano cogollero, ya que esta plaga es la que más se presenta en el cultivo. La aplicación se realizó de forma manual con una mochila de 15 L, dirigiendo la aspersion a las hojas y al cogollo.

#### **4.4. Cosecha**

La cosecha se realizó de forma manual. Se colectaron las mazorcas de cada unidad experimental. Cada genotipo fue cosechado en diferente costal y con su respectiva etiqueta para ser identificado posteriormente.

#### **4.5. Diseño experimental**

Para la evaluación de las variedades con ciclos de selección se utilizó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por dos surcos de cinco metros de longitud y separados a 0.75 metros.

#### **4.6. Caracteres agronómicos**

##### **4.6.1. Días a floración masculina (DFM)**

Para esta variable se contabilizó el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 % + 1 de las plantas estaban liberando polen (anthesis).

##### **4.6.2. Días a floración femenina (DFF)**

Para esta variable se registro el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 % + 1 de las plantas mostraron estigmas receptivos (2 y 3 cm de longitud).

##### **4.6.3. Altura de planta (AP)**

Se determinó con un estadal graduado (m), desde la base de la planta hasta la base de la espiga, considerando cinco plantas dentro de cada variedad tomadas al azar.



#### **4.6.4. Altura de mazorca (AM)**

Esta característica se determinó desde la base de la planta hasta el punto de inserción de la mazorca superior, tomando las mismas cinco plantas por variedad que se tomaron para altura de planta (m).

#### **4.6.5. Número de hojas abajo de la mazorca (NHBM)**

En una muestra de cinco plantas con competencia completa se contabilizó el número de hojas abajo de la mazorca, considerado solo hojas verdaderas.

#### **4.6.6. Número de hojas arriba de la mazorca (NHAM)**

En una muestra de cinco plantas con competencia completa se contabilizó el número de hojas arriba de la mazorca.

#### **4.6.7. Número de hojas total (NHT)**

Es la suma de hojas abajo y arriba de la mazorca de la muestra de las cinco plantas con competencia completa.

### **4.7. Caracteres de rendimiento y sus componentes**

#### **4.7.1. Longitud de mazorca (LM)**

En una muestra de cinco mazorcas de cada parcela útil, se determinó la longitud de la mazorca, considerando desde la base de la mazorca hasta la punta (cm).

#### **4.7.2. Diámetro de mazorca (DM)**

En una muestra de cinco mazorcas, con un vernier digital marca TRUPER se determinó el diámetro de mazorca, considerando la parte media de la mazorca (cm).

#### **4.7.3. Número de hileras por mazorca (NHM)**

En una muestra de cinco mazorcas se obtuvo el número de hileras por cada mazorca y posteriormente se calculó la media.

#### **4.7.4. Número de granos por hilera (GPH)**

En una muestra de cinco mazorcas se hizo un conteo de granos por hilera, considerando dos hileras por mazorca y el resultado se dividió entre dos (promedio).

#### **4.8. Rendimiento de campo (RC)**

Se pesaron las mazorcas de cada parcela útil (dos surcos de cinco metros de longitud).

#### **4.9. Caracteres de calidad física de la semilla**

En el laboratorio de análisis de semillas del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) se realizó la evaluación de calidad física de la semilla para los ciclos de selección. Los parámetros evaluados para calidad física, fueron peso de mil semillas (PMS, g) y peso hectolítrico (PH, kg/hL). Estos caracteres fueron evaluados con tres repeticiones para cada ciclo de selección.

#### **4.9.1. Peso de 1000 semillas**

Para determinar el peso de 1000 semillas se contaron y pesaron en una báscula granataria tres repeticiones de 100 semillas por cada genotipo y posteriormente se determinó el promedio.

#### **4.9.2. Peso Hectolítrico**

Para determinar este valor, se usó un analizador de granos electrónico marca DICKEY, modelo: GAC-2500 INTL, se evaluaron tres repeticiones por cada ciclo de selección y el resultado se expreso en  $\text{kg/hL}^{-1}$ .

#### **4.9.3. Índice de Flotación**

Para esta variable se preparó una solución de nitrato de sodio a un peso de 1.250 g/mL; para ello se utilizó una probeta de 1000 mL y se le agregó 350 mL de agua, enseguida se le adiciono tres cucharadas de nitrato de sodio y se agito un poco para que se disolviera el nitrato de sodio; ya prepara la solución se tomó con una micropipeta 1 mililitro de solución y se colocó en un tubo Eppendorf para pesarlo en la balanza analítica y verificar que estuviera en el peso de 1.250 g/mL.

Ya preparada la solución se determinó el índice de flotación seleccionando tres repeticiones de 100 granos sanos y limpios de cada material genético y dejando en reposo un minuto para que los granos flotaran o se fueran al fondo; posteriormente se registró el número de granos que ascendió a la superficie como índice de flotación.

#### 4.10. Determinación de contenido de Proteína (%)

La prueba de determinación proteína en las semillas de los ciclos de selección se realizó mediante la metodología descrita por Bradford (1976). Se realizaron dos procesos, una en solución salina (con tris-HCl 50 mM pH 8.8 NaCl 500 mM) y otra con 2-propanol al 55%. Primeramente, se molieron 20 gramos (g) de semilla de maíz de cada una de las muestras, posteriormente se pesaron 5 g de harina de maíz de cada muestra, se procedió a preparar la solución cloroformo-metanol (2:1), en la cual como solución total se utilizaron 100 mL de cloroformo y 50 mL de metanol, ya preparada la solución se colocaron en vasos de precipitado 5 g de cada muestra molida y se les agregó 25 mL de solución cloroformo-metanol, luego cada vaso de precipitado se colocó en una placa de calentamiento con agitación por 30 minutos; transcurrido el tiempo de desgrase, se filtró cada muestra con papel Whatman y se puso a secar a temperatura ambiente; enseguida se utilizaron 5 tubos Eppendorf para colocar en cada una de ellos 0.1 g de cada muestra seca y se le agregó 1 mL de 2-propanol al 55% y también se utilizaron 5 tubos Eppendorf para colocar en cada una de ellos 0.1 g de cada muestra seca y se le agregó 1 mL de tris; enseguida, los tubos se agitaron en el vortex por 25 minutos; terminado el tiempo de agitación, se centrifugaron a 14 rpm por 20 minutos; después de centrifugar, se tomó la solución de cada muestra y se pasaron a tubos Eppendorf limpios y enseguida se desechó lo que quedo en el fondo de cada tubo.

Posteriormente se utilizó una microplaca, en la cual se le colocó en cada celda 5  $\mu$ L de curva patrón de Albúmina de suero de bovino (BSA) con concentraciones de 0-500 mg/L como referencia y cada uno de los patrones fue evaluado por triplicado; se agregaron 5 mL que contenía la solución con tris y 5 mL que contenía la solución 2-propanol al 55%; enseguida se les adicionó a cada celda de la microplaca 250  $\mu$ L de Bradford con ayuda de un multicanal y finalmente se introdujo la microplaca en el Espectrofotómetro para su análisis de determinación de proteínas totales.

#### **4.11. Análisis estadístico**

Para los caracteres agronómicos evaluados se realizó un análisis de covarianza, usando la covariable número de plantas; para ello se utilizó el paquete estadístico SAS (SAS, versión 9.3). En el caso de las variables de calidad física se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias (DMS,  $p < 0.05$ ), Mientras tanto, para la variable rendimiento se utilizó un análisis de regresión lineal con ajuste de medias por mínimos cuadrados y para la variable de determinación de proteína, se realizó un análisis de regresión para la solución salina (tris), con ajuste de la línea de tendencia de forma cuadrática y para la solución de 2-propanol se realizó un análisis de regresión con ajuste polinomial.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Resultados de análisis de covarianza para caracteres agronómicos.

En la tabla 5.1 se muestra el resultado del ANOVA con la covariable número de plantas; este análisis se tuvo que realizar para corregir las diferencias en el número de plantas entre algunas parcelas, debido a que algunos ciclos de selección tuvieron pérdidas por robo de mazorcas. Este resultado nos indica que ninguna variable agronómica fue modificada por efecto de la selección, debido a que durante dicho proceso, se fueron eliminando las plantas más altas y las mazorcas más húmedas en la cosecha para evitar que los ciclos fueran de porte más alto y más tardíos, lo que ocurre normalmente si se mejora el rendimiento de grano, el cultivo se vuelve más tardío y con mayor altura de planta, pero si se reduce la altura hay menores riesgos por acame y con posibilidades de elevar la densidad de siembra; durante el desarrollo del lote de selección también se fueron eliminando las plantas que mostraban susceptibilidad a enfermedades y las que mostraban algún efecto de acame. En la variable rendimiento se observaron diferencias altamente significativas entre variedades, lo cual nos indica que la selección masal fue efectiva para incrementar la frecuencia de genes favorables; al menos un ciclo obtuvo mayor rendimiento que el compuesto original con el cual se inició el proceso de selección. Todas las variedades presentaron una respuesta estadísticamente similar en la expresión de las variables AMZ, APTA, FM, FF, NHAM y NHBM. En las repeticiones no hubo diferencias porque el ambiente puede considerarse como homogéneo entre ellas y los resultados obtenidos para el coeficiente de variación (cv) nos indican que fueron buenos (Gómez y Gómez, 1984).

Cuadro 5.1. Cuadrados medios, grados de libertad y coeficiente de variación del análisis de covarianza con una covariable (número de plantas)

F.V.	G.L.	AMZ	APTA	FM	FF	NHAM	NHBM	RDTO
Cov	1	688.72	1211.94	5.926	0.282	0.028	0.138	5.015
Vard	4	53.55ns	277.70ns	5.529ns	7.413ns	0.092ns	0.199ns	2.480**
Rep	3	386.27	784.18	17.264	8.683	0.154	1.561	0.170
Error	14	139.80	1117.48	6.386	3.836	0.209	0.196	0.293
C.V. %	--	8.91	12.84	3.23	2.49	6.58	7.19	7.27

\* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad; ns indica no significativo; Cov Covarianza; Vard Variedades; Rep Repeticiones; AMZ=altura de mazorca, APTA=altura de planta, FM=floración masculina, FF=floración femenina, NHAM=número de hojas arriba de la mazorca, NHBM=número de hojas debajo de la mazorca, RDTO=rendimiento.

## 5.2. Analisis de regresión de rendimiento.

Para este análisis de regresión se realizó el ajuste de medias por mínimos cuadrados, debido a que hubo pérdida de mazorcas en la selección masal moderna cinco (SMMV). En la (Figura 5.1) se observa, entre las medias ajustadas, que en la medida en que se agregaron ciclos de selección, se elevó el rendimiento, esto probablemente porque se seleccionaron plantas con mayor rendimiento individual sin alterar la altura de plantas ni los días a floración masculina ni femenina, por lo que, con cada ciclo de selección se mejoró la respuesta de adaptación de las nuevas variedades a las condiciones de producción bajo temporal.



Figura. 5.1. Respuesta a la selección masal estratificada en maíz, durante cinco ciclos.

1.-ORIGINAL (Ajuste: 6.301), 2.- SMEII ( Ajuste: 7.171), 3.-SMEIII (Ajuste: 7.127),  
4.-SMEIV (Ajuste: 7.898), 5.-SMEV (Ajuste: 8.732).

Con el resultado obtenido se pudo verificar que por este método de selección masal moderna o estratificada se ha mejorado el rendimiento de maíz, ya que la variedad original rindió  $6.3 \text{ t ha}^{-1}$  y como resultado del quinto ciclo de selección se obtuvo un rendimiento de  $8.7 \text{ t ha}^{-1}$ ; es decir, se elevó el rendimiento en  $2.4 \text{ t ha}^{-1}$  durante el presente trabajo, lo que en promedio se debió a un incremento de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  por ciclo; además de que la variedad producto de cada ciclo de selección mostró una respuesta similar agrónomicamente a la variedad original pero con mayor adaptación a las condiciones del ciclo Verano-Otoño 2018, por lo que esta última puede ser utilizada por productores de maíz en El Bajío. La línea de regresión ajustada obtuvo un coeficiente de determinación de 0.9334, lo que nos indica que el 93.34% de la variación en rendimiento entre los ciclos fue explicada por el modelo y sólo el 6.66% permanece sin explicar; la ganancia promedio por ciclo de selección fue de 5.59 %, lo cual concuerda con muchos reportes logrados mediante la aplicación de este



método de selección. Según Sprague y Eberhart (1977), Hallauer y Miranda (1981), y Hallauer *et al.* (1988) han obtenido resultados de la respuesta a la selección masal en maíz para rendimiento de grano, una ganancia en respuesta a la selección de 2 a 4% por ciclo; los mismos autores enfatizan que la selección recurrente conducida apropiadamente puede incrementar en forma efectiva la frecuencia de alelos favorables para rendimiento de grano. En estudios realizados para medir la respuesta a la selección, Vargas *et al.* (1982) informaron ganancias en rendimiento de riego y temporal fueron de 4.1 y 2.0%, por ciclo de selección respectivamente.

### 5.3. Calidad Física de la Semilla

En la Tabla 5.2 se muestra el análisis de varianza en calidad física del grano de las variedades con ciclos de selección, presentando diferencia significativa en la variable de Peso Hectolitrico (PHL), indicando que hubo diferencias en las variedades o tuvieron valores diferentes en esa variable evaluada, mientras tanto en peso de mil semillas (PMS) e Índice de Flotación (IF) no se encontraron diferencias significativas.

Tabla 5.2. Cuadrados medios, grados de libertad y coeficiente de variación del análisis de varianza para las variables de calidad física de variedades con ciclos de selección.

F.V.	G.L.	PHL (Kg/hL <sup>-1</sup> )	PMS (g)	IF (%)
Vard	4	14.481 *	14.829ns	5.900ns
Rep	2	19.135	13.997	3.266
Error	8	3.611	13.037	8.100
C.V %	--	2.589	12.283	104.12

\* indica significancia estadística al nivel 0.05 de probabilidad; ns indica no significativo; PHL=peso hectolitrico, PMS=peso de mil semillas, IF=índice de flotación.

En la Tabla 5.3. se presenta la prueba de comparación de medias, que muestra diferencias en la variable de Peso Hectolitrico (PHL) para las variedades con ciclos de selección; los resultados indican que existió una tendencia a reducir el PHL en la medida en que se avanzó el proceso de selección, pero esta diferencia no se dio en el peso del grano (PMS), ni en el índice de flotación, ya que en ambas variables, la respuesta de todos los genotipos fue estadísticamente la misma.

Tabla 5.3. Comparación de medias (DMS,  $p=0.05$ ). para las variables de calidad física; peso hectolitrico, peso de mil semillas e índice de flotación de todos los ciclos de selección.

VARIETADES	PHL (Kg hL <sup>-1</sup> )	PMS (g)	IF (%)
ORIGINAL	75.027a	29.320a	4.333a
SMEII	75.040a	28.780a	2.333a
SMEIII	74.313a	29.073a	3.667a
SMEIV	72.700ab	32.967a	2.667a
SMEV	69.843b	26.840a	0.667a
DMS	3.578	6.798	5.358

Medias con la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales. (DMS,  $p<0.05$ ), PHL= Peso Hectolitrico; PMS= Peso de mil semillas; IF= Índice de flotación.

La norma de certificación y calidad de semillas de la ISTA (2004), establece para maíz un peso hectolitrico de 75 kg hL<sup>-1</sup>; en este análisis de las variedades con ciclos de selección que entraron en este rango son "ORIGINAL" y "SMEII". Las variedades "SMEIII", "SMEIV" y "SMEV" no alcanzaron los 75 kg hL<sup>-1</sup> que establece la norma. Mientras que en la norma NMX-FF034 (2002), el valor considerado como normal es de 74 kg hL<sup>-1</sup> para fines de comercialización para consumo humano y que se encuentra dentro del rango óptimo para industria de la nixtamalización, la variedad "SMMIII" se encuentra cercana a esta norma.

La variedad "SMEII" presentó mayor peso hectolitrico con respecto a las demás, esto se debe a que las semillas pequeñas se acomodan mejor en el hectolitro, de tal

manera que los huecos entre granos son mas reducidos y dejan más espacio para más granos.

### **5.5. Análisis de regresión de determinación de proteína.**

#### **Determinación de proteína con solución salina (tris-HCl 50 mM pH 8.8 NaCl 500 mM)**

Para la cuantificación de estos resultados se utilizó la espectrofotometría mediante la técnica de Bradford para determinar las proteínas totales y a partir de los resultados obtenidos de la curva de absorbancia por espectrofotometría de cada ciclo de selección, se realizó el análisis de regresión con un ajuste de la línea de tendencia de forma cuadrática, debido a que la línea de regresión lineal no se ajustó a los puntos de dispersión en los ciclos de selección. En la (Figura 5.2) se observa el método de solución salina (tris-HCl 50 mM pH 8.8 NaCl 500 mM) para determinar proteína total. Los resultados de determinación de proteína total que se obtuvieron fueron ORIGINAL=102.33 mg/mL, SMEII=129.44 mg/mL, SMEIII=153.22 mg/mL, SMEIV=124.56 mg/mL, SMEV=139.22 mg/mL. Este resultado nos indica que la variedad "SMEIII" Contiene más unidades de proteína total y la variedad "ORIGINAL" fue la de menor contenido de unidades de proteína total.



Figura. 5.2. Determinación de proteína total en maíz con solución salina (tris).

Con este resultado se hizo evidente que la determinación de proteína total, utilizando una solución salina con el reactivo Bradford, los resultados de absorbancia se comportaron de manera diferente, habiendo una variación alta en la “SMEIII” y “SMEV”; sin embargo, a pesar de la variación nos indicó que se ha mantenido el contenido de proteína al incrementar los ciclos de selección; esta es una respuesta positiva, ya que a pesar del incremento en el rendimiento, el contenido de proteína se ha mantenido. La tendencia mostrada con el modelo de regresión cuadrática ajustado nos indica que el contenido de proteína tiende a disminuir con el incremento en el rendimiento. El contenido de proteína es influenciado por la fertilización nitrogenada, aunque en este caso se optó por mantener una dosis baja debido a las condiciones de siembra de temporal.

### **Determinación de proteína (2-Propanol al 55%)**

Para la cuantificación de estos resultados se utilizó la espectrofotometría mediante la técnica de Bradford para determinar las proteínas totales y a partir de los resultados obtenidos de la curva de absorbancia por espectrofotometría de cada ciclo de

selección, se realizó un análisis de regresión con ajuste polinomial, debido a que se ajusto a los valores de dispersión de las variedades con ciclos de selección. En la (Figura. 5.3) se observa el método utilizado de 2-Propanol al 55% para determinar proteína, nos indica como resultado, que se mantuvo el contenido de proteína al incrementar los ciclos de selección. Los valores de determinación de proteína total que se obtuvieron fueron ORIGINAL=103.89 mg/mL, SMEII=98.78 mg/mL, SMEIII=99.89 mg/mL, SMEIV=114.56 mg/mL, SMEV=95.00 mg/mL. Este resultado nos indica que la variedad “SMEIV” Contiene más unidades de proteína total y la variedad “SMEV” es la de menor contenido de unidades de proteína total. Con esta determinación, el modelo no ajusta adecuadamente.



Figura 5.3. Determinación de Proteína total en maíz con 2-Propanol al 55%.

A medida que se aumentaron los ciclos de selección, se ha mantenido el contenido de proteína, sin embargo, se esperaría que, a mayor cantidad de ciclos de selección de las variedades y el rendimiento, se disminuyera el contenido de proteína.

## VI. CONCLUSIONES

En la prueba de calidad física, para la variable de peso hectolítrico, sólo las variedades de ciclos de selección “ORIGINAL” y “SMEII” alcanzaron el mayor peso hectolítrico de 75 kg hL<sup>-1</sup>, por lo cual estos valores se encontraron dentro de la norma de certificación y calidad de semillas de la ISTA (2004).

La SME fue efectiva en incrementar el rendimiento de grano por unidad de superficie. En el análisis de regresión para rendimiento se encontró una ganancia genética de 2.4 t ha<sup>-1</sup> por ciclo (5.59%), por lo cual se observó que el método propuesto por Gardner (1961) es efectivo y nos dio como resultado, que a medida que se aumentan los ciclos de selección, se obtiene una ganancia en rendimiento, esto debido a que se seleccionaron plantas con mayor rendimiento y a su vez se eliminaron plantas altas y tardías que modificaron la precocidad y se ha adaptaron al temporal de producción en El Bajío.

Finalmente, el mejor ajuste en determinación de proteína se logró con el método salino, con un R<sup>2</sup> de 0.63 y además presentó una regresión con tendencia cuadrática en comparación a los resultados obtenidos con la solución 2-propanol al 55% con un R<sup>2</sup> menor que .1. Por lo cual, este resultado nos indicó que se mantuvo el contenido de proteína y no se encontró mayor dispersión en los resultados de los valores de absorbancia por espectrofotometría para los ciclos de selección.

**VII. LITERATURA CITADA**

- Aguiluz, A. (1998). Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en ambientes de Centroamérica, Panamá y el Caribe en 1996. *Agronomía Mesoamericana*, 9(1), pp. 28-37.
- Allard, R. W. (1980). Principios de la Mejora Genética de las Plantas. Montoya, J. L. (trad.) 4a ed. Omega. Barcelona, España. 498 p.
- Ángeles A., H. H. (1961). Comentarios sobre la selección masal en el pasado y sus posibilidades en los programas actuales de mejora- miento de maíz. In: XII Reunión del PCCMCA. 20-23 de febrero de 1961. Tegucigalpa, Honduras. pp: 18-24.
- Baradas, M. W. (1994). Crop requirements of tropical crops. In: Handbook of agricultural meteorology. J.F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York. pp. 189-202.
- Bello P., L. A.; Osorio D., P.; Agama A., E.; Núñez S., C., y Paredes L., O. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masa y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36 (1), pp.319-328.
- Bellon, M. R. (2009). Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. En Capital natural de México, vol II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. pp: 355-382.
- Benacchio, S.S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Bergvinson, D. J.; Ramírez, A.; Flores, D. y García L., S. (2007). Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos. México, D. F. CIMMYT 2008. Boletín: impulso a la producción de maíz en el Estado de México. 5(2):24-26.
- Boege, K. (2009). Centro de origen, pueblos indígenas y diversidad del maíz. *Ciencias*. 92-93 pp: 18-28 pp.
- Borlaug, N. (1983). Mejoramiento de Plantas y Producción Mundial de Alimentos. S. I. American Association for the advancement of science. 6 p.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. *Analyt. Biochem.* 72: 248- 254.

- Briggs, F. N. y Knowles, P. F. (1967). *Introduction to Plant Breeding*. Reinhold Publishing Corp. 426 p.
- Bush, G. (2005). Fertilización nitrogenada en maíz en la región chaqueña. Análisis de respuesta del cultivo mediante un balance de nitrógeno. Argentina: IPNI, pp.12-23.
- Castañeda J. (2011). Una visión sobre la importancia de la diversidad del maíz en México (Consultado el 20 de abril del 2018).  
<http://www.sjsocial.org/crt/articulos/762castaneda.html>
- Castillo G., F. (1993). Aprovechamiento de la diversidad genética del maíz en México. In: *Memorias del II Congreso Latinoamericano de Genética. XV Congreso de Fitogenética*. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Monterrey. N.L., México. pp:78-98.
- Celis A., H. G. (1983). Metodología de investigación en maíz. Centro de investigación agrícola de la mesa central, México. Pp. 10-13.
- CIMMYT. (2016). Calidad de grano para técnicos postcosecha. México: Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo, pp. 1-52.
- CIMMYT, (2017). Germoplasma del CIMMYT en el mundo. La revista de la agricultura de conservación. 5 p.
- Chávez, J. (1995). *Mejoramiento de Plantas 2. Métodos Específicos de Plantas Alógamas*. pp: 21-50.
- Compton, W. A.; Mumm R. F. and Mathema B. (1979). Progress from adaptative mass selection in incompletely adapted maize population. *Crop Sci.* 19: 531-533 pp.
- Coyac R., J. L.; Molina G., J. D.; García Z., J. J. y Serrano C., L. M. (2013). La selección masal permite aumentar el rendimiento sin agotar la variabilidad genética aditiva en el maíz Zacatecas 58. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36 (1): 53 – 62.
- Cruz-Lázaro, E.; Córdoba-Orellana, H.; Estrada-Botello, M.; Mendoza-Palacios, J.; Gómez-Vázquez, A.; y Brito-Manzano, N. (2009). Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y ciencia*, 25(1), pp. 93-98.



- Cubero, J. (1999). *Introducción a la Mejora genética Vegetal*. Ediciones Mundiprensa. Barcelona - España. Pp: 117-132.
- Doorenbos, J. y Kassam A., H. (1979). *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 33. FAO. Roma. 212 p.
- FAO (2000). *ECOCROP*. Version Online [www.ecocrop.fao.org](http://www.ecocrop.fao.org). FAO. Roma, Italia.
- FAO, SAGARPA (2014) *México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. México DF. 439 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – Statistics Division (FAOSTAT) 2017. *Production quantities by country*. Obtenido de la red [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Figuroa J, D. C.; Mauricio, R. A.; Taba, S.; Morales, E.; Mendoza, G. A.; Rincón, S. F.; Reyes, L. M. y Véles, J. J. (2005). Kernel characteristics and tortilla making quality of maize accessions from Mexico, the Caribbean, and South and Central America. In: *Latin American Maize Germplasm Conservation: Regeneration, in situ Conservation, Core Subsets, and Prebreeding*. S Taba (ed). *Proceedings of a Workshop held at CIMMYT*. CIMMYT. 71 p.
- García, J.; López J., R.; Molina G., J. y Cervantes T., S. (2002). Selección masal visual estratificada y de familias de medios hermanos en una cruda intervarietal F2 de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:387-391.
- Gardner, C. O. (1961). An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. *Crop Sci.* 1: 241-245.
- Gómez, K. A. and Gómez, A. A. *Statistical procedures for agricultural research*. 2nd. Ed. John Wiley Inter Science, Hoboken, NJ, USA. 680 p.
- Gómez-Montiel, N. O.; Cantú-Almaguer, M. A.; Hernández-Galeno, C. A.; Vázquez-Carrillo, M. G.; Aragón-Cuevas, F.; Espinosa-Calderón, A. y Palemón Alberto, F. (2014) V-236 P, cultivar de maíz Pepitilla para regiones de montaña baja. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 7*, p. 1309-1313.
- Gutiérrez S., J. R. y Luna F., M. (2002). Riego, densidad de plantas y fertilización nitrogenada en producción de maíz híbrido en Zacatecas. *Agricultura Técnica en México*, 28(2), pp. 95-103.
- Gutiérrez-Coronado, M.; Coronado-Amaya, E.; Vázquez-Ortíz, F.; López-Franco, Y.; & Ortega-Corona, A. (2010). Caracterización física y química de maíz de calidad proteínica mejorada. *Journal of food*, 7(2), pp. 111 - 118.

- Hallauer, A. R. and Sears, J. H. (1972). Integrating exotic germplasm into corn belt maize breeding programs. *Crop Sci.* 12: 203-208.
- Hallauer, A. R. y Miranda, J. B. (1981). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State Univ. Press. Ames. 468 p.
- Hallauer, A. R. (1985). Compendium of recurrent selection methods and their application. *Crit. Rev. Plant Sci.* 3: 1-33.
- Hallauer, A. R. and Miranda, J. B. (1988). *Quantitative genetics in maize breeding*. Second Edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa. Pp: 159-179, 282-289 y 486.
- Hallauer, A. R. (1994). Recurrent selection in maize. *Plant Breeding Rev.* 9: 115-179.
- Hallauer, A. R.; Carena, M. J. and Miranda, J. B. (2010). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 3rd ed. Springer-Verlag New York Inc. 680 p.
- ICTA, (1984). Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. Sector Público y Agropecuario y de Alimentación. Método de selección masal estratificada. Folleto técnico 20, 2a Ed. Pp: 2-16.
- ISTA. (2004). International Seed Testing Association. International Rules For Seed Testing. Ed. Baessersdorf, CH-Switzerland.
- Imbachí Narváez, P. C. (2011). Evaluación de la calidad de recetas típicas del departamento de Cauca-Colombia elaboradas con maíz común y con maíz biofortificado con más lisina y triptófano. Universidad de Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias, p. 75.
- Jugenheimer, R. W. (1988). *Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas*. Edit. Limusa. Ed. 1. México. D.F.
- Kato, Y. T. A. (2009). Cytological studies of maize (*Zea mays* L.) and teosinte (*Zea mexicana* Schrad. Kuntze) in relation to their origin and evolution. *Mass. Agric. Expt. Sta. Bull.* 635 p.
- López-Bucio, J.; Cruz-Ramírez, A. y Herrera-Estrella, L. (2003). The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 280-287.
- Lonnquist, J. H. (1964). A modification on the ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. *Crop Sci.* 4:227-228.
- Márquez S., F. (1985). *Genotecnia Vegetal; Métodos, Teoría, Resultados*. Ed. AGT. V 1 México. Pp: 43-52.

- Márquez S., F. (1987). Sistemas, métodos y estrategias en el mejoramiento genético del maíz. (*Zea mays* L.). *Ciencia* 38:205-216.
- Márquez S., F.; Sahagún C., L.; Carrera J., A. y Barrera, E. (2000). Retrocruza limitada para el mejoramiento de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 51 p.
- Martínez Z., G.; Molina G., J. D.; Castillo G., F. y Livera M., M. (2000). Magnitud y linealidad de la respuesta a la selección masal en maíz en función de los ambientes de selección y de evaluación. *Agrociencia*, vol. 34, núm. 4, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp. 429-436.
- Mejía C., J. A. y Molina G., J. D. (2002). Respuesta a la selección en variedades tropicales de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 25, núm. 3, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp. 305-310.
- Molina G., J. D. (1983). Selección masal visual estratificada en maíz. Publicación Especial. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 36 p.
- Molina G., J. D. (1990). Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. In: Resúmenes XIII Congreso Nacional Fitogenética. 3-7 de septiembre. Cd. Juárez, Chih. 344 p.
- Molina G., J. D. (1992). Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. AGT Editor. 349 p.
- NMX-F-068-S-1980. (1980). NMX-F-068-S-1980. Alimentos. Determinación de proteínas. Normas Mexicanas, pp. 1-3.
- Oropesa J., P. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento y calidad en trigo y cebada. Pontificia Universidad católica Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias, p. 30.
- Ortega R., C. y Ochoa B., R. (2003). El maíz: un legado de México para el mundo. *Claridades Agropecuarias*. pp: 3-16.
- Ortiz C., J. (1993). El fitomejoramiento como disciplina científica. *Ciencia. Rev. Academia de la investigación científica*. México. Vol 444. Pp: 85-94.
- Pagani, A., Sainz, H., & Barberi, P. (2008). Dosis óptima económica de nitrógeno en Maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*, 39, pp.183-193.

- Paliwal, R. L.; Granados G, R. H.; Lafitte, A. D.; Violic, J. P. y Marathee. (2001). El maíz en los trópicos mejoramiento y producción. Editorial FAO. Roma. Pp: 107-123.
- Palacios-Rojas, N. (2018). Calidad nutricional e industrial de Maíz: Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz "Evangelina Villegas". CIMMYT, pp. 35-56.
- Pandey, S. H.; Ceballos, C. y Gardner, C. O. (1991). Selección Recurrente de Maíces Tropicales. In IICA-BID-PROCIANDINO. Quito. Pp: 27-67.
- Pandey, S. H. y Gardner, C. O. (1992). Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron.* 48:1-87.
- Paterniani, E. (1990). Maize breeding in the tropics. *Crit. Rev. Plant Sci.* 9: 125-154.
- Pérez C., A.; Molina G.; J. D. y Martínez G., A. (2000). Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia* 34: 533-542.
- Pérez, C. A., Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. (2002). Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz de México por selección masal visual. Rendimiento, altura de planta y precocidad. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 25 (4): 435 – 441.
- Purseglove, J. W. (1985). Cultivos tropicales. Monocotiledóneas Harlow, Reino Unido, pp: 142-144.
- Reyes C., P. (1985). *Fitogenética Básica y Aplicada*. Primera edición. AGT. Editor, S.A. México D.F. Pp: 384-460.
- Reyes C., P. (1990). *El maíz y su cultivo*. AGT-EDITOR S.A. México, D.F
- Robles S., R. (1986). *Genética Elemental y Fitomejoramiento Práctico*. Editorial Limusa, México. Pp: 43-52.
- SAGARPA.(2006). Informe de la calidad del trigo (ciclo otoño/invierno 2005/2006). México: Sagarpa, pp.1-4.
- Salvagiotti, F., Castellarin, J. M., Ferragut, F. J., y Pedrol, H. M. (2011). Dosis optima económica de nitrógeno en la región pampeana norte. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*, 29(2), pp. 199-212.

- San Vicente, F.M. and Hallauer, A. R. (1993). Mass selection for adaptation in Antigua maize (*Zea mays* L.) composite. *J. Iowa Acad. Sci.* 100: 9-12.
- Sánchez G, J. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59.
- Shauman, W. y Gardner, C.O. (1970). Efecto de la selección masal en tres poblaciones de una variedad de polinización abierta. *Univ. Neb., Lincoln, Estados Unidos. Agronomía.* pp.19-20.
- SIAP. (2010). Situación actual y perspectivas del maíz en México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx>.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera) 2018. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en <http://www.siap.gob.mx>.
- Sprague, G. F. (1966). Quantitative genetics in plant improvement. In: *Plant Breeding Symposium at Iowa State University.* K J Frey (ed). Ames, IA. Pp: 315-354.
- Sprague, G. F. and Eberhart, S. A. (1977). Corn Breeding. In: Sprague, G. F. (Eds.). *Corn and Corn Improvement Am. Soc. Agron. Inc., Madison Wisconsin.* pp: 335-336.
- Tirso-Gómez, F. A. (2017). Evaluación de tres densidades de población en hembra de maíz para la producción y calidad de la semilla de un híbrido simple. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Dpto. Fitomejoramiento,* pp. 9-25.
- Torregrosa C., M. y Arias F., E. (1970). Selección masal por prolificidad y rendimiento en la variedad de maíz ICA V-522. *Fit. Lat.* 7(2):55-70.
- Turrent F., A.; Wise, T. A. y Garvey, E. (2012). Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz en México. *Mexican Rural Development Research Report. Reporte.* Pp:24-36.
- Vargas S., J. E.; Molina G., J. D. y Cervantes S., T. (1982). Selección masal y parámetros genéticos en la variedad de maíz Zac. 58. *Agrociencia* 48:93-105.
- Vázquez Carrillo, M. G., Mejía A., H., Salinas Moreno, Y., & Santiago Ramos, D. (2013). Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteica. *Fitotecnia Mexicana,* 36(3), pp. 225-232.

- Vivek, B. S., Krivanek, A. F., Palacios-Rojas, N., Twumasi-Afriyie, S., & Diallo, A. O. (2008). Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM). centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1(2), pp. 3-14.
- Warrington, I. J. y Kanemasu E.T. (1983). Corn growth response to temperature and photoperiod. I. Seedling emergence, tassel initiation and anthesis. Agron. J., 75:749-754.



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Roque

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROQUE**

**T E S I S**

**PRUEBAS DE VIGOR PARA LA CALIDAD DE SEMILLA DE JÍCAMA**  
*(Pachyrhizus erosus L.)*

**QUE PRESENTA**

**LETICIA RODRÍGUEZ ZARATE**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

**DIRECTOR: DR. FRANCISCO CERVANTES ORTIZ**  
**CO-DIRECTOR: DR. GILBERTO RODRÍGUEZ PÉREZ**

**ROQUE, CELAYA, GUANAJUATO, MÉXICO.**

**JULIO, 2020**

La tesis “**Pruebas de vigor para la calidad de semilla de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.)**”, fue realizada por la alumna **Leticia Rodríguez Zárate**, bajo la dirección del Dr. Francisco Cervantes Ortiz y asesoría de Dr. Gilberto Rodríguez Pérez, Dr. J. Guadalupe García Rodríguez y Dr. Ricardo Yáñez López, revisada y aprobada por el H. Comité Tutorial conforme a las Bases Normativas para la elaboración de Tesis de Posgrado del Tecnológico Nacional de México, como requisito parcial para la obtención del grado de:

## **MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**

### **H. COMITÉ TUTORIAL**

**Director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Francisco Cervantes Ortiz**

**Cédula: 6758831**

**Co-director:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Gilberto Rodríguez Pérez**

**Cédula: 8612050**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. J. Guadalupe García Rodríguez**

**Cédula: 11865078**

**Asesor:**

\_\_\_\_\_

**Dr. Ricardo Yáñez López**

**Cédula: 9236755**



## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por darme la fuerza y salud para seguir adelante. Por ser mi guía y maestro de vida. Gracias señor por darme una hermosa familia, por todo tu amor, bondad y misericordia.

### **A MIS PADRES**

Marina Zarate Espinoza y Fidel Rodríguez Ramírez

Por guiarme a lo largo de este camino, por amarme y protegerme. Por cada uno de los sacrificios realizados para mi educación.

### **A MI ESPOSO**

Miguel Ángel Noriega Carmona

Por su amor, cariño y apoyo incondicional, por ser mi amigo y compañero de vida.

### **A MIS HERMANOS**

Mayra, Jesús, Luz María, María Guadalupe y Agustín

Por ser mis compañeros y amigos incondicionales. Espero que siempre nos mantengamos unidos que exista comunicación, aunque sea a distancia, con ustedes he compartido tantos buenos momentos. Gracias por el apoyo que me han brindado, los amo.

### **A MIS SOBRINOS**

Fernando, Alan, Leonardo, Angel, Ariel, Uriel, Gisell, Carmen, Mateo, José y Rafael

A ellos que son mi motivación para seguir superándome profesionalmente, a quienes amo y me hacen ser un mejor ser humano.

### **A MI ASESOR.**

Dr. Francisco Cervantes Ortiz, por su disposición y apoyo durante el presente trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al Tecnológico Nacional de México-Roque;** por abrirme las puertas y darme las herramientas necesarias, para desarrollarme académicamente y culminar mis estudios de maestría.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT);** por el apoyo económico con la beca otorgada, que me ha permitido concluir satisfactoriamente mis estudios de Maestría en Ciencias.

**A mis directores y asesores;** Gracias por darme todo su apoyo para poder llevar a cabo y culminar este trabajo de investigación, gracias por el tiempo que dedicaron a este trabajo, gracias por su amistad y apoyo.

Dr. Francisco Cervantes Ortiz

Dr. Gilberto Rodríguez Pérez

Dr. J. Guadalupe García Rodríguez

Dr. Ricardo Yáñez López

**A mis amigos y familiares;** Gracias por su apoyo incondicional y por darme ánimos cuando lo necesite: Guadalupe Margarito, José García, José Alfonso, Francisco Cervantes Ortiz, Yanet Viveros Lagunes, Jacqueline Sierra Celedón, Dulce María Alvarado, Carlos Piña Hurtado, Yuvia Encinas Carmona, Manuel Jerónimo Arriaga, Mauricio Lino Miranda, Arnol Lino Miranda, María Fernanda Meléndez Medina, Ana Isabel Pérez Ceja, Ivonne Raquel García, María del Carmen Rico, Eduardo Mendoza Ramos, Emmanuel Pérez, Natanael Pérez y Héctor Pérez Loredo.

A todos aquellos que de alguna manera me apoyaron en el desarrollo de este proyecto. Gracias

**ÍNDICE GENERAL**

	Pág.
ÍNDICE GENERAL .....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
SUMMARY .....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
2.3. Hipótesis .....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
3.1. Importancia del cultivo .....	4
3.2. Producción mundial .....	4
3.3. Producción nacional.....	5
3.4. Producción en el estado de Guanajuato .....	7
3.5. Origen del cultivo de la jícama .....	8
3.6. Morfología de la jícama.....	9
3.6.1. Raíz.....	10
3.6.2. Tallo .....	10
3.6.3. Hojas .....	10
3.6.4. Flores .....	11
3.6.5. Semilla .....	12
3.7. Calidad de semilla .....	12
3.7.1. Calidad genética.....	13
3.7.2. Calidad sanitaria.....	13
3.7.3. Calidad física.....	14
3.7.3. Calidad fisiológica .....	14

3.8. Factores que afectan la calidad de la semilla .....	15
3.9. Análisis de calidad de semilla .....	17
3.9.1. Pruebas físicas.....	17
3.9.1.1. Análisis de pureza .....	17
3.9.1.2. Peso hectolítrico .....	18
3.9.1.3. Peso de mil semillas .....	18
3.9.1.4. Contenido de humedad .....	18
3.10.2. Pruebas fisiológicas .....	19
3.10.2.1. Germinación estándar .....	19
3.10.2.2. Vigor .....	19
3.10.2.2.1. Prueba de envejecimiento acelerado.....	20
3.10.2.2.2. Prueba de conductividad eléctrica .....	20
3.10.2.2.3. Prueba topográfica de tetrazolio .....	20
3.10.2.2.4. Soak test.....	21
3.10.2.2.5. Cold test.....	21
3.10.2.2.6. Vigor inicial de plántula en cama de arena .....	22
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
4.1. Sitio experimental .....	23
4.2. Diseño experimental .....	23
4.3. Material genético (semilla de jícama).....	30
4.4. Manejo agronómico .....	31
4.5. Calidad fisiológica .....	32
4.5.1. Germinación estándar .....	32
4.5.2. Vigor.....	33
4.5.2.1. Prueba de envejecimiento acelerado.....	33
4.5.2.2. Soak test.....	34
4.5.2.3. Prueba de conductividad eléctrica .....	35
4.5.2.4. Prueba topográfica de tetrazolio .....	36
4.5.2.5. Cama de arena o vigor inicial de plántula .....	37
4.5.2.5.1. Porcentaje de emergencia .....	38

4.5.2.5.2. Velocidad de emergencia.....	38
4.5.2.5.3. Longitud de plántula .....	39
4.5.2.5.3. Longitud de radícula.....	39
4.5.2.5.4. Peso fresco de plántula.....	39
4.5.2.5.5. Peso fresco de raíz .....	39
4.5.2.5.6. Peso seco de plántula .....	39
4.5.2.5.7. Índice de vigor I y II .....	39
4.5.2.6. Vigor en Campo.....	40
4.6. Análisis estadístico .....	41
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
5.1. Germinación estándar.....	42
5.2. Prueba de envejecimiento acelerado.....	44
5.3. Soak test.....	57
5.4. Prueba de conductividad eléctrica .....	60
5.5. Prueba de viabilidad de tetrazolio al 1% .....	66
5.6. Prueba de viabilidad de tetrazolio al 0.5% .....	76
5.7. Cama de arena .....	93
5.8. Vigor en Campo .....	94
VI. CONCLUSIONES .....	97
VII. LITERATURA CITADA.....	104

	Pág.
<b>Cuadro 3.1.</b> Producción mundial de raíces y tubérculos. ....	5
<b>Cuadro 3.2.</b> Superficie sembrada para la producción de jícama 2019. ....	6
<b>Cuadro 3.3.</b> Principales estados productores de jícama en México 2019. ....	6
<b>Cuadro 3.4.</b> Producción nacional de jícama en los últimos 4 años.....	7
<b>Cuadro 3.5.</b> Producción de los últimos 5 años para semilla de jícama a nivel nacional.....	7
<b>Cuadro 3.6.</b> Superficie sembrada en el estado de Guanajuato 2018. ....	7
<b>Cuadro 3.7.</b> Producción de los últimos 5 años de jícama en Guanajuato. ....	8
<b>Cuadro 4.1.</b> Descripción de los tratamientos prueba de germinación estándar. ....	23
<b>Cuadro 4.2.</b> Descripción de los tratamientos para la prueba de envejecimiento acelerado. ....	24
<b>Cuadro 4.3.</b> Descripción de los tratamientos para soak test. ....	25
<b>Cuadro 4.4.</b> Descripción de los tratamientos para la prueba de conductividad eléctrica.....	25
<b>Cuadro 4.5.</b> Descripción de los tratamientos para la prueba topográfica de tetrazolio al 1%. ....	26
<b>Cuadro 4.6.</b> Descripción de los tratamientos para la prueba topográfica de tetrazolio al 0.5%. ....	28
<b>Cuadro 4.7.</b> Características del cultivo de jícama.....	30
<b>Cuadro 5.1.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para germinación 1 y 2. ...	42
<b>Cuadro 5.2.</b> Prueba de comparación de medias para germinación a los 9 días (G1) y germinación a los 16 días (G2) en los Factores A y B. ....	43
<b>Cuadro 5.3.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para la prueba de envejecimiento acelerado variable Germinación a los 16 días (G2). ...	44

<b>Cuadro 5.4.</b> Prueba de comparación de medias de la variable germinación a los 16 días en los Factores A, B, C y D. ....	46
<b>Cuadro 5.5.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días en la interacción de los Factores A*B. ....	47
<b>Cuadro 5.6.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días en la interacción de los Factores A*C. ....	47
<b>Cuadro 5.7.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días en la interacción de los Factores A*D. ....	48
<b>Cuadro 5.8.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores B*C. ....	49
<b>Cuadro 5.9.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores B*D. ....	49
<b>Cuadro 5.10.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores C*D. ....	50
<b>Cuadro 5.11.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores A*B*C. ....	51
<b>Cuadro 5.12.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores A*B*D. ....	52
<b>Cuadro 5.13.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores A*C*D. ....	53
<b>Cuadro 5.14.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores B*C*D. ....	54
<b>Cuadro 5.15.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los factores A*B*C*D. ....	55
<b>Cuadro 5.16.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para la prueba de soak test en la variable de germinación a los 16 días (G2). ....	57
<b>Cuadro 5.17.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) para los Factores A, B y C. ....	58
<b>Cuadro 5.18.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) para la interacción de los Factores A*B. ....	59

<b>Cuadro 5.19.</b> Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores B*C. ....	60
<b>Cuadro 5.20.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para conductividad eléctrica.....	60
<b>Cuadro 5.21.</b> Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica en los Factores A, B y C. ....	61
<b>Cuadro 5.22.</b> Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica en la interacción de los Factores A*B. ....	63
<b>Cuadro 5.23.</b> Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica en la interacción de los Factores A*C. ....	64
<b>Cuadro 5.24.</b> Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica en la interacción de los Factores B*C. ....	65
<b>Cuadro 5.25.</b> Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica para la interacción de los Factores A*B*C. ....	65
<b>Cuadro 5.26.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para la prueba de viabilidad al 1% en semilla de jícama.....	67
<b>Cuadro 5.27.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables en los Factores A, B, C y D. ....	68
<b>Cuadro 5.28.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*B.....	69
<b>Cuadro 5.29.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*C. ....	70
<b>Cuadro 5.30.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*D. ....	71
<b>Cuadro 5.31.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B*C. ....	72
<b>Cuadro 5.32.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B*D. ....	72
<b>Cuadro 5.33.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables en la interacción de los Factores C*D. ....	73



<b>Cuadro 5.34.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables en la interacción de los Factores A*B*D.....	74
<b>Cuadro 5.35.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para la prueba de viabilidad en tetrazolio al 0.5 % en semilla de jícama. ....	76
<b>Cuadro 5.36.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables en los Factores A, B, C y D. ....	77
<b>Cuadro 5.37.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*B.....	78
<b>Cuadro 5.38.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*C. ....	79
<b>Cuadro 5.39.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*D. ....	79
<b>Cuadro 5.40.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B*C. ....	80
<b>Cuadro 5.41.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B*D. ....	81
<b>Cuadro 5.42.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores C*D. ....	82
<b>Cuadro 5.43.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*B*C.....	83
<b>Cuadro 5.44.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*B*D.....	84
<b>Cuadro 5.45.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*C*D. ....	86
<b>Cuadro 5.46.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B*C*D. ....	88
<b>Cuadro 5.47.</b> Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A*B*C*D.....	90
<b>Cuadro 5.48.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en cama de arena .....	93

<b>Cuadro 5.49.</b> Prueba de comparación de medias para variables evaluadas en cama de arena.....	94
<b>Cuadro 5.50.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia evaluado en campo. ....	95
<b>Cuadro 5. 51.</b> Prueba de comparación de medias para velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia.....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 3.1.</b> Producción de raíces y tubérculos por país (FAOSTAT, 2018).....	5
<b>Figura 3.2.</b> Cultivo de jícama ( <i>Pachyrhizus erosus</i> L.) .....	9
<b>Figura 3.3.</b> Raíz, tallo y hojas de la jícama ( <i>Pachyrhizus erosus</i> L.) .....	10
<b>Figura 3.4.</b> Flores y hojas del cultivo de jícama ( <i>Pachyrhizus erosus</i> L.) .....	11
<b>Figura 3.5.</b> Vainas y semillas de jícama ( <i>Pachyrhizus erosus</i> L.).....	12
<b>Figura 4.1.</b> a) Plántulas normales, b) Plántulas anormales. ....	32
<b>Figura 4.2.</b> Prueba de germinación estándar, a) Proceso de siembra, b) tacos para introducir a estufa c) Evaluación, plántulas normales y anormales. ....	33
<b>Figura 4.3.</b> Prueba de envejecimiento acelerado. ....	34
<b>Figura 4.4.</b> Proceso Soak test. ....	35
<b>Figura 4.5.</b> Prueba de conductividad eléctrica.....	36
<b>Figura 4.6.</b> Prueba topográfica de tetrazolio.....	37
<b>Figura 4.7.</b> Siembra de cama de arena. ....	37
<b>Figura 4.8.</b> Corte de plántulas a los 24 días después de la siembra. ....	38
<b>Figura 4.9.</b> Prueba de vigor en campo. ....	40

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación consistió en la estandarización de los procedimientos de análisis de semillas en tres genotipos de semilla de jícama para germinación estándar, vigor a través de la prueba de envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica, viabilidad de semilla con la prueba de tetrazolio y prueba de remojo o Soak Test. Para alcanzar este objetivo se utilizaron tres genotipos, diversas temperaturas en la germinación, diferentes tiempos de remojo en la prueba de soak test y en la prueba de conductividad eléctrica, diferentes tiempos de exposición en envejecimiento acelerado y dos concentraciones en la prueba de tetrazolio, así como diversos tiempos de pretratamiento en agua y en la solución de tetrazolio. Para GE se identificó que la temperatura óptima para realizar la prueba es a 30 °C. En la prueba de EA se sugiere realizarla a una temperatura de envejecimiento de 42 °C con un periodo de 24 horas y temperatura de germinación de 25 °C, ya que bajo estas condiciones se identificaron diferencias entre las variedades. La prueba de Soak Test se propone realizarla con un periodo de imbibición de 24 horas y 25 °C cuando se someta a germinación. Por otro lado, hubo diferencias estadísticas entre las variedades; la variedad Morada fue más resistente al periodo de imbibición de 48 horas lo que indico la baja permeabilidad de la semilla. En la CE se obtuvieron diferencias entre variedades a una temperatura de 25 °C con medición a las 48 horas, lo que indica que la prueba se puede realizar bajo estas condiciones. Para la prueba de viabilidad con tetrazolio se identificaron resultados similares en las concentraciones. Para la concentración de 1 % se sugiere realizar la prueba con un pretratamiento de 24 horas, temperatura de tratamiento de 30 °C y periodo de tratamiento de 24 horas. Por otro lado, se identificó que en la concentración de 0.5 % es necesario realizar la prueba bajo diferentes condiciones para cada variedad; en la variedad Amarilla se propone realizarse con pretratamiento de 24 horas, temperatura de tratamiento de 30 °C y periodo de tratamiento de 24 horas (24 h - 30 °C - 24 h), para la variedad Morada a 48 h - 30 °C - 24 h y para la variedad Negra a 12 h - 30 °C - 24 h. En cuanto a la prueba de vigor en campo y cama de arena los resultados

fueron consistentes indicando que hay diferencias de vigor entre las variedades y que la variedad Amarilla es la de mayor vigor como se observó en cada una de las pruebas realizadas.

**Palabras clave:** *Pachyrhizus erosus*, vigor, germinación estándar, conductividad eléctrica, soak test, envejecimiento acelerado y tetrazolio.

## SUMMARY

The objective of the present investigation consisted in the standardization of the seed analysis procedures in three jicama seed genotypes for standard germination, vigor through the accelerated aging test, electrical conductivity, seed viability with the tetrazolium test and soak test. To achieve this goal, three genotypes were used, different germination temperatures, different soaking times in the soak test and in the electrical conductivity test, different exposure times in accelerated aging and two concentrations in the tetrazolium test, as well as different pretreatment times in water and in the tetrazolium solution. For GE, it was identified that the optimal temperature to perform the test is 30 ° C. In the EA test it is suggested to perform it at an aging temperature of 42 ° C with a period of 24 hours and a germination temperature of 25 ° C, since under these conditions differences between the varieties were identified. The Soak Test is proposed to be performed with an imbibition period of 24 hours and 25 ° C when subjected to germination. On the other hand, there were statistical differences between the varieties; the Morada variety was more resistant to the 48-hour imbibition period, which indicated the low permeability of the seed. In the EC, differences were obtained between varieties at a temperature of 25 ° C with measurement at 48 hours, indicating that the test can be performed under these conditions. Similar results in concentrations were identified for the tetrazolium viability test. For the 1% concentration, it is suggested to perform the test with a 24-hour pretreatment, 30 ° C treatment temperature and 24 hour treatment period. On the other hand, it was identified that in the 0.5% concentration it is necessary to carry out the test under different conditions for each variety; In the Yellow variety, it is proposed to carry out a 24-hour pre-treatment, treatment temperature of 30 ° C and treatment period of 24 hours (24 h - 30 ° C - 24 h), for the Morada variety at 48 h - 30 ° C - 24 h and for the black variety at 12 h - 30 ° C - 24 h. Regarding the vigor test in the field and sand bed, the results were consistent, indicating that there are differences in vigor between the varieties and that the Amarilla variety is the one with the highest vigor as observed in each of the tests carried out.

**Key words:** *Pachyrhizus erosus*, vigor, standard germination, electrical conductivity, soak test, accelerated aging and tetrazolium.

## I. INTRODUCCIÓN

La jícama (*Pachyrhizus erosus*) es originaria de Centroamérica. Es un cultivo de bajo costo de producción y alto potencial productivo, es una buena opción para la diversificación de la agricultura ya que se puede aprovechar la raíz tuberosa y la semilla. Estas características hacen de este cultivo una buena alternativa para pequeños y grandes agricultores, además de que es un cultivo para comercializar dentro y fuera del país (Sorensen, 1996).

La investigación en este cultivo ha ido en avance, existen diversos trabajos en los que se ha reportado el uso que se le puede dar. En este sentido, Park Chan *et al.* (2015) reportaron que el consumo de extracto de jícama regula la glucosa hepática, esta investigación se realizó con ratones. Por otro lado, Sri Elfina *et al.* (2016) elaboraron plástico biodegradable a partir de almidón de jícama. Gerhard Knothe *et al.* (2018), elaboraron biodiesel a partir de semilla de jícama. Además, Fernández *et al.* (2008), reportaron que la semilla puede ser utilizada para la elaboración de bioinsecticida ya que contiene rotenona.

El principal uso que tiene la semilla es para la siembra. El Servicio Nacional de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), reportó que en 2019 se sembraron 6,566.05 ha<sup>-1</sup>, de las cuales tan solo el 0.12 % corresponde a producción para semilla (SIAP, 2019). Tomando en cuenta el rendimiento por hectárea no se cubriría la demanda; la que es cubierta, ya que los agricultores producen semilla para uso propio y para su venta (estos datos no se encuentran reportados). La semilla que se produce y comercializa no es certificada por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas (SNICS), que es el organismo encargado de verificar y certificar el origen y calidad de las semillas.

La problemática en este cultivo se encuentra en la producción y venta de semilla en donde no se considerara la calidad de semilla. Sabiendo que en la agricultura al no utilizar semilla de calidad se limita la competitividad agrícola (Lázaro y Aranda, 2020). La Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA), desarrolla y publica los procedimientos estándar en el campo de las pruebas de semillas, para el cultivo de



jícama no proporcionan dicha información ya que estos procedimientos no han sido desarrollados.

Dentro de las pruebas para calidad de semilla el porcentaje de germinación es uno de los parámetros más importantes, se evalúan los lotes de producción de semilla ya que este valor es utilizado para su certificación y comercialización, se deben hacer pruebas para evaluar el vigor y germinación de la semilla (Martínez *et al.*, 2010).

Las pruebas de vigor se clasifican en tres grupos: 1) Pruebas físicas, estas determinan características como tamaño y masa. 2) Pruebas fisiológicas, estas emplean germinación y parámetros de crecimiento, de estas hay dos tipos, germinación estándar y bajo condiciones de estrés (prueba fría, envejecimiento acelerado y prueba de Hiltner). 3) Pruebas bioquímicas, son consideradas métodos indirectos de estimación entre ellas está la prueba de tetrazolio, pruebas de conductividad eléctrica, actividad enzimática y respiración (McDonald, 1980).

Es importante considerar la calidad de semilla, debido a que los lotes de semilla de alta calidad pueden ser sembrados en condiciones menos óptimas y podrían almacenarse por mayor tiempo en comparación con lotes de menor vigor. La calidad de semilla tiene un efecto fundamental en el rendimiento de cultivo. Al ser proporcionada la metodología para el análisis de semillas, se asegurará, que sólo las mejores semillas se ofrezcan en el mercado, o en su caso que el agricultor pueda analizar la calidad de la semilla que utilizara para tomar las medidas necesarias al momento de realizar la siembra.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Estandarizar los procedimientos para evaluar la calidad de semilla de jícama de los genotipos variedad Vega San Juan, Semilla Morada y Semilla Negra como indicadores de la calidad fisiológica y viabilidad.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el tiempo de exposición de la semilla para la prueba de conductividad eléctrica.
- Determinar la temperatura y tiempo de estrés en la prueba de envejecimiento acelerado para evaluar vigor.
- Determinar la concentración de tetrazolio y tiempo de exposición para la prueba de viabilidad.
- Evaluar cuatro periodos de inmersión de la semilla en la prueba remojo para evaluar el vigor.

### **2.3. Hipótesis**

El comportamiento de la calidad fisiológica de semilla de jícama es diferente entre variedades y la evaluación de pruebas de vigor permite obtener indicadores de calidad fisiológica y de la viabilidad de la semilla.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Importancia del cultivo

La jícama es una hortaliza que no ha sido explotada, al ser considerada como un subproducto, lo cual representa una ventaja para introducirla en mercados internacionales en donde existan grandes comunidades asiáticas que demandan grandes volúmenes de este producto, este cultivo es importante en la alimentación, la cultura y economía de México (FAO, 2013).

Tiene una amplia aplicación en la industria de alimentos, farmacéutica y en el desarrollo de cosméticos (Schieber *et al.*, 2001; Rodríguez-Meizoso *et al.*, 2010).

En algunos países se le considera una planta de medicinal (Kumalasari *et al.*, 2014).

La raíz se utiliza como remedio para tratar el insomnio (Abid *et al.*, 2006). El almidón puede ser utilizado como sustrato de enzimas amilolíticas para producir glucosa (Qin y Yao, 2010). Idrovo y Arrobo (2015) indicaron que la jícama es una leguminosa rica en grasa, proteína, humedad, fibra dietética, carbohidratos totales, energía total, energía de la grasa, hierro, sodio, potasio, calcio, vitaminas. Oquendo (2015), menciona que posee propiedades prebióticas, antioxidantes, y anticancerígenos, además de prevenir las enfermedades de diabetes y obesidad. En general, es considerada un alimento saludable (Ramos de la Peña *et al.*, 2013).

#### 3.2. Producción mundial

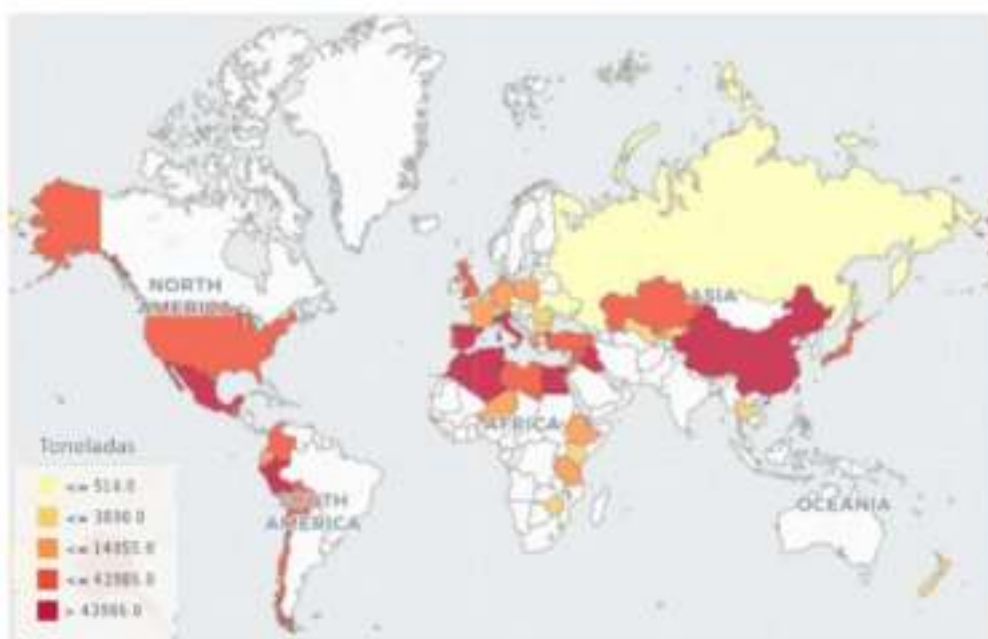
A nivel mundial no existen registros sobre la producción de jícama. De manera general la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), agrupa las estadísticas de producción de raíces y tubérculos dentro de las cuales se encuentra clasificada la jícama. En el Cuadro 3.1 se muestran las estadísticas de producción de 2015 a 2018. Dicha clasificación incluye “la arracacha (*Arracacoa xanthorrhiza*); arrurruz (*Maranta arundinacea*), chufa (*Cyperus esculentus*); palma sagú (*Metroxylon spp.*); Oca y ulluco (*Oxalis tuberosa* y *Ullucus tuberosus*), jícama (*Pachyrhizus erosus*, *P. angulatus*); mashua (*Tropaeolum tuberosum*), la alcachofa de Jerusalén, topinambur (*Helianthus tuberosus*). Otras raíces, tubérculos o rizomas frescas que no se identifican por separado debido a su

menor relevancia a nivel internacional. Debido a su importancia local limitado, algunos países informan en esta partida raíces y tubérculos que son clasificados por separado por la FAO” (FAO, 2014). En la Figura 3.1 se muestra la distribución de la producción de raíces y tubérculos a nivel mundial.

**Cuadro 3.1.** Producción mundial de raíces y tubérculos.

Año	Producción (t ha <sup>-1</sup> )	Área cosechada (ha)	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>
2015	1,665,137	250,143	4.32
2016	1,641,859	243,718	4.13
2017	1,716,159	250,466	4.34
2018	1,781,089	251,831	4.40

FAOSTAT, 2020.



**Figura 3.1.** Producción de raíces y tubérculos por país (FAOSTAT, 2018).

### 3.3. Producción nacional

De acuerdo al SIAP en 2019 se sembraron 8,566.05 ha jícama, de estas el 99.87 % fue destinado para la producción de jícama (raíz) y el 0.12 % para semilla (Cuadro 3.2). Para ese mismo año, el estado con mayor superficie sembrada fue Nayarit

(28.23 %), seguido de Veracruz (21.92 %), en tercer lugar Guanajuato (16.69 %) y cuarto Morelos (10.01 %). La superficie sembrada de estos estados representa el 76.88 %, mientras el 22.88 % restante se encuentra en 13 estados de la república mexicana los cuales se pueden consultar en el Cuadro 3.3.

**Cuadro 3.2.** Superficie sembrada para la producción de jícama 2019.

Producto	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t ha <sup>-1</sup> )	Valor Producción (miles de pesos)
Semilla	11.00	11.00	1.49	2,763.54
Raíz	8555.05	7,823.16	219,003.90	783,931.29
Tuberosa				

SIAP, 2019.

**Cuadro 3.3.** Principales estados productores de jícama en México 2019.

Entidad federativa	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción t ha <sup>-1</sup>	Valor Producción (miles de pesos)
Nayarit	2,419.00	1,900.50	71,399.52	235,281.42
Veracruz	1,878.00	1,788.00	32,039.80	112,323.32
Guanajuato	1,430.33	1,410.33	50,034.24	117,750.33
Morelos	858.30	858.30	26,875.21	131,619.15
Puebla	509.75	509.75	7,410.28	32,915.34
Michoacán	376.63	376.63	8,282.91	51,192.54
Guerrero	353.32	353.32	10,331.91	38,727.68
B. C. Sur	154.00	154.00	3,346.00	14,334.62
Jalisco	150.26	150.26	3,918.56	24733.143
Sinaloa	100.00	0.00	0.00	0.00
Quintana Roo	73.00	70.61	485.31	2,349.65
Querétaro	64.32	64.32	1,680.00	6,868.61
Yucatán	58.94	58.94	603.69	6,941.48
Colima	50.50	50.50	1,275.43	4,091.37
Campeche	48.00	47.00	517.70	0.00
San Luis Potosí	22.00	22.00	0.00	0.41
México	19.70	19.70	406.08	18.67
Total	8,566.05	7,834.16	218,606.64	25,487,557.55

SIAP, 2019.

Por otro lado, en el Cuadro 3.4 se presentan estadísticas de producción de jícama de los años 2016, 2017, 2018 y 2019 en el Cuadro 3.5 estadísticas de producción de semilla (SIAP, 2019).

**Cuadro 3.4.** Producción nacional de jícama en los últimos 4 años.

Año	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t ha <sup>-1</sup> )	Valor Producción (miles de pesos)
2019	8,555.05	7,823.16	219,003.90	783,931.29
2018	6,819.32	6,799.12	205,531.61	814,768.93
2017	7,338.95	7,297.95	216,509.26	692,784.30
2016	8,487.38	8,226.38	246,725.68	731,077.71

SIAP, 2019.

**Cuadro 3.5.** Producción de los últimos 5 años para semilla de jícama a nivel nacional.

Año	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t ha <sup>-1</sup> )	Valor Producción (miles de pesos)
2019	11.00	11.00	1.49	2,763.54
2018	3.25	3.25	2.70	606.50
2017	4.00	4.00	4.36	941.76
2016	34.00	34.00	34.46	6,975.67
2015	26.00	26.00	26.02	5,198.90

SIAP, 2019.

### 3.4. Producción en el estado de Guanajuato

El Cuadro 3.6 presenta las estadísticas de superficie sembrada para la producción de jícama, en los municipios de Guanajuato (SIAP, 2018).

**Cuadro 3.6.** Superficie sembrada en el estado de Guanajuato 2018.

Municipio	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Valor Producción (miles de pesos)
Romita	310.00	310.00	16,430.00	76,420.04
Silao de La Victoria	290.00	290.00	17,400.00	80,491.53
Celaya	232.00	227.80	6,300.95	16,713.02
Comonfort	82.00	72.00	1,947.02	5,679.84

S. C. de J. Rosas	52.00	52.00	1,541.80	4,072.05
Apaseo El Alto	20.00	20.00	605.00	1,765.40
Dolores Hidalgo	4.20	4.20	127.68	400.92
León	4.00	4.00	200.00	500.00
Total	994.20	980.00	44,552.45	186,042.80

SIAP, 2018.

En Guanajuato los municipios con mayor área destinada a la siembra de jícama son: Romita (31.18 %), Silao (29.17 %) y Celaya (23.34 %), estos tres municipios representan el 83.69% del total de superficie sembrada en el estado.

De acuerdo a los datos del SIAP la producción de jícama ha incrementado más de 70% del año 2014 a 2018, convirtiéndolo en uno de los principales estados productores del país (Cuadro 3.7).

**Cuadro 3.7.** Producción de los últimos 5 años de jícama en Guanajuato.

Año	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Valor Producción (miles de pesos)
2018	994.20	980.00	44,552.45	186,042.79
2017	851.50	851.50	30,408.75	77,863.54
2016	984.60	809.60	23,267.80	57,095.27
2015	985.50	985.50	28,755.30	83,450.92
2014	559.00	559.00	15,750.00	38,641.63

SIAP, 2018.

### 3.5. Origen del cultivo de la jícama

La jícama pertenece a la familia de las leguminosas, esta es cultivada por su raíz tuberosa. Es originaria de México, Centroamérica y Ecuador, se conocen cinco especies, tres de estas son cultivadas (*Pachyrhizus erosus*, *P. tuberosus* y *P. ahipa*) y dos especies silvestres (*P. ferrugineous* y *P. panamensis*) (Sorensen, 1996). Es una planta trepadora con semillas planas y de hasta 1 cm de largo, la raíz puede llegar a pesar entre 0.5 kg y 2.5 kg (FAO, 2013). “Algunos nombres comunes en lenguas indígenas de México son: guyati (zapoteca), jícame (cora), mehen-chikam (maya), shigan (popoluca), xata-té (huichol), xicama o cajtzot (náhuatl), cobem (huasteca), cuyin (totonaca)” (Vibrans, 2009).

En inglés se conoce como Yam bean. En las islas del pacífico como Hikama, Sinkamas, Bakuwang, Bangkowan; Huivi – Hirís. En China recibe los nombres de To suu, Ti cual, Sha k'o y Liang zuu (McVaugh, 1987).

### 3.6. Morfología de la jícama

En México, solamente *Pachyrhizus erosus* ha sido introducida, con alta producción y no se explican por qué los otros dos géneros carecen de características atractivas agrícolas para su explotación (Sorensen, 1996). Una revisión hecha por Clausen (1945), menciona que el género *Pachyrhizus* morfológicamente está delimitado por la presencia de las siguientes características: Es una planta herbácea con un tallo débil, rastrero o trepador (enredadera) perenne con una o más raíces tuberosas, la planta tiene tallos muy delgados y muy ramificados de color verde o negro azulados que pueden alcanzar hasta 6 metros de largo (Sorensen, 1996). Además, describió las características que existen entre las 5 especies, en un listado de 27 caracteres morfológicos, describe las diferencias entre estas, van desde las flores, hojas, folíolos, cáliz, nervadura, vaina, semillas, entre otras.



**Figura 3.2.** Cultivo de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.)



### 3.6.1. Raíz

La raíz es tuberosa, el tamaño, largo y forma de estas varía según la especie, algunas son alargadas y otras más redondeadas, dentro del género *erosus* la raíz es un tanto más redondeada en comparación de *P. ahipa* que la raíz es más alargada. El diámetro puede llegar a ser de más de 30 cm, son blancas y jugosas por dentro, estas son comestibles, el color externo es marrón oscuro (McVaugh, 1987; Stevens *et al.*, 2001).

### 3.6.2. Tallo

La planta presenta un tallo principal cuando esta proviene de semilla, a veces ramificado desde la base, otras veces, sólo con ramas pequeñas en la parte superior (Seminario *et al.*, 2003).



**Figura 3.3.** Raíz, tallo y hojas de la jícama (*Pachyrhizus erosus* L.)

### 3.6.3. Hojas

Las hojas son alternas, de hasta 30 cm de largo, pecioladas, estas están compuestas de tres hojillas llamadas folíolos, la central es más grande de hasta 10 cm de largo y 11 cm de ancho, los márgenes son dentados. Hay una variación en el contorno o perfil desde dentadas a palmeadas, los folíolos tienen de 3.0 a 15.5 cm de longitud y

2.0 a 16.0 cm de ancho y están unidos al tallo por peciolo estipulados. Frecuentemente simples o lobulados y enteras o toscamente enteras. La especie se define por la carencia de pelo en los pétalos, el número de flores (4 a 11) compuesto por un axis o inflorescencias lateral formando racimos, las flores son de un color violeta o blanquecino. Existen diferencias en la forma de la hoja según la especie (Sorensen, 1996).

#### 3.6.4. Flores

La fluorescencia es un racimo complejo a simple y las flores tienen un cáliz tubular y una corola papilionácea (Mélo *et al.*, 1994; Sorensen, 1996; Ramos de la Peña *et al.*, 2013). El cáliz de la flor es de color grisáceo café, irregularmente con cuatro o cinco lóbulos profundamente alargados y escotados (Sorensen, 1990). La corola es papilionácea, con estandarte muy ancho sub- orbicular, el cual mide entre 10 y 12 mm, de color morado hasta blanco, el color de las flores cambia según la especie, las flores son bisexuales. Los estambres son diadelfos de 17 a 22 mm de longitud, el pistilo mide de 14 a 23 mm de longitud y tiene estilo ciliado, encorvado y algo expandido en el ápice (Sorensen, 1996).



**Figura 3.4.** Flores y hojas del cultivo de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.)

### 3.6.5. Semilla

La vaina es oblonga y mide de 6 a 13 cm de longitud por 0.8 a 2 cm de ancho, pubescente y algo suave cuando está madura; cada inflorescencia llega a producir de 5 a 12 vainas con 8 a 10 semillas cada una, para *erosus* las semillas son planas y lisas, vagamente cuadrangulares o redondeadas, miden de 6 a 10 mm de longitud y de 5 a 10 mm de ancho, con testa de color verde oliva café a café rojizo, con un peso de 0.2 g, la germinación es favorecida a más de 15 °C, esta tarda de 5 a 12 días (Sorensen, 1988). La semilla contiene rotenona (Mélo y Bueno, 1999).



**Figura 3.5.** Vainas y semillas de jícama (*Pachyrhizus erosus* L.)

### 3.7. Calidad de semilla

La calidad de semilla es un concepto que comprende diferentes características que debe poseer la semilla, estas características pueden ser llamadas atributos (Kelly, 1988) la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria. (Basra, 1995; Copeland y McDonald, 1995). Por otro lado, la calidad física involucra características tales como: contenido de humedad, peso por volumen y pureza (Moreno, 1996).

Thomson (1979), menciona que la calidad se refiere a la aptitud de la semilla para sembrarse. La calidad de semilla determina el desempeño de la semilla en la siembra o en el almacén; y que es utilizada para reflejar el valor de la semilla para propósitos específicos, como es la distribución y comercialización (Hampton, 2002).

Por su parte, Garay (1989), menciona que la presencia de los cuatro componentes permite que la semilla logre en su máxima calidad integral. Bustamante (1995), quien

además estableció la necesidad de identificar claramente los aspectos que requieren atención y definir los límites de tolerancia que garantice, en cada etapa, el logro de la máxima calidad genética, física, fisiológica y sanitaria de la semilla producida.

Cada uno de los atributos forma parte de la calidad de manera que:

$$\text{Calidad} = G + F + S + CF$$

Donde:

*G* = Componente genético

*F* = Componente fisiológico

*S* = Componente sanitario

*CF* = Características físicas

Por su parte, Herrera *et al.* (2000) describen que la semilla de alta calidad es una ventaja para dar origen a cultivos uniformes.

### **3.7.1. Calidad genética**

Thomson (1979), menciona que la calidad se determina por el genotipo de la variedad o híbrido, llamando calidad genética a las características sobresalientes del material genético superior, esta debe de presentar características botánicas y agronómicas bien definidas, como el hábito de crecimiento, la morfología de la planta, la resistencia a enfermedades, color, fenología, entre otros. Las cuales son obtenidas durante la etapa de mejoramiento genético y para que no se pierdan, es necesario identificar los cultivares de potencial y valor comercial (Garay, 1989).

### **3.7.2. Calidad sanitaria**

Para considerar una semilla con calidad debe presentar calidad sanitaria y se define por la ausencia de organismos causantes de enfermedades, tales como hongos, bacterias y virus, y plagas, como son nematodos o insectos, además condiciones fisiológicas como vestigios de deficiencia de elementos que pueden estar incluidos (ISTA, 2016). La sanidad de semilla es una cualidad básica que influye en el

potencial productivo (Garay, 1989). El concepto de sanidad considera la ausencia de toxinas que son producidas por los microorganismos que pueden contaminar un lote. Champeil *et al.* (2003), mencionan que el nivel de contaminación de la semilla por micotoxinas depende del clima y de los sistemas de siembra.

### **3.7.3. Calidad física**

Este componente está asociado con el color, brillo, daños mecánicos, la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable. Estos contaminantes pueden ser: materiales inertes, semillas de malezas comunes y nocivas, formas reproductivas de plagas y enfermedades. Siendo exigente en la calidad física podemos evitar la diseminación de enfermedades, insectos y malezas, este aspecto abarca aspectos como el contenido de humedad, peso de la semilla, peso volumétrico entre otros, todos estos aspectos son importantes en la aptitud de la semilla para la siembra (Garay, 1989; FAO, 2006).

La calidad física es uno de los aspectos más importantes del análisis de las semillas agrícolas, para su evaluación se han desarrollado métodos específicos para ser utilizados en los programas de producción y comercialización de semilla certificada (FAO, 2019).

### **3.7.3. Calidad fisiológica**

La calidad fisiológica se refiere a la viabilidad, el potencial o capacidad de germinación y vigor; como resultado de la expresión de Factores propios del genoma de la variedad (Basra, 1995). La calidad fisiológica posee valor comercial puesto que es el principal atributo a evaluar en el análisis de semilla, este consiste en la capacidad de la semilla para germinar y producir una plántula normal (Moreno, 1996). Las semillas de buena calidad fisiológica en la industria semillera son aquellas que tienen un alto porcentaje de germinación y vigor, además de que tiene ventajas como mayor vida de almacenamiento (Evans y Turnbull, 2004). Por otro lado, Bewley *et al.* (2006), señalan que la calidad fisiológica se refiere a la habilidad para germinar,

el vigor y algunos aspectos genéticos como la heterosis, dentro de los descriptores de calidad fisiológica de la semilla.

La ISTA (1996), añade que la germinación de semillas en un ensayo de laboratorio es la emergencia y desarrollo de la plántula a un estado donde el aspecto de sus estructuras esenciales indican si son o no capaces de desarrollarse en una planta satisfactoria bajo condiciones favorables de suelo.

Dentro de la calidad fisiológica entra un atributo que se ha vuelto importante en el análisis de semillas, el vigor; ISTA, (1976) lo define como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de plántula. Este concepto varió un poco a partir de 1980 cuando la Asociación Oficial de Analistas de Semillas (AOSA) definió el vigor como aquellas propiedades que determinan el potencial para una rápida, uniforme emergencia y desarrollo de plántula, de plántula bajo una amplia variación de condiciones de campo (AOSA, 1983). Moreno, (1996), menciona que, evaluar el vigor de las semillas es de gran utilidad para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas.

Finalmente, la ISTA (1996), menciona que, las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas de bajo vigor.

### **3.8. Factores que afectan la calidad de la semilla**

El tiempo es la variante que genera el deterioro de la semilla lo que se traduce en la disminución de la calidad. El deterioro de semillas incluye cualquier transformación degenerativa irreversible, después de que la semilla ha alcanzado su máximo nivel de calidad, el deterioro es irreversible (Delouche, 2002).

El vigor es el componente que muestra señales de deterioro, seguido de la disminución en la germinación o en la producción de plántulas normales y finalmente, la muerte de las semillas (Ferguson, 1995).

Moreno (1996), menciona algunos aspectos que influyen en la calidad de la semilla:

- a) **Constitución genética.** La constitución genética establece el máximo potencial fisiológico.
- b) **Madurez de la semilla.** Según la madurez de la semilla, el potencial de germinación y vigor aumenta. Las semillas maduras dan su máxima expresión de vigor en contraste con las semillas inmaduras.
- c) **Condiciones ambientales.** La temperatura del aire y disponibilidad de humedad del suelo, afectan el tamaño de la semilla durante el desarrollo, el rendimiento posterior, la germinación y el vigor.
- d) **Tamaño de la semilla.** El tamaño de la semilla influye en el vigor; por tanto, una semilla de mayor vigor permanece viable durante más años de almacenamiento.
- e) **Daño mecánico.** Semillas dañadas mecánicamente pueden parecer normales, pero presentan un menor vigor que las semillas sin dañar. Este se puede presentar en la trilla, en la limpieza, en el tratamiento, en el envasado, en el transporte y/o durante la siembra.
- f) **Envejecimiento.** Disminuye el vigor, y es más susceptible a plagas y enfermedades.
- g) **El ataque de plagas y/o enfermedades.** Ya sean transmitidas por la misma semilla, o el suelo que está contaminado, afectan la germinación y el vigor.

D'Antonino (1993), reporta que, bajo condiciones de almacenamiento las semillas pueden tener calidades diferentes, que dependen de variables ocurridas en etapas anteriores. De este modo, no se puede esperar que un lote de semillas de calidad mediana se comporte igual que un lote de semillas de alta calidad. La calidad inicial de las semillas, según Roberts (1986), depende de los siguientes Factores: condiciones climáticas durante el período de maduración de la semilla, grado de maduración en el momento de la cosecha, daños mecánicos, impurezas, humedad, temperatura, microorganismos, insectos y roedores. Algunos de estos Factores que afectan la calidad dependen en gran manera al tipo de almacén que se le dé a la

semilla y el tratamiento químico que se le aplique, ya que este sirve como preventivo o como correctivo.

### **3.9. Análisis de calidad de semilla**

En 1908 se fundó la AOSA, en donde se comenzó la reglamentación del comercio de semillas en los Estados Unidos y Canadá. En 1917 fue publicada la primera versión de las Reglas para Análisis de Semillas de esa Asociación. En nuestros días, la AOSA revisa periódicamente sus reglas para análisis. De forma similar en 1924 en Europa, fue fundada la ISTA. Las Reglas para Análisis de Semillas en la misma son publicadas y actualizadas desde 1928, con laboratorios miembros en más de 70 países. Los Análisis de semillas tuvieron desarrollo desde el comienzo de siglo XX mediante un proceso resultante de la evolución de la producción de granos. La presión de selección en materiales genéticos y las modernas prácticas agrícolas ha propiciado la desaparición de muchas especies silvestres y cultivares primitivos de los cultivos agrícolas, con la consecuente disminución de valiosos recursos genéticos vegetales. Esto impulsó en la década del 40 la necesidad de evaluar métodos para restringir esta tendencia, creando organizaciones y estableciendo estructuras especializadas para ese fin. En muchos países del mundo surgieron los laboratorios de almacenamiento de semillas para recursos fitogenéticos, con estructuras y equipamientos sofisticados y en donde la mayoría de las especies de semillas mantienen su viabilidad, aún almacenadas por largos años. El almacenamiento de estas semillas requiere del análisis de semillas para garantizar un buen almacenamiento. El análisis de las semillas ofrece información certera acerca del estado y la calidad en que se encuentran las semillas, existen diferentes pruebas que determinan la calidad de la semilla (Villa, 2017).

#### **3.9.1. Pruebas físicas**

##### **3.9.1.1. Análisis de pureza**

De acuerdo con la ISTA (2017), el análisis de pureza física tiene como objetivo determinar la composición porcentual pensando en la muestra que se esta



analizando; en función de lo cual se determinará la composición del lote de semillas, en donde se identifican tres componentes: semillas puras, otras semillas y materia inerte. Con la finalidad de establecer la presencia de malezas nocivas o permitidas, de acuerdo con el grado de contaminación y decidir si el lote de semillas se recibe o rechaza. Determinar las pérdidas debida a la remoción de los materiales contaminantes.

#### **3.9.1.2. Peso hectolítrico**

La calidad física de la semilla se determina a través del peso hectolítrico, este da una idea del llenado de la semilla (Pomeranz *et al.*, 1997). Un peso hectolítrico es considerado como una característica deseable para la molienda. De igual manera este es considerado un aspecto que influye en el rendimiento. Este está influenciado por Factores intrínsecos (tamaño, forma, densidad, humedad, etc.) y extrínsecos a la semilla (materias extras, compactación) (Abbate *et al.*, 2001).

#### **3.9.1.3. Peso de mil semillas**

El peso de 1000 semillas pura, esta positivamente relacionado con la calidad del lote, depende del contenido de humedad de la semilla y el tamaño (Bustamante, 2010). Moreno (1996), describe que la técnica consiste en tomar un peso promedio de 8 repeticiones de 100 semillas puras por tratamiento con un contador de semillas o manualmente, posteriormente se calcula una varianza, desviación estándar típica y el coeficiente de variación.

#### **3.9.1.4. Contenido de humedad**

La cantidad de agua presente en las semillas es un Factor clave que condiciona el mantenimiento de su viabilidad desde la cosecha hasta la siembra, por tal razón es fundamental conocer el contenido de humedad de la semilla, la prueba se puede realizar por el método de la estufa o en su caso medidores de humedad electrónicos y computarizados. En el mercado de semillas es importante conocer el contenido de humedad ya que es un Factor importante a considerar al momento de cosechar y vender (ISTA, 2017).

### **3.10.2. Pruebas fisiológicas**

#### **3.10.2.1. Germinación estándar**

La prueba de germinación estándar la más utilizada para estimar la germinación de las semillas en campo. Esta prueba se puede realizar en papel germinación, arena o en otro medio con condiciones cálido-húmedas. Esta prueba estima el máximo porcentaje de semilla capaz de desarrollar plántulas normales. Los procesos han sido estandarizados por la ISTA y la AOSA y varían según el cultivo (Mullen, 2003).

#### **3.10.2.2. Vigor**

El vigor de semillas se define como el conjunto de propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de las semillas para producir en forma uniforme y rápida plántulas normales en condiciones específicas, el vigor depende de la interacción de toda una serie de características de la semilla: constitución genética, tamaño, peso, densidad, grado de madurez, condiciones ambientales y nutricionales a las que se sometió la planta madre, deterioro, envejecimiento, contaminación por organismos patógenos y el manejo mecánico que se le dio (ISTA, 2014).

Dentro de los procesos que influyen en el comportamiento de la semilla sobre el vigor están: los procesos bioquímicos durante la germinación, las reacciones enzimáticas, la actividad respiratoria, la tasa y uniformidad de germinación de la semilla, el crecimiento de la plántula en el campo, y la habilidad de emergencia de la plántula bajo condiciones no favorables. De igual manera, los efectos del nivel del vigor pueden persistir para influir en el desarrollo de la planta, uniformidad del cultivo y el rendimiento (Perry, 1987)

Existen dos tipos de análisis de vigor, directos e indirectos. Los directos consisten en reproducir en el laboratorio las condiciones de campo. Los indirectos consisten en medir otras características de la semilla que están asociadas con aspectos en el desempeño de las plántulas; existen los bioquímicos, físicos, fisiológicos y de estrés. Existen diferentes pruebas para evaluar el vigor (ISTA, 1996).

#### **3.10.2.2.1. Prueba de envejecimiento acelerado**

Esta es una de las pruebas de vigor más empleadas. Las semillas se someten a condiciones de humedad y de temperatura consideradas inadecuadas para la conservación de la viabilidad, la temperatura y tiempo de estrés dependerá del cultivo. Este ensayo tiene como objetivo predecir el mantenimiento de la viabilidad de lotes de semillas durante el almacenamiento. Transcurrido el periodo de envejecimiento las semillas son procesadas en un ensayo de germinación estándar, propio para cada cultivo, el ensayo se realiza en 4 repeticiones de 50 semillas. La evaluación de las semillas envejecidas se realiza según el criterio establecido por la ISTA para germinación, se consideran plántulas normales y anormales (ISTA, 2017).

#### **3.10.2.2.2. Prueba de conductividad eléctrica**

La prueba de conductividad eléctrica evalúa indirectamente el grado de estructuración de las membranas celulares, mediante la determinación de la cantidad de iones lixiviados en la solución de imbibición. Los iones lixiviados son inversamente proporcionales a la integridad de las membranas celulares. Las semillas se sumergen en un determinado volumen de agua, bajo temperatura controlada durante un periodo de tiempo determinado. Como consecuencia de una menor estructura y selectividad de las membranas celulares, las semillas de menor potencial fisiológico liberan mayor concentración de iones lixiviados (Marcos Filho *et al.*, 1987).

La prueba de conductividad eléctrica ha sido propuesta como un ensayo para evaluar el vigor de las semillas, considerando que semillas con bajo vigor generalmente presentan menor velocidad de restaurar la integridad de las membranas celulares. Esta prueba presenta la ventaja de rapidez, objetividad, bajo costo y poseer base teórica consistente, siendo capaz de identificar el deterioro de las semillas en su estado inicial (Hampton, 1995).

#### **3.10.2.2.3. Prueba topográfica de tetrazolio**

Esta prueba es un análisis bioquímico que permite determinar de en forma rápida la viabilidad de las semillas. Es una prueba útil en caso de semillas que presentan

dormancia o son lentas para germinar. Se utiliza el cloruro o bromuro de tetrazolio como indicador de las reacciones de óxido reducción que tiene lugar en las células que respiran, poniendo en manifiesto la actividad metabólica de las células, por tanto se tiñen las células vivas y las células muertas no son teñidas, lo que indica que la semilla se encuentra viva. Esta prueba se realiza en IV etapas: I) Pretratamiento, se remoja la semilla por determinado periodo de tiempo, con la finalidad de activar las células; II) Se realiza un corte longitudinal o transversal a la semilla, para que el tetrazolio penetre en la región del embrión; III) Las semillas se sumergen en la solución de tetrazolio, la concentración depende del tipo de semilla (semillas monocotiledóneas 0.5% y dicotiledóneas 1%) al igual que el tiempo y temperatura dependerán del cultivo; IV) El acto final consiste en la evaluación, esta se realiza de manera individual para cada semilla. La prueba se debe realizar en 2 repeticiones de 100 semillas o 4 repeticiones de 50 semillas (ISTA, 2017).

#### **3.10.2.2.4. Soak test**

El soak test o prueba de remojo consiste en embeber las semillas por un periodo de tiempo con la finalidad de estresarlas, haciendo simular condiciones de campo con saturación de agua. Trascurrido el periodo de remojo se procede a realizar la prueba de germinación estándar (ISTA, 2017).

#### **3.10.2.2.5. Cold test**

De acuerdo con la ISTA (2017), la prueba de frío o cold test, es considerada como una prueba de vigor. Esta prueba simula las condiciones de campo en donde se siembra en fechas tempranas y la semilla se enfrenta a bajas temperaturas y una alta humedad en el suelo, esta prueba otorga una aproximación a lo que puede ocurrir en situaciones estresantes de la cama de siembra. Esta prueba está compuesta de 2 etapas, la primera etapa consiste en el período de estrés de baja temperatura y un segundo período de germinación en condiciones óptimas. El período de estrés posee como componentes básicos la siembra de la muestra de semillas a una temperatura

de entre 8 y 10 °C en un medio de crecimiento con alto contenido de humedad, expresado a través de una capacidad de retención de agua de entre 70 % y 80 %.

**3.10.2.2.6. Vigor inicial de plántula en cama de arena.**

Esta prueba consiste en evaluar el vigor de la semilla utilizando como sustrato arena. Los resultados de esta prueba reflejan el vigor de la semilla ya que la semilla sobrevive con las reservas que contiene debido a que la arena no le proporciona nutrientes (ISTA, 1996).

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Sitio experimental

El experimento se realizó en instalaciones del Tecnológico Nacional de México Campus Roque, ubicado en la Carretera Juventino Rosas-Celaya Km. 8, Celaya, Guanajuato, México (20°34'41.1" N, 100°49'31.7 " O y 1765 msnm). El tipo de suelo es vertisol pélico con una textura franco-arcillosa. Las características climáticas de la región de acuerdo a la clasificación de Köppen es BS1hW (e), con una precipitación anual de 400 a 700 mm.

En marzo del 2018 se sembraron 200 m<sup>2</sup> que corresponde a 8 surcos de 0.9 x 32 m para cada una de las tres variedades, para su incremento y obtención de semilla bajo las mismas condiciones agroclimáticas, la cosecha se realizó en diciembre 2018, se tomó una muestra aleatoria de semilla para cada genotipo, para proceder a las pruebas de calidad de semilla.

Las pruebas de calidad de semilla se desarrollaron en el laboratorio de análisis de semilla del mismo instituto, la prueba de vigor inicial de plántula se realizó en los viveros y en campo.

### 4.2. Diseño experimental

**Germinación estándar:** El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo Factorial 3 x 3 con 5 repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 50 semillas por tratamiento. Los Factores fueron; A) variedades: semilla Amarilla (Vega de San Juan) semilla Negra y semilla Morada y B) temperatura de germinación: 20, 25 y 30 °C. En el Cuadro 4.1 se describen los tratamientos.

**Cuadro 4.1.** Descripción de los tratamientos prueba de germinación estándar.

Tratamiento	A Variedad	B Temperatura de germinación (°C)
T1	Negra	20
T2	Negra	25
T3	Negra	30
T4	Morada	20
T5	Morada	25

T6	Morada	30
T7	Amarilla	20
T8	Amarilla	25
T9	Amarilla	30

Factor A: Semilla Negra (N), semilla Morada (M), semilla Amarilla (A). Factor B: temperatura de germinación °C.

**Prueba de envejecimiento acelerado:** El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo Factorial 3 x 2 x 4 x 2, con 5 repeticiones. El tamaño de la unidad experimental fue de 50 semillas por tratamiento. Los Factores fueron; A variedades: semilla Amarilla (Vega de San Juan), semilla Negra y semilla Morada, B temperatura de envejecimiento: 40 y 42 °C, C periodo de envejecimiento: 24, 48, 72 y 96 horas y D temperatura de germinación: 25 y 30 °C. En el Cuadro 4.2 se describen los tratamientos.

**Cuadro 4.2.** Descripción de los tratamientos para la prueba de envejecimiento acelerado.

Tratamiento	A	B	C	D	Tratamiento	A	B	C	D
T1	N	40	24	25	T25	M	42	24	25
T2	N	40	48	25	T26	M	42	48	25
T3	N	40	72	25	T27	M	42	72	25
T4	N	40	96	25	T28	M	42	96	25
T5	N	40	24	30	T29	M	42	24	30
T6	N	40	48	30	T30	M	42	48	30
T7	N	40	72	30	T31	M	42	72	30
T8	N	40	96	30	T32	M	42	96	30
T9	N	42	24	25	T33	A	40	24	25
T10	N	42	48	25	T34	A	40	48	25
T11	N	42	72	25	T35	A	40	72	25
T12	N	42	96	25	T36	A	40	96	25
T13	N	42	24	30	T37	A	40	24	30
T14	N	42	48	30	T38	A	40	48	30
T15	N	42	72	30	T39	A	40	72	30
T16	N	42	96	30	T40	A	40	96	30
T17	M	40	24	25	T41	A	42	24	25
T18	M	40	48	25	T42	A	42	48	25
T19	M	40	72	25	T43	A	42	72	25
T20	M	40	96	25	T44	A	42	96	25
T21	M	40	24	30	T45	A	42	24	30

T22	M	40	48	30	T46	A	42	48	30
T23	M	40	72	30	T47	A	42	72	30
T24	M	40	96	30	T48	A	42	96	30

Factor A: semilla Negra (N), semilla Morada (M), semilla Amarilla (A); Factor B: temperatura de envejecimiento °C; Factor C: periodo de envejecimiento horas; Factor D: temperatura de germinación °C.

**Soak test:** El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo Factorial 3 x 2 x 2. El tamaño de la unidad experimental fue de 50 semillas por tratamiento con 4 repeticiones. Los Factores fueron; A variedades: semilla Amarilla (Vega de San Juan), semilla Negra y semilla Morada, B periodo de imbibición: 24 y 48 horas y C temperatura de germinación: 25 y 30 °C. En el Cuadro 4.3 se describen los tratamientos.

**Cuadro 4.3.** Descripción de los tratamientos para soak test.

Tratamiento	A	B	C	Tratamiento	A	B	C
T1	Negra	24	25	T7	Morada	48	25
T2	Negra	24	30	T8	Morada	48	30
T3	Negra	48	25	T9	Amarilla	24	25
T4	Negra	48	30	T10	Amarilla	24	30
T5	Morada	24	25	T11	Amarilla	48	25
T6	Morada	24	30	T12	Amarilla	48	30

Factor A: semilla Negra, semilla Morada, semilla Amarilla; Factor B: periodo de imbibición horas; Factor C: temperatura de germinación °C.

**Conductividad eléctrica:** El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo Factorial 3 x 2 x 4. El tamaño de la unidad experimental fue de 50 semillas por tratamiento con 4 repeticiones. Los Factores fueron; A variedades: semilla Amarilla (Vega de San Juan), semilla Negra y semilla Morada, B temperatura de exposición: 25 y 30 °C y C periodo de exposición: 24, 48, 72 y 96 horas. En el Cuadro 4.4 se describen los tratamientos.

**Cuadro 4.4.** Descripción de los tratamientos para la prueba de conductividad eléctrica.

Tratamiento	A	B	C	Tratamiento	A	B	C
T1	Negra	25	24	T13	Morada	30	24
T2	Negra	25	48	T14	Morada	30	48



T3	Negra	25	72	T15	Morada	30	72
T4	Negra	25	96	T16	Morada	30	96
T5	Negra	30	24	T17	Amarilla	25	24
T6	Negra	30	48	T18	Amarilla	25	48
T7	Negra	30	72	T19	Amarilla	25	72
T8	Negra	30	96	T20	Amarilla	25	96
T9	Morada	25	24	T21	Amarilla	30	24
T10	Morada	25	48	T22	Amarilla	30	48
T11	Morada	25	72	T23	Amarilla	30	72
T12	Morada	25	96	T24	Amarilla	30	96

Factor A: semilla Negra (N), semilla Morada (M), semilla Amarilla (A); Factor B: temperatura de exposición °C; Factor C: periodo de exposición horas.

**Tetrazolio 1%:** El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo Factorial 3 x 2 x 3 x 7, con 4 repeticiones en donde la unidad experimental consistió de 25 semillas, dispuestas en cajas *Petri* de un diámetro de 10 cm. Los Factores fueron; A variedades: semilla Amarilla (Vega de San Juan), semilla Negra y semilla Morada, B pretratamiento: 24 y 48 horas, C temperatura de tratamiento: 20, 25 y 30 °C y D periodo de tratamiento: 2, 4, 6, 8, 10, 12 y 24 horas. La interacción de estos Factores dio un total de 126 tratamientos que se muestran en el Cuadro 4.5.

**Cuadro 4.5.** Descripción de los tratamientos para la prueba topográfica de tetrazolio al 1%.

Tratamiento	A	B	C	D	Tratamiento	A	B	C	D
T1	N	24	20	2	T64	M	48	20	2
T2	N	24	20	4	T65	M	48	20	4
T3	N	24	20	6	T66	M	48	20	6
T4	N	24	20	8	T67	M	48	20	8
T5	N	24	20	10	T68	M	48	20	10
T6	N	24	20	12	T69	M	48	20	12
T7	N	24	20	24	T70	M	48	20	24
T8	N	24	25	2	T71	M	48	25	2
T9	N	24	25	4	T72	M	48	25	4
T10	N	24	25	6	T73	M	48	25	6
T11	N	24	25	8	T74	M	48	25	8
T12	N	24	25	10	T75	M	48	25	10
T13	N	24	25	12	T76	M	48	25	12
T14	N	24	25	24	T77	M	48	25	24
T15	N	24	30	2	T78	M	48	30	2

## MATERIALES Y MÉTODOS

T16	N	24	30	4	T79	M	48	30	4
T17	N	24	30	6	T80	M	48	30	6
T18	N	24	30	8	T81	M	48	30	8
T19	N	24	30	10	T82	M	48	30	10
T20	N	24	30	12	T83	M	48	30	12
T21	N	24	30	24	T84	M	48	30	24
T22	N	48	20	2	T85	A	24	20	2
T23	N	48	20	4	T86	A	24	20	4
T24	N	48	20	6	T87	A	24	20	6
T25	N	48	20	8	T88	A	24	20	8
T26	N	48	20	10	T89	A	24	20	10
T27	N	48	20	12	T90	A	24	20	12
T28	N	48	20	24	T91	A	24	20	24
T29	N	48	25	2	T92	A	24	25	2
T30	N	48	25	4	T93	A	24	25	4
T31	N	48	25	6	T94	A	24	25	6
T32	N	48	25	8	T95	A	24	25	8
T33	N	48	25	10	T96	A	24	25	10
T34	N	48	25	12	T97	A	24	25	12
T35	N	48	25	24	T98	A	24	25	24
T36	N	48	30	2	T99	A	24	30	2
T37	N	48	30	4	T100	A	24	30	4
T38	N	48	30	6	T101	A	24	30	6
T39	N	48	30	8	T102	A	24	30	8
T40	N	48	30	10	T103	A	24	30	10
T41	N	48	30	12	T104	A	24	30	12
T42	N	48	30	24	T105	A	24	30	24
T43	M	24	20	2	T106	A	48	20	2
T44	M	24	20	4	T107	A	48	20	4
T45	M	24	20	6	T108	A	48	20	6
T46	M	24	20	8	T109	A	48	20	8
T47	M	24	20	10	T110	A	48	20	10
T48	M	24	20	12	T111	A	48	20	12
T49	M	24	20	24	T112	A	48	20	24
T50	M	24	25	2	T113	A	48	25	2
T51	M	24	25	4	T114	A	48	25	4
T52	M	24	25	6	T115	A	48	25	6
T53	M	24	25	8	T116	A	48	25	8
T54	M	24	25	10	T117	A	48	25	10
T55	M	24	25	12	T118	A	48	25	12
T56	M	24	25	24	T119	A	48	25	24
T57	M	24	30	2	T120	A	48	30	2
T58	M	24	30	4	T121	A	48	30	4

T59	M	24	30	6	T122	A	48	30	6
T60	M	24	30	8	T123	A	48	30	8
T61	M	24	30	10	T124	A	48	30	10
T62	M	24	30	12	T125	A	48	30	12
T63	M	24	30	24	T126	A	48	30	24

Factor A: semilla Negra (N), semilla Morada (M), semilla Amarilla (A); Factor B: pretratamiento en agua horas; Factor C: temperatura de tratamiento °C; Factor D: tratamiento en tetrazolio horas.

**Tetrazolio 0.5%:** El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo Factorial 3 x 3 x 3 x 5, con 4 repeticiones en donde la unidad experimental consistió en 25 semillas, dispuestas en cajas *Petri* de un diámetro de 10 cm. Los Factores fueron; A variedades: semilla Amarilla (Vega de San Juan), semilla Negra y semilla Morada, B pretratamiento: 12, 24 y 48 horas, C temperatura de tratamiento: 20, 25 y 30 °C y D periodo de tratamiento: 6, 12,18, 24 y 48 horas. En el Cuadro 4.6 se describen los tratamientos.

**Cuadro 4.6.** Descripción de los tratamientos para la prueba topográfica de tetrazolio al 0.5%.

Tratamiento	A	B	C	D	Tratamiento	A	B	C	D
T1	N	12	20	6	T69	M	24	25	24
T2	N	12	20	12	T70	M	24	25	48
T3	N	12	20	18	T71	M	24	30	6
T4	N	12	20	24	T72	M	24	30	12
T5	N	12	20	48	T73	M	24	30	18
T6	N	12	25	6	T74	M	24	30	24
T7	N	12	25	12	T75	M	24	30	48
T8	N	12	25	18	T76	M	48	20	6
T9	N	12	25	24	T77	M	48	20	12
T10	N	12	25	48	T78	M	48	20	18
T11	N	12	30	6	T79	M	48	20	24
T12	N	12	30	12	T80	M	48	20	48
T13	N	12	30	18	T81	M	48	25	6
T14	N	12	30	24	T82	M	48	25	12
T15	N	12	30	48	T83	M	48	25	18
T16	N	24	20	6	T84	M	48	25	24
T17	N	24	20	12	T85	M	48	25	48
T18	N	24	20	18	T86	M	48	30	6
T19	N	24	20	24	T87	M	48	30	12
T20	N	24	20	48	T88	M	48	30	18

T21	N	24	25	6	T89	M	48	30	24
T22	N	24	25	12	T90	M	48	30	48
T23	N	24	25	18	T91	A	12	20	6
T24	N	24	25	24	T92	A	12	20	12
T25	N	24	25	48	T93	A	12	20	18
T26	N	24	30	6	T94	A	12	20	24
T27	N	24	30	12	T95	A	12	20	48
T28	N	24	30	18	T96	A	12	25	6
T29	N	24	30	24	T97	A	12	25	12
T30	N	24	30	48	T98	A	12	25	18
T31	N	48	20	6	T99	A	12	25	24
T32	N	48	20	12	T100	A	12	25	48
T33	N	48	20	18	T101	A	12	30	6
T34	N	48	20	24	T102	A	12	30	12
T35	N	48	20	48	T103	A	12	30	18
T36	N	48	25	6	T104	A	12	30	24
T37	N	48	25	12	T105	A	12	30	48
T38	N	48	25	18	T106	A	24	20	6
T39	N	48	25	24	T107	A	24	20	12
T40	N	48	25	48	T108	A	24	20	18
T41	N	48	30	6	T109	A	24	20	24
T42	N	48	30	12	T110	A	24	20	48
T43	N	48	30	18	T111	A	24	25	6
T44	N	48	30	24	T112	A	24	25	12
T45	N	48	30	48	T113	A	24	25	18
T46	M	12	20	6	T114	A	24	25	24
T47	M	12	20	12	T115	A	24	25	48
T48	M	12	20	18	T116	A	24	30	6
T49	M	12	20	24	T117	A	24	30	12
T50	M	12	20	48	T118	A	24	30	18
T51	M	12	25	6	T119	A	24	30	24
T52	M	12	25	12	T120	A	24	30	48
T53	M	12	25	18	T121	A	48	20	6
T54	M	12	25	24	T122	A	48	20	12
T55	M	12	25	48	T123	A	48	20	18
T56	M	12	30	6	T124	A	48	20	24
T57	M	12	30	12	T125	A	48	20	48
T58	M	12	30	18	T126	A	48	25	6
T59	M	12	30	24	T127	A	48	25	12
T60	M	12	30	48	T128	A	48	25	18
T61	M	24	20	6	T129	A	48	25	24
T62	M	24	20	12	T130	A	48	25	48
T63	M	24	20	18	T131	A	48	30	6

T64	M	24	20	24	T132	A	48	30	12
T65	M	24	20	48	T133	A	48	30	18
T66	M	24	25	6	T134	A	48	30	24
T67	M	24	25	12	T135	A	48	30	48
T68	M	24	25	18					

Factor A: semilla Negra (N), semilla Morada (M), semilla Amarilla (A); Factor B: pretratamiento en agua horas; Factor C: temperatura de tratamiento °C; Factor D: tratamiento en tetrazolio horas.

**Vigor inicial de plántula en cama de arena:** El diseño experimental fue completamente al azar, con 4 repeticiones, para cada unidad experimental se consideraron 50 semillas por tratamiento.

**Vigor en Campo:** El diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones de 50 semillas.

#### 4.3. Material genético (semilla de jícama)

En el desarrollo de esta investigación se utilizaron tres variedades de semilla de jícama. La variedad Vega de San Juan, identificada como semilla Amarilla, semilla Morada y semilla Negra, identificadas así por el color de la misma, se obtuvieron de una colecta realizada en San Juan de la Vega, Celaya Gto. La semilla colectada se sembró para su incremento en Marzo 2018. En el Cuadro 4.7 se describen algunas de las características de las variedades.

**Cuadro 4.7.** Características del cultivo de jícama.

Características	Amarilla (Vega San Juan)	Morada	Negra
Ciclo de fructificación	5 meses	6 meses	4 meses
Tamaño de semilla	Grande	Media	Pequeña
Peso de mil semillas	23.78 g	19.90 g	16.58 g
Rendimiento	70 t ha <sup>-1</sup>	100 t ha <sup>-1</sup>	40 a 50 t ha <sup>-1</sup>
Tipo de fruto	Frutos uniformes	Frutos uniformes	Frutos de molde, figura fina
Producción de semilla	Alto	Intermedio	Bajo
Resistencia a herbicidas selectivos	Si	Si	No

Información personal MC. Eduardo Mendoza

#### 4.4. Manejo agronómico

Es importante realizar las prácticas de preparación de suelo para obtener cosechas rentables (Pinto, 1970; Díaz, 1978; Arguelles, 1979; Singh *et al.*, 1981; Heredia, 1985).

**Arado y rastreo:** Se realizó un paso de arado de discos, a una profundidad de 25 cm. se realizó un segundo paso debido a la presencia de malas hierbas (Heredia, 1985). Se hizo el paso de rastra para deshacer los terrones grandes.

**Surcado:** Se realizó dejando una separación de 80 cm entre surcos

**Siembra:** la siembra se realizó en tierra venida, se depositó una semilla cada 25 cm. En El Bajío se recomienda sembrar en febrero o marzo para obtener raíces grandes y en junio cuando se requieren raíces de tamaño comercial pequeño; se cosecha de septiembre a noviembre (Pinto, 1970; Arguelles, 1979; Heredia, 1985).

En los estados costeros de Nayarit y Veracruz, también en México, se recomienda sembrar en los meses de octubre y noviembre (Pinto, 1970).

**Germinación:** la emergencia fue entre los 13 y 16 días.

**Riego:** El número de riegos dependerá del tipo de suelo y la fecha de siembra, los suelos arenosos normalmente necesitan riegos más frecuentes en comparación con suelos arcillosos. Para el tipo de suelo en el que se sembró se aplicaron 5 riegos y se presentaron lluvias en los meses de Abril a Junio.

**Fertilización:** Se fertilizo a los 35 días después de la siembra (DDS), se aplicaron 40-00-00 kilogramos por hectárea, depositándolo sobre el cuello de la planta.

Se aplicó fertilizante foliar 15-12-7 con ácidos fúlvicos, las aplicaciones se realizaron semanalmente iniciando a los 50 DDS y finalizando 180 DDS.

**Aplicación de Herbicidas:** Se realizaron dos aplicaciones de herbicida, se utilizó clethodim (12.50%) en una dosis de 500 mL ha<sup>-1</sup> y fomesafen (250 g L<sup>-1</sup>) en una dosis 1 L ha<sup>-1</sup>.

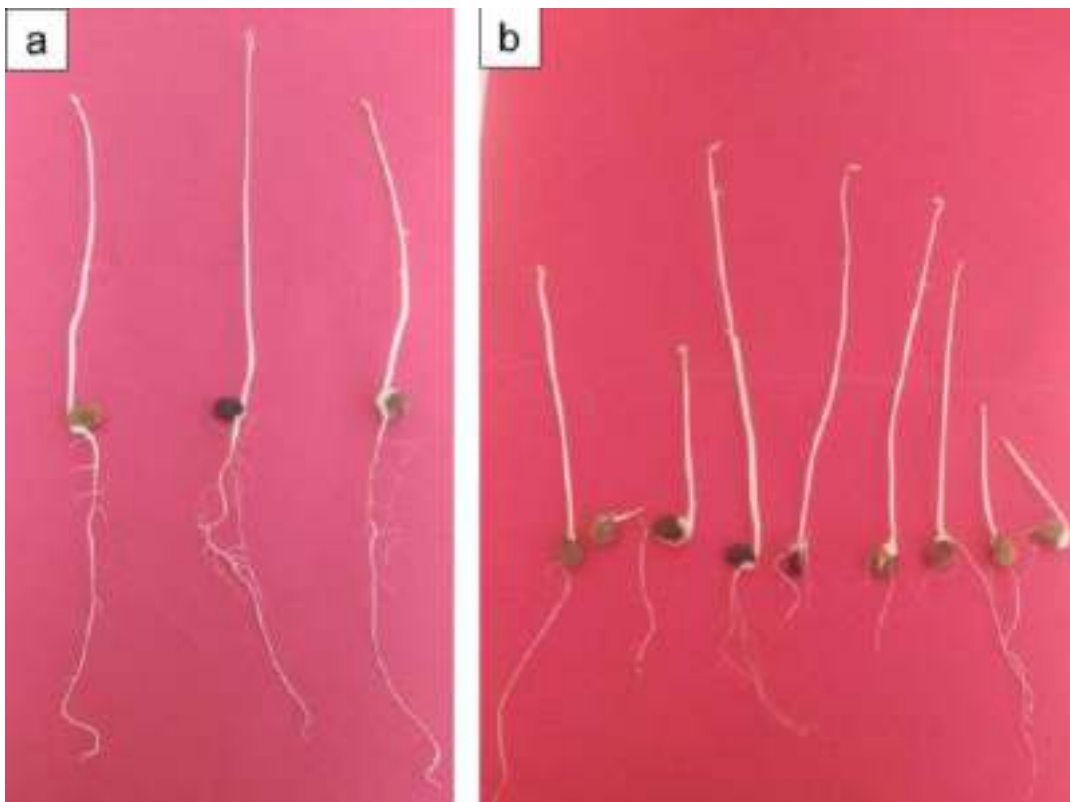
**Cosecha:** La cosecharon las vainas de las tres variedades a los 240 DDS, se dejaron secar en el sol para provocar la dehiscencia.

Se realizó el muestreo de la semilla y se tomó la necesaria para desarrollar las pruebas de calidad fisiológica.

## 4.5. Calidad fisiológica

### 4.5.1. Germinación estándar

La prueba se realizó conforme a los procedimientos para el cultivo de soya planteados por la ISTA (2017), utilizando tres diferentes temperaturas de germinación 20, 25 y 30 °C. Se preparó Captan al 2 % para aplicar a cada taco para evitar el crecimiento de patógenos, Los tacos se metieron a cámara de germinación marca Seedburo, Equipment Company.



**Figura 4.1. a)** Plántulas normales, **b)** Plántulas anormales.

El primer conteo se realizó a los 9 días registrando plántulas normales, el segundo conteo a los 16 días, se registraron plántulas normales, anormales y semillas muertas, como plántulas normales se consideraron aquellas que poseían todas sus estructuras esenciales bien desarrolladas, completas, en proporción y saludables (Figura 4.1 a), las plántulas anormales fueron aquellas deformadas ó con raíz

primaria está ausente, quebrada o rota (Figura 4.1 b). Se consideró como variable germinación 1 (G1) el porcentaje de plántulas normales al día 9 y para germinación 2 (G2) el porcentaje total de plántulas normales al día 16.



**Figura 4.2.** Prueba de germinación estándar, **a)** Proceso de siembra, **b)** tacos para introducir a estufa **c)** Evaluación, plántulas normales y anormales.

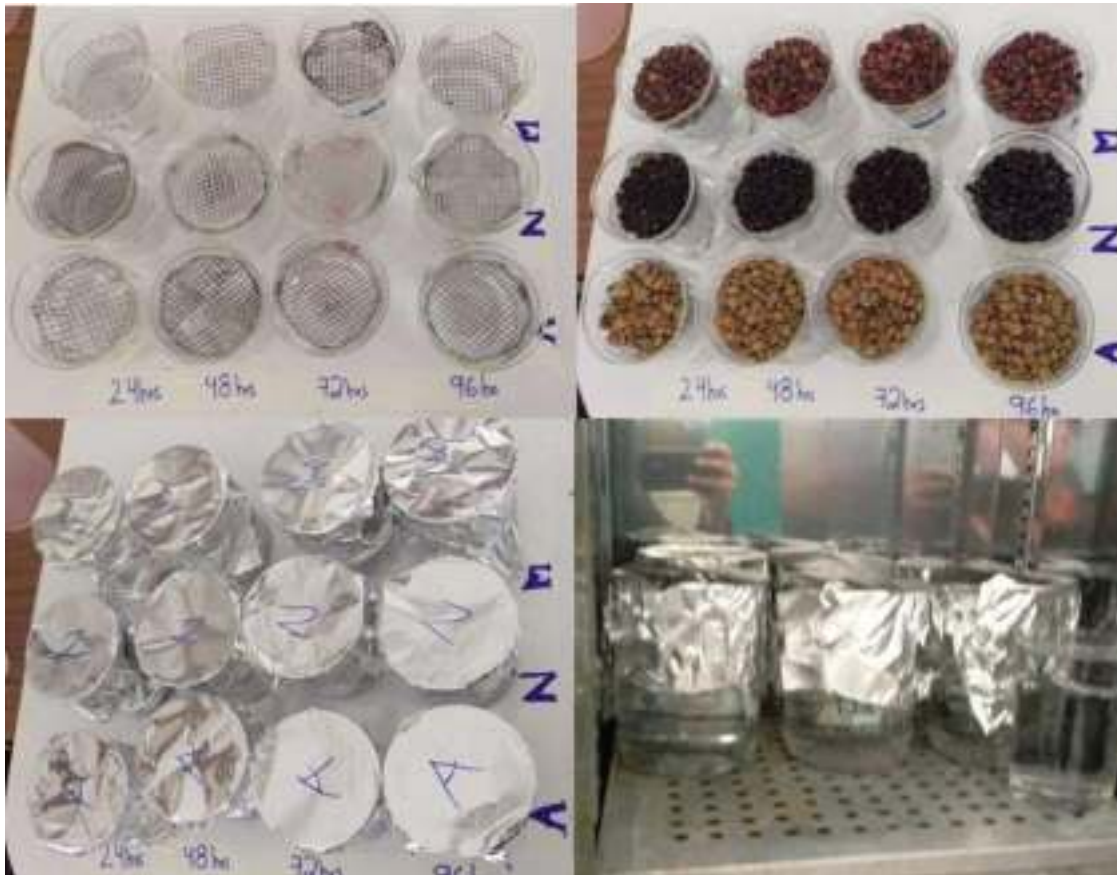
#### 4.5.2. Vigor

##### 4.5.2.1. Prueba de envejecimiento acelerado

Para realizar esta prueba se desinfectaron las semillas, utilizando cloro en una solución al 2 % por 30 segundos, seguido de un enjuague con alcohol etílico al 50 % por 30 segundos y finalmente un enjuague con agua corriente. Se depositaron 300 ml de agua en un vaso de precipitado, seguido de una malla para depositaron las semillas, se cubrió el vaso con papel aluminio. Los tratamientos se metieron a la cámara de envejecimiento a temperatura y tiempo establecido para cada tratamiento (Figura 4.3). Transcurrido el periodo de envejecimiento se procedió a realizar la



prueba de GE evaluando dos temperaturas 25 y 30 °C, el conteo se realizó al día 16 y se consideró como variable G2 el porcentaje total de plántulas normales.



**Figura 4.3.** Prueba de envejecimiento acelerado.

#### 4.5.2.2. Soak test

Las semillas se depositaron en un vaso con agua por el periodo establecido para el tratamiento a temperatura ambiente. Transcurrido el periodo de estrés se procedió a realizar la prueba de GE, evaluando dos temperaturas 25 y 30 °C (Figura 4.4), el conteo se realizó al día 16 y se consideró como variable G2 el porcentaje total de plántulas normales.



**Figura 4.4.** Proceso Soak test.

#### **4.5.2.3. Prueba de conductividad eléctrica**

El peso contenido de la semilla en cada una de las repeticiones fue registrado, posterior a esto cada una de las repeticiones se depositó en un vaso de vidrio con 200 mL de agua destilada. Los vasos fueron cerrados con papel aluminio y puestos en la temperatura requerida para cada tratamiento. La lectura de la conductividad se realizó cada 24 horas hasta las 96 horas, con el apoyo de un conductivímetro (HANNA), el proceso se puede observar en la Figura 4.5. La variable registrada se consideró como conductividad eléctrica (CE), esta proviene de la división del peso de la semilla entre el valor de la conductividad eléctrica las unidades son en  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  de semilla.



**Figura 4.5.** Prueba de conductividad eléctrica.

#### **4.5.2.4. Prueba topográfica de tetrazolio**

Se prepararon las soluciones a 1 % y 0.5 %. El pretratamiento consistió en el remojo de la semilla, transcurrido el pretratamiento se pelo la semilla y se depositaron en cajas Petri, en donde se añadió la solución de tetrazolio correspondiente (1 % o 0.5 %), estas fueron incubadas a la temperatura y tiempo indicado por el tratamiento y transcurrido el periodo de tratamiento se hizo el conteo considerando semillas viables, no viables y muertas (Figura 4.6). Para identificar semillas viables y no viables se consideró la interpretación de la prueba de tetrazolio en semilla de soya planteada por Moreno (1996).



**Figura 4.6.** Prueba topográfica de tetrazolio.



**Figura 4.7.** Siembra de cama de arena.

#### **4.5.2.5. Cama de arena o vigor inicial de plántula**

Se preparó la cama de arena y se sembró a una profundidad de 2 cm, a una distancia de 1 cm por semilla, en la Figura 4.7, se observa la cama de arena

sembrada. Los riegos se hicieron constantemente para mantener la humedad de la cama. La emergencia se observó al día 9 DDS y el corte se realizó 15 días después de la emergencia es decir 24 DDS, como se observa en la Figura 4.8.



**Figura 4.8.** Corte de plántulas a los 24 días después de la siembra.

#### 4.5.2.5.1. Porcentaje de emergencia

Se calculó dividiendo el número total de semillas germinadas entre el número de semillas sembradas multiplicado por 100. Esta variable se registró como porcentaje de emergencia (PE), también se registró en el ensayo en campo.

$$\% \text{ de emergencia} = \left( \frac{\text{semillas germinadas}}{\text{semillas sembradas}} \right) \times 100$$

#### 4.5.2.5.2. Velocidad de emergencia

Se realizaron conteos diarios de semillas germinadas, el primer conteo se hizo al observarse la primera emergencia y el último conteo se hizo el día 24 DDS. El cálculo se hizo de acuerdo a la propuesta de Maguire (1962). Esta variable se registró como velocidad de emergencia (VE), también se evaluó en el ensayo en campo.

$$V.E = \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del primer conteo}} + \dots + \frac{N^{\circ} \text{ de plántulas normales}}{\text{Día del conteo final}}$$

**4.5.2.5.3. Longitud de plántula**

Transcurridos 24 DDS se midió la longitud de la parte aérea (cm) de 10 plantas por repetición, desde el cuello hasta el ápice de la última hoja, solo se consideraron plantas con competencia completa. Esta variable se registró como longitud de plúmula (LP)

**4.5.2.5.3. Longitud de radícula**

Transcurridos 24 DDS se sacaron 10 plantas por repetición, cuidando que saliera completa la raíz. Se midió la raíz (cm), solo se consideraron plántulas con competencia completa. Esta variable se registró como longitud de radícula (LR)

**4.5.2.5.4. Peso fresco de plántula**

La variable de peso fresco de plántula (PFP), se obtuvo al pesar las 10 plantas empleadas para longitud de plántula, solo se consideró la parte aérea desde el cuello.

**4.5.2.5.5. Peso fresco de raíz**

La variable de peso fresco de raíz (PFR) se obtuvo de las 10 raíces que se midieron para longitud de raíz. Primeramente, las raíces fueron lavadas y secadas para ser pesadas en una báscula de precisión g.

**4.5.2.5.6. Peso seco de plántula**

Seguido de que las 10 plantas por repetición fueron pesadas se procedió al secado, a una temperatura de 60 °C por 72 horas en una estufa. Transcurrido el periodo fueron nuevamente pesadas y se registró la variable de peso seco de plántula (PSP)

**4.5.2.5.7. Índice de vigor I y II**

Las variables de índice de vigor I y II se obtuvieron con base a lo descrito por Kharb *et al.* (1994). Con la variable de AP y PE se calculó el índice de vigor I:

$$IV I = (AP)(P.E)$$

En donde:

*AP= Altura de planta*

*P.E= Porcentaje de emergencia*

El índice de vigor II se obtuvo de la multiplicación de PE y PSP:

$$IV II. = (P.E)(PSV)$$

En donde:

*P.E= Porcentaje de emergencia*

*PSV= Peso seco de vástago (Plúmula)*

#### **4.5.2.6. Vigor en Campo**

Se prepararon surcos de 0.75 m por 50 m, se sembró a una profundidad de 10 cm a una distancia de 20 cm entre semilla, se evaluó velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia. Los conteos se realizan a partir del día 12 DDS, finalizando a los 21 DDS (Figura 4.9).



**Figura 4.9.** Prueba de vigor en campo.

#### **4.6. Análisis estadístico**

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SAS versión 9.3 (2009); cada uno de los diseños experimentales fueron sometidos a un análisis de varianza individual (ANOVA), cuando las pruebas de F resultaron significativas se realizaron comparaciones de medias múltiples de Tukey (DSH) con un  $\alpha \leq 0.05$ .



## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Germinación estándar

El análisis de varianza para germinación estándar a los 9 (G1) y 16 días (G2) se presenta en el Cuadro 5.1, en donde se presentaron diferencias altamente significativas para ambas variables, tanto en el Factor A (Variedades) como en el B (temperatura de germinación), lo cual pone de manifiesto que al menos uno de los tratamientos tuvo un comportamiento estadísticamente diferente; sin embargo, en la interacción no existió diferencia entre tratamientos. Los coeficientes de variación para cada variable fueron 5 y 6.68 % respectivamente, estos resultados fueron debido a la variabilidad genética de los materiales utilizados.

**Cuadro 5.1.** Cuadrados medios del análisis de varianza para germinación 1 y 2.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	
		G1	G2
Variedad (A)	2	1,076.44 **	693.63 **
Temperatura de germinación (B)	2	175.37 **	227.50 **
A * B	4	22.64 <sup>ns</sup>	20.02 <sup>ns</sup>
Error	36	11.85	23.43
C.V. (%)	- -	5	6.68

\*\* , Significancia estadística a nivel 0.01 de probabilidad; <sup>ns</sup>, no significativo; G1, porcentaje de germinación al día 9; G2, porcentaje de germinación al día 16; C.V., coeficiente de variación.

En cuanto a la prueba de comparación de medias presentada en el Cuadro 5.2, se puede observar que la variedad Amarilla obtuvo el mayor porcentaje en G1, lo cual define la velocidad de emergencia, con un 95.70 % y para G2 el 97 %. Con respecto a la variedad Morada fue la de menor número de plántulas normales en G1 con 78 %, lo que indica que es la variedad de menor velocidad de emergencia, se observó para G2 no hubo diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) en Morada (84.80 %) y Negra (88.30 %). Para la temperatura de germinación se observa que no existe diferencia estadística entre 25 y 30 °C tanto en G1 como G2, por otro lado, en la temperatura

de 20 °C se observó el menor número de plántulas normales tanto en G1 (81.90 %) y G2 (85.90 %).

**Cuadro 5.2.** Prueba de comparación de medias para germinación a los 9 días (G1) y germinación a los 16 días (G2) en los Factores A y B.

Factor	G1 (%)	G2 (%)
Factor A (variedades)		
Negra	83.50 b*	88.30 b
Morada	78.00 c	84.80 b
Amarilla	95.70 a	97.00 a
DSH	3.07	4.32
Factor B (temperatura)		
20 °C	81.90 b	85.90 b
25 °C	88.50 a	92.40 a
30 °C	89.70 a	93.40 a
DSH	3.07	4.32

DSH, Diferencia Significativa Honesta; \*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); A, Variedad; B, Temperatura de germinación; G1, porcentaje de germinación al día 9; G2, porcentaje de germinación al día 16.

En las variedades Amarilla y Negra el porcentaje de germinación estuvo por encima del 85 % que es lo establecido por el SNICS (2018) para semilla certificada de frijol, mientras que la variedad Morada quedo por debajo de lo establecido.

En cuanto a la temperatura de germinación se observa que cuando esta va en incremento la velocidad de germinación (G1) también aumenta, aunque a partir de los 25 °C con 30 °C no hay diferencia estadística, esto está relacionado con lo señalado por Carvalho y Nakagawa (2000) quienes indican que las semillas germinan más rápidamente en cierto rango de temperaturas elevadas, ya que se eleva la velocidad de absorción de agua y de las reacciones químicas que generan la germinación. Estos resultados coinciden con lo reportado por Caroca *et al.* (2016) donde evaluaron la respuesta de la germinación de cuatro genotipos de maní con respecto a la temperatura de germinación, encontrando que el porcentaje de germinación va en aumento a partir de los 24 °C y hasta los 31°C.

## 5.2. Prueba de envejecimiento acelerado

En el análisis de varianza en la prueba de envejecimiento acelerado para la variable porcentaje de germinación estándar a los 16 días (G2) se presenta en el Cuadro 5.3, en el cual podemos observar diferencias altamente significativas para la variable G1, en los Factores A (Variedades), B (Temperatura de envejecimiento), C (Periodo de envejecimiento) y D (temperatura de germinación) como en las interacciones simples, triples y la interacción de los cuatro Factores, lo que nos indica que al menos uno de los tratamientos tuvo un comportamiento estadísticamente diferente. El coeficiente de variación en tiene un valor de 3.34 % lo que nos indica que el experimento fue bien conducido.

**Cuadro 5.3.** Cuadrados medios del análisis de varianza para la prueba de envejecimiento acelerado variable Germinación a los 16 días (G2).

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio G2
Variedad (A)	2	4,430.48 **
Temperatura de envejecimiento (B)	1	27,134.50 **
Periodo de Envejecimiento (C)	3	3,712.39 **
Temperatura de Germinación (D)	1	35,428.60 **
A * B	2	894.40 **
A * C	6	340.76 **
A * D	2	401.82 **
B * C	3	145.88 **
B * D	1	7,813.73 **
C * D	3	920.21 **
A * B * C	6	94.99 **
A * B * D	2	618.37 **
A * C * D	6	23.18 **
B * C * D	3	1,340.05 **
A * B * C * D	6	218.99 **
Error	192	1.57
C.V. (%)	--	3.34

\*, \*\*, Significancia estadística a nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; G2, porcentaje de germinación al día 16; C.V., coeficiente de variación.

En el Cuadro 5.4 se presenta la prueba de comparación de medias para los Factores variedad (A), temperatura de envejecimiento (B), periodo de envejecimiento (C) y temperatura de germinación (D). En cuanto al Factor A, la Amarilla presentó la media más alta para G2 (49.40 %) y la variedad Negra la media más baja (20.60 %). En cuanto al Factor B, la semilla se deterioró en mayor medida a los 45 °C se obtuvo una media de 16.80 % y a los 42 °C una media de 60.30 % para la variable G2. Para el Factor C se observa que conforme se aumenta el periodo de envejecimiento va disminuyendo G2 (porcentaje de plántulas normales), de 56.90 % a las 24 horas y finalizando con 18.20 % a las 96 horas. Finalmente, para el Factor D, la temperatura de germinación a 25 °C (63.60 %) favoreció el desarrollo de plántulas normales en comparación de 30 °C (14.40 %).

De acuerdo con los resultados de la prueba de medias para el Factor A podemos observar que la variedad Negra presenta el vigor más bajo debido a que la media en G2 es menos de la mitad de lo que presentaron las otras dos variedades. En cuanto al Factor B al exponer las semillas a un estrés de 45 °C afecta en mayor medida que al someterlas a 42 °C, Hernández (2010), menciona que el aumento de la temperatura en la prueba genera una aceleración en los procesos fisiológicos y con ellos se aumenta su deterioro y lleva a la disminución del vigor. En cuanto al Factor C es evidente que al incrementar el periodo de envejecimiento disminuye G2, otro aspecto a resaltar es que al someter las semillas a una temperatura de germinación de 30 °C G2 disminuye drásticamente, resaltando que en la prueba de comparación de medias para germinación estándar no hubo diferencias estadísticas en la temperatura de germinación de 25 y 30 °C, lo que sugiere que es importante someter la semilla a una temperatura de germinación de 25 °C, después de un envejecimiento acelerado.

**Cuadro 5.4.** Prueba de comparación de medias de la variable germinación a los 16 días en los Factores A, B, C y D.

Factor	G2 (%)
Factor A	
Negra	20.60 c*
Morada	43.30 b
Amarilla	49.40 a
DSH	0.46
Factor B	
42 °C	60.30 a
45 °C	16.80 b
DSH	0.31
Factor C	
24 horas	56.90 a
48 horas	42.70 b
72 horas	34.30 c
96 horas	18.20 d
DSH	0.59
Factor D	
25 °C	63.60 a
30 °C	14.40 b
DSH	0.31

DSH, Diferencia Significativa Honesta; \*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $P \leq 0.05$ ); A, Variedad; B, Temperatura de envejecimiento; C, Periodo de envejecimiento; D, Temperatura de germinación; G2, porcentaje de germinación al día 16.

La interacción de los Factores variedad por temperatura de envejecimiento (A\*B) para la prueba de comparación de medias se presenta en el Cuadro 5.5 en donde se observa la variable germinación a los 16 días (G2), las tres variedades interactuando con una temperatura de envejecimiento de 42 °C presentaron porcentajes mayores para G2, comenzando con la variedad Amarilla que presento una media de 74.30 %, seguido por la variedad Morada con 71.50 % y finalmente la variedad Negra con 33.90 %, por otro lado al incrementar la temperatura de envejecimiento a 45 °C G2 bajo a porcentajes de hasta 9.90 % en la variedad Negra y la Morada con 17.20 % teniendo como mayor porcentaje 24.70 % en la variedad Amarilla.

**Cuadro 5.5.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días en la interacción de los Factores A\*B.

Variedad	Temperatura de envejecimiento (°C)	G2 (%)
Negra	42	33.90 c*
Negra	45	9.90 f
Morada	42	71.50 b
Morada	45	17.20 e
Amarilla	42	74.30 a
Amarilla	45	24.70 d

G2, porcentaje de germinación al día 16; \*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

En cuanto a la interacción de los Factores A\*B se observa que al someter las variedades a estrés la Negra se ve en mayor medida afectada en comparación con las otras dos variedades.

En el Cuadro 5.6 se presenta la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores variedad por periodo de envejecimiento (A\*C) se puede observar que el porcentaje de germinación (G2) disminuye conforme aumenta el periodo de envejecimiento. El mayor porcentaje para G2 se obtuvo a las 24 horas en las variedades Amarilla con 62.60 % y Morada con 53.30 %, mientras que la variedad Negra obtuvo 51.50 %. El porcentaje más bajo para G2 se obtuvo a las 96 horas, en donde la variedad Negra resultó ser la de menor vigor con un porcentaje de 3.70 %.

**Cuadro 5.6.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días en la interacción de los Factores A\*C.

Variedad	Periodo de envejecimiento (h)	G2 (%)
Negra	24	51.50 c*
Negra	48	27.20 g
Negra	72	11.20 h
Negra	96	3.70 i
Morada	24	58.30 b
Morada	48	47.50 d
Morada	72	42.70 e

Morada	96	27.20 g
Amarilla	24	62.60 a
Amarilla	48	51.70 c
Amarilla	72	53.80 c
Amarilla	96	29.90 f

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

En cuanto a la interacción variedad por temperatura de germinación (A\*D), para la prueba de comparación de medias (Cuadro 5.7) se puede observar que las variedades presentaron un mayor porcentaje de germinación al ser sometidas a una temperatura de germinación de 25 °C, la media más alta para G2 la obtuvo la variedad Amarilla con 80.20 % dejando a la variedad Morada en segundo lugar con 68 % y tercero la Negra con el 42.30 %, por otro lado a una temperatura de 30 °C el desarrollo de plántulas normales se vio drásticamente afectado en las tres variedades dejando a la variedad Negra con la media más baja de tan solo 3.40 %.

**Cuadro 5.7.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días en la interacción de los Factores A\*D.

Variedad	Temperatura de Germinación (°C)	G2 (%)
Negra	25	42.30 c*
Negra	30	3.40 f
Morada	25	68.00 b
Morada	30	6.70 d
Amarilla	25	80.20 a
Amarilla	30	6.40 e

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

En el Cuadro 5.8 se pueden observar los resultados obtenidos de la prueba de comparación de medias en la interacción de los Factores temperatura de envejecimiento por periodo de envejecimiento (B\*C) para el porcentaje de germinación al día 16 (G2), el mayor porcentaje fue de 79.10 % en un envejecimiento de 42 °C con un periodo de 24 horas y 2.90 % fue el porcentaje más bajo con una temperatura de envejecimiento de 45 °C en un periodo de 96 horas, de modo que

conforme se aumenta el periodo de envejecimiento disminuye G2, y la disminución de G2 se ve más prolongada al incrementar la temperatura de envejecimiento.

**Cuadro 5.8.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores B\*C.

Temperatura de envejecimiento (°C)	Periodo de envejecimiento (Horas)	G2 (%)
42	24	79.10 a*
42	48	64.50 b
42	72	53.00 c
42	96	42.80 d
45	24	33.20 e
45	48	20.90 f
45	72	17.80 g
45	96	2.90 h

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

La interacción de los Factores temperatura de envejecimiento por temperatura de germinación (B\*D) para la prueba de comparación de medias se presenta en el Cuadro 5.9 en donde se observa la variable germinación a los 16 días (G2), G2 disminuyo de 73.60 a 0.10 % en donde el porcentaje más alto corresponde a 42 °C para el envejecimiento con una temperatura de germinación de 25 °C y el más bajo a la temperatura de envejecimiento de 45 °C con una temperatura de germinación de 30 °C, en cada una de las interacciones para G2 los resultados fueron estadísticamente diferentes.

**Cuadro 5.9.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores B\*D.

Temperatura de envejecimiento (°C)	Temperatura de germinación (°C)	G2 (%)
42	25	73.60 a*
42	30	46.30 c
45	25	52.90 b
45	30	0.10 d

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.



En cuanto a la interacción periodo de envejecimiento por temperatura de germinación C\*D, para la prueba de comparación de medias (Cuadro 5.10), se observan diferencias estadísticas en cada una de las interacciones. El mayor porcentaje para G2 fue de 86.50 % obtenido en un periodo de 24 horas de envejecimiento con una temperatura de germinación de 25 °C y el más bajo fue de 7.70 % en un periodo de 96 horas con una temperatura de germinación de 30 °C. Se observa que al someter la semilla a una temperatura de germinación de 30 °C G2 se ve más afectada en comparación con la temperatura de germinación a 25 °C.

**Cuadro 5.10.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores C\*D.

Periodo de envejecimiento (Horas)	Temperatura de germinación (°C)	G2 (%)
24	25	86.50 a*
24	30	23.20 e
48	25	68.30 b
48	30	17.70 f
72	25	60.70 c
72	30	12.30 g
96	25	31.90 d
96	30	7.70 h

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

En el Cuadro 5.11 se pueden observar los resultados obtenidos de la prueba de comparación de medias en la interacción de los Factores variedad por temperatura de envejecimiento por periodo de envejecimiento (A\*B\*C) para el porcentaje de germinación al día 16 (G2), los porcentajes mayores se registraron en la variedad Amarilla y Morada con 42°C de envejecimiento y 24 horas de envejecimiento con 81.70 y 81.20% no existiendo diferencia estadística entre estos, por otro lado en estas mismas condiciones la variedad Negra obtuvo el 74.10 %.

**Cuadro 5.11.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores A\*B\*C.

Variedad	Temperatura de envejecimiento (°C)	Periodo de envejecimiento (horas)	G2 (%)
Negra	42	24	74.10 b*
Negra	42	48	39.00 f
Negra	42	72	16.40 j
Negra	42	96	12.00 k
Negra	45	24	28.60 gh
Negra	45	48	16.50 j
Negra	45	72	7.10 l
Negra	45	96	0.10 n
Morada	42	24	81.20 a
Morada	42	48	75.50 b
Morada	42	72	69.20 c
Morada	42	96	58.50 e
Morada	45	24	30.00 g
Morada	45	48	20.30 i
Morada	45	72	18.20 ij
Morada	45	96	5.00 m
Amarilla	42	24	81.70 a
Amarilla	42	48	76.60 b
Amarilla	42	72	75.10 b
Amarilla	42	96	62.70 d
Amarilla	45	24	41.80 f
Amarilla	45	48	26.30 h
Amarilla	45	72	31.70 g
Amarilla	45	96	5.90 ml

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

La interacción de los Factores variedad por temperatura de envejecimiento por temperatura de germinación (A\*B\*D) para la prueba de comparación de medias presentada en el Cuadro 5.12 en donde se observa la variable germinación a los 16 días (G2), el mayor porcentaje fue de 86.60 % en la variedad Amarilla con una temperatura de envejecimiento de 42 °C y una temperatura de germinación de 25 °C, seguido de la variedad Morada en las mismas condiciones con 78.90 %, por otro lado

el porcentaje más bajo fue 0.10 % encontrado en las tres variedades en una temperatura de envejecimiento de 45 °C y una temperatura de germinación de 30 °C.

**Cuadro 5.12.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores A\*B\*D.

Variedad	Temperatura de envejecimiento (°C)	Temperatura de germinación (°C)	G2 (%)
Negra	42	25	51.50 g*
Negra	42	30	18.30 i
Negra	45	25	32.80 h
Negra	45	30	0.10 j
Morada	42	25	78.90 b
Morada	42	30	63.40 d
Morada	45	25	54.00 f
Morada	45	30	0.10 j
Amarilla	42	25	86.60 a
Amarilla	42	30	59.60 e
Amarilla	45	25	71.50 c
Amarilla	45	30	0.10 j

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16;

En cuanto a la interacción variedad por periodo de envejecimiento por temperatura de germinación (A\*C\*D) para la prueba de comparación de medias en la variable de germinación al día 16 (G2) presentada en el Cuadro 5.13, se observan diferencias estadísticas en cada una de las combinaciones. La variedad Amarilla con periodo de envejecimiento de 24 horas y temperatura de germinación de 25 °C presento la G2 más alta con 95.60 %, seguido de la variedad Morada con periodo de envejecimiento de 24 horas y temperatura de germinación de 25 °C con 88.30 %, por otro lado en estas mismas combinaciones la variedad Negra obtuvo tan solo el 81.20 % encontrándose sin diferencia estadística a esta la variedad Amarilla con periodo de envejecimiento de 48 horas y temperatura de germinación de 25 °C. Los porcentajes más bajos para G2 se reportaron en el periodo de envejecimiento de 96 y 72 horas con una temperatura de germinación de 30 °C estos van de 12.40 a 0.57 %.

**Cuadro 5.13.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores A\*C\*D.

Variedad	Periodo de envejecimiento (horas)	Temperatura de germinación (°C)	G2 (%)
Negra	24	25	80.60 c*
Negra	24	30	21.80 ij
Negra	48	25	50.20 f
Negra	48	30	9.30 m
Negra	72	25	32.80 h
Negra	72	30	0.57 n
Negra	96	25	9.30 m
Negra	96	30	0.57 n
Morada	24	25	88.30 b
Morada	24	30	21.30 j
Morada	48	25	70.80 d
Morada	48	30	24.70 i
Morada	72	25	63.70 e
Morada	72	30	22.90 ij
Morada	96	25	41.00 g
Morada	96	30	15.60 k
Amarilla	24	25	94.60 a
Amarilla	24	30	22.10 ij
Amarilla	48	25	81.90 c
Amarilla	48	30	20.80 j
Amarilla	72	25	82.80 c
Amarilla	72	30	23.30 ij
Amarilla	96	25	51.30 f
Amarilla	96	30	12.40 l

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

En el Cuadro 5.14 se pueden observar los resultados obtenidos de la prueba de comparación de medias en la interacción de los Factores temperatura de envejecimiento por periodo de envejecimiento por temperatura de germinación (B\*C\*D) para el porcentaje de germinación al día 16 (G2), el porcentaje mayor para G2 fue de 90.20 % reportado en las combinaciones temperatura de envejecimiento de 42 °C con periodo de envejecimiento de 24 horas y temperatura de germinación de 25 °C, seguido por 86.60 % reportado en la temperatura de envejecimiento de 45 °C

con periodo de 24 horas y temperatura de germinación de 25 °C. El porcentaje más bajo fue de 0.1 % y se registró en la temperatura de envejecimiento de 45 °C con una temperatura de germinación de 30 °C en los periodos de envejecimiento de 24, 48, 72 y 96 horas, estos resultados concuerdan con lo reportado por Hernández *et al.* (2017) en donde se observó que el porcentaje de geminación disminuyo al incrementarse el periodo de envejecimiento y temperatura de envejecimiento esta investigación se realizó en dos lotes de semilla de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente.

**Cuadro 5.14.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores B\*C\*D.

Temperatura de envejecimiento (°C)	Periodo de envejecimiento (horas)	Temperatura de germinación (°C)	G2 (%)
42	24	25	90.20 a*
42	24	30	65.10 d
42	48	25	73.30 c
42	48	30	55.20 f
42	72	25	65.70 d
42	72	30	40.20 g
42	96	25	60.90 e
42	96	30	25.50 h
45	24	25	86.60 b
45	24	30	0.10 j
45	48	25	63.10 de
45	48	30	0.10 j
45	72	25	55.50 f
45	72	30	0.10 j
45	96	25	8.90 i
45	96	30	0.10 j

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

La interacción de los Factores variedad por temperatura de envejecimiento por periodo de envejecimiento por temperatura de germinación (A\*B\*C\*D) para la prueba de comparación de medias se presenta en el Cuadro 5.15 en donde se observa la variable germinación a los 16 días (G2), el mayor porcentaje de germinación obtenido fue de 95.70 % identificado como el tratamiento (T) T41 que corresponde a la

variedad Amarilla, seguido del T17 para semilla Morada con 93.70 % y finalmente T33 con 93.30 para semilla Amarilla, no existiendo diferencia estadística entre estos tres tratamientos. Con respecto a la variedad Negra el mejor tratamiento fue el T1 en donde se obtuvo el 82 % quedando por debajo de T35 y T45, esta comparación resulta importante debido a que T45 corresponde a la variedad Amarilla con una temperatura de envejecimiento de 45 °C, periodo de envejecimiento de 72 horas y temperatura de germinación de 25 °C, lo que indica que la variedad Negra se deteriora 2 veces más rápido que la variedad Amarilla, resaltando que la variedad Amarilla soporta una temperatura de envejecimiento mayor en comparación de la variedad Negra.

**Cuadro 5.15.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los factores A\*B\*C\*D.

Tratamiento	A	B	C	D	G2 (%)
T1	Negra	42	24	25	82.00 cd*
T2	Negra	42	24	30	65.20 ijk
T3	Negra	42	48	25	48.40 n
T4	Negra	42	48	30	30.80 p
T5	Negra	42	72	25	42.80 o
T6	Negra	42	72	30	1.40 s
T7	Negra	42	96	25	30.80 p
T8	Negra	42	96	30	1.40 s
T9	Negra	45	24	25	79.20 de
T10	Negra	45	24	30	0.10 t
T11	Negra	45	48	25	52.00 mn
T12	Negra	45	48	30	0.10 t
T13	Negra	45	72	25	23.60 q
T14	Negra	45	72	30	0.10 t
T15	Negra	45	96	25	0.10 t
T16	Negra	45	96	30	0.10 t
T17	Morada	42	24	25	93.70 a
T18	Morada	42	24	30	64.00 ijk
T19	Morada	42	48	25	79.20 de
T20	Morada	42	48	30	71.60 fg
T21	Morada	42	72	25	70.80 fgh
T22	Morada	42	72	30	67.60 ghij
T23	Morada	42	96	25	67.20 ghij

T24	Morada	42	96	30	49.60	n
T25	Morada	45	24	25	81.70	cd
T26	Morada	45	24	30	0.10	t
T27	Morada	45	48	25	61.60	kl
T28	Morada	45	48	30	0.10	t
T29	Morada	45	72	25	56.40	lm
T30	Morada	45	72	30	0.10	t
T31	Morada	45	96	25	16.70	r
T32	Morada	45	96	30	0.10	t
T33	Amarilla	42	24	25	93.30	a
T34	Amarilla	42	24	30	66.00	hijk
T35	Amarilla	42	48	25	88.00	b
T36	Amarilla	42	48	30	62.80	jk
T37	Amarilla	42	72	25	81.20	cd
T38	Amarilla	42	72	30	68.40	ghi
T39	Amarilla	42	96	25	82.40	cd
T40	Amarilla	42	96	30	40.40	o
T41	Amarilla	45	24	25	95.70	a
T42	Amarilla	45	24	30	0.10	t
T43	Amarilla	45	48	25	74.80	ef
T44	Amarilla	45	48	30	0.10	t
T45	Amarilla	45	72	25	84.40	bc
T46	Amarilla	45	72	30	0.10	t
T47	Amarilla	45	96	25	19.50	qr
T48	Amarilla	45	96	30	0.10	t

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16; A, Variedad; B, Temperatura de envejecimiento ( $^{\circ}\text{C}$ ); C, Período de envejecimiento (horas); D, Temperatura de germinación ( $^{\circ}\text{C}$ ).

En cuanto a la clasificación del vigor para las semillas después de la prueba de envejecimiento acelerado Aristizábal y Álvarez (2006), señalan que las semillas con germinación superior a 80% después del envejecimiento acelerado podrían ser clasificadas como de alto vigor, entre 60-80% como vigor medio, y menores de 60% como de bajo vigor. De acuerdo a esta clasificación para semilla de alto vigor en la variedad Negra solo en el T1, para vigor medio en T2 y T9, para vigor bajo en T25.

Para la variedad Morada en T17 se obtuvo alto vigor, en cuanto a vigor medio los tratamientos T18, T19, T20, T21 y T22 y finalmente bajo vigor T23 y T27. Finalmente, en la variedad Amarilla los tratamientos que dieron como resultado una G2 de alto

vigor fueron T33, T35, T37, T41 y T45, para vigor medio los tratamientos T34, T36, T38 Y T43. Los tratamientos faltantes para cada una de las variedades quedaron por debajo de 60 %.

### 5.3. Soak test

El análisis de varianza para porcentaje germinación estándar a los 16 días (G2) en soak test se presenta en el Cuadro 5.16, en el cual podemos observar diferencias altamente significativas para los Factores de variedades (A), periodo de imbibición (B), temperatura de germinación (C) y para la interacción A\*B, lo cual pone de manifiesto que al menos uno de los tratamientos tuvo un comportamiento estadísticamente diferente; sin embargo en las interacciones A\*C, C\*B y A\*B\*C no existió diferencia entre tratamientos. El coeficiente de variación fue de 8.22 % lo que nos indica que el experimento fue bien conducido.

**Cuadro 5.16.** Cuadrados medios del análisis de varianza para la prueba de soak test en la variable de germinación a los 16 días (G2).

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio G2	
Variedad (A)	2	8,599.03	**
Periodo de imbibición (B)	1	3,271.13	**
Temperatura de germinación (C)	1	1,000.37	**
A * B	2	541.47	**
A * C	2	19.09	ns
B * C	1	72.00	*
A * B * C	2	8.99	ns
Error	36	14.97	
C.V. (%)	--	8.22	

\*, \*\*, Significancia estadística a nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; ns, no significativo; G2, porcentaje de germinación al día 16; C.V., coeficiente de variación.

En cuanto a la prueba de comparación de medias para el Factor variedades (A) (Cuadro 5.17) para la variable germinación estándar al día 16 (G2), que corresponde a porcentaje de plántulas normales generadas, la variedad Morada y Amarilla obtuvieron resultados estadísticamente iguales de 77.32 y 59.27 % respectivamente y la variedad Negra obtuvo la G2 más baja con 12 %. En cuanto al Factor periodo de



imbibición (B) para la variable G2 se observa diferencia estadística entre los dos periodos, en un periodo de 24 horas G2 fue de 67.61 % y al aumentar a 48, G2 se redujo a 38.80 %. Para el Factor temperatura de germinación (C) se observa diferencia estadística entre las dos temperaturas, a 25 °C G2 fue de 61.41 % y a los 30 °C bajo a 45.60 %.

**Cuadro 5.17.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) para los Factores A, B y C.

Factor	G2 (%)
Factor A	
Negra	12.00 b*
Morada	77.30 a
Amarilla	73.90 a
DSH	3.34
Factor B	
24 Horas	67.61 a
48 Horas	39.70 b
DSH	2.26
Factor C	
25 °C	61.41 a
30 °C	45.60 b
DHS	2.26

DSH, Diferencia Significativa Honesta; \*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16; A, Variedad; B, Periodo de imbibición; C, Temperatura de germinación.

La diferencia en G2 obtenida entre las variedades al ser sometidas a estrés hídrico puede ser atribuida a las características físicas que estas poseen. La más importante de ellas es la permeabilidad de la semilla, respecto a esto la variedad Negra posee una testa más blanda siendo esta la variedad con G2 menor y la variedad con mayor G2 fue la Morada y esta posee la testa más dura. Lo blando o duro de la testa es atribuido al grosor que posee la testa y este grosor influye en la capacidad de permeabilidad de la semilla de acuerdo a lo reportado por Hernández *et al.* (2018), en su investigación evaluaron el vigor de semillas de *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis* y encontraron que semillas con testa de mayor grosor absorbieron menos

agua en comparación con el menor grosor. De acuerdo con lo observado las semillas al ser sometidas a un esteres de agua y poner a germinar a una temperatura superior a 25 °C influye en la germinación.

En el Cuadro 5.18 se presenta la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores variedad por periodo de imbibición (A\*B) para la variable germinación estándar al día 16 (G2), la variedad Morada y Amarilla con un periodo de imbibición de 24 horas son estadísticamente igual con 84.60 y 80.50 % respectivamente, por otro lado la variedad Negra en un periodo de 48 horas fue la de G2 más baja con 0.87 % y a las 24 horas de imbibición de 33.40 %, mientras que las variedades Morada y Amarilla a 48 horas obtuvieron más del 60 %, esto es indicativo de que la variedad Negra posee una testa muy suave o en su caso permeable.

**Cuadro 5.18.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) para la interacción de los Factores A\*B.

Variedad	Periodo de imbibición (Horas)	G2 (%)
Negra	24	33.40 c*
Negra	48	0.87 d
Morada	24	84.60 a
Morada	48	69.20 b
Amarilla	24	80.50 a
Amarilla	48	66.70 b

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

La interacción de los Factores periodo de imbibición por temperatura de germinación (B\*C) para la prueba de comparación de medias se presenta en el Cuadro 5.19 en donde se observa la variable germinación a los 16 días (G2), los resultados muestran diferencias estadísticas entre cada una de las combinaciones, en un periodo de 24 horas con una temperatura de germinación de 25 °C se obtuvo la G2 mayor con 76.70 %, seguido del periodo de imbibición de 24 horas con una temperatura de germinación de 30°C con 57.88 %. La G2 menor fue de 33.60 % y corresponde a un periodo de imbibición de 48 horas con una temperatura de germinación de 30 °C.

**Cuadro 5.19.** Prueba de comparación de medias para la variable germinación a los 16 días (G2) en la interacción de los Factores B\*C.

Periodo de imbibición (horas)	Temperatura de germinación (°C)	G2 (%)
24	25	76.70 a*
24	30	57.88 b
48	25	45.00 c
48	30	33.60 d

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); G2, porcentaje de germinación al día 16.

#### 5.4. Prueba de conductividad eléctrica

El análisis de varianza para la prueba de conductividad eléctrica se presenta en el Cuadro 5.20, en donde se observan diferencias altamente significativas para la variable CE  $\mu\text{S g}^{-1}$ , en los Factores A (Variedades), B (Temperatura de exposición), C (Periodo de imbibición) así como en las dobles interacciones (A\*B, A\*C y B\*C) y en la triple interacción (A\*B\*C), lo cual pone de manifiesto que al menos uno de los tratamientos tuvo un comportamiento estadísticamente diferente. El coeficiente de variación fue de 11.04 %, lo que nos indica que el experimento fue bien conducido.

**Cuadro 5.20.** Cuadrados medios del análisis de varianza para conductividad eléctrica.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio CE $\mu\text{S g}^{-1}$
Variedad (A)	2	13,790.00 **
Temperatura de exposición (B)	1	26,644.71 **
Periodo de imbibición (C)	3	10,975.29 **
A * B	2	4,656.07 **
A * C	6	2,245.81 **
B * C	3	3,570.48 **
A * B * C	6	1,411.75 **
Error	48	21.69
C.V. (%)	--	11.04

\*\*, Significancia estadística a nivel 0.01 de probabilidad; CE, conductividad eléctrica; C.V., coeficiente de variación.

En el Cuadro 5.21 se presenta la prueba de comparación de medias para los Factores A, B y C en la prueba de conductividad eléctrica (CE). En cuanto al Factor A las variedades Morada y Amarilla presentaron un comportamiento estadísticamente igual ( $p \leq 0.05$ ) para el número de lixiviados con  $28.88$  y  $27.76 \mu\text{S g}^{-1}$  respectivamente, por otro lado, la variedad Negra obtuvo  $69.83 \mu\text{S g}^{-1}$ , siendo el mayor número de lixiviados. Con respecto al Factor B a una temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  se obtuvieron  $22.92 \mu\text{S g}^{-1}$  y a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  se elevó a más del doble ( $61.39 \mu\text{S g}^{-1}$ ). Para el Factor C los valores de la CE fueron aumentando conforme se incrementaba el número de horas partiendo de las 24 horas con  $16.55 \mu\text{S g}^{-1}$ , seguido de 48 horas con  $29.69 \mu\text{S g}^{-1}$ , 72 horas con  $49.09 \mu\text{S g}^{-1}$  y finalmente a las 96 horas se obtuvo  $73.29 \mu\text{S g}^{-1}$ .

**Cuadro 5.21.** Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica en los Factores A, B y C.

Factor	CE $\mu\text{S g}^{-1}$
Factor A	
Negra	69.83 a*
Morada	28.88 b
Amarilla	27.76 b
DSH	3.25
Factor B	
25 $^\circ\text{C}$	22.92 b
30 $^\circ\text{C}$	61.39 a
DSH	2.21
Factor C (Horas)	
24	16.55 d
48	29.69 c
72	49.09 b
96	73.29 a
DSH	4.13

DHS, Diferencia Significativa Honesta; \*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); CE, conductividad eléctrica; A, variedad; B, temperatura de exposición; C, periodo de imbibición.

De acuerdo con lo observado la variedad Negra es la de menor vigor, ya la CE fue superior en comparación con las otras dos variedades, lo que indica que la semilla

tiene una excesiva permeabilidad de la membrana siendo este un síntoma de semilla deteriorada según lo reportado por Basavarajappa *et al.* (1991).

Bradford (2004), mencionó que al ser dañada la integridad física de la membrana se genera una pérdida de compartimentación celular y la expulsión de solutos y, de acuerdo con lo observado en las características que posee la semilla de la variedad Negra la testa era muy blanda y en algunas semillas esta estaba desprendida parcialmente. Otro de los Factores que puede haber influido en la CE presentada en la variedad Negra es el P1000S, ya que esta variedad es el menor peso, dicho esto en la investigación realizada por Mora M. *et al.* (2012) evaluaron la CE en diferentes variedades de judías considerando el P1000S, encontrando que en las variedades de menor peso la CE era superior en comparación con las variedades de un peso mayor.

El periodo de imbibición registro diferencias entre cada uno de estos, indicando que este tiene influencia en la respuesta diferencial de la conductividad, debido a que conforme se incrementa el periodo de imbibición incrementan los lixiviados al igual que al incrementar la temperatura de exposición la conductividad de eleva, coincidiendo con lo reportado por Silva *et al.* (2013) en frijol.

En cuanto a la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores A\*B (Cuadro 5.22) se puede observar que las variedades Amarilla ( $15.79 \mu\text{S g}^{-1}$ ) y Morada ( $18.44 \mu\text{S g}^{-1}$ ) a una temperatura de exposición de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  presentaron la CE más baja y entre estas no hubo diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ). Por otro lado, entre las variedad Negra a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y la Amarilla y Morada a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  no hubo diferencias estadísticas, sus valores fueron de 34.53, 39.74 y  $39.32 \mu\text{S g}^{-1}$  respectivamente. El valor más alto para CE fue de  $105.12 \mu\text{S g}^{-1}$  registrado en la variedad Negra a una temperatura de exposición de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , este valor representa más del doble de lo registrado en las otras variedades en la misma temperatura de exposición. De acuerdo con esta interacción se puede observar que las variedades Morada y Amarilla se comportaron estadísticamente igual y existe una diferencia marcada en la

respuesta obtenida para la Variedad Negra con respecto a la temperatura de exposición.

**Cuadro 5.22.** Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica en la interacción de los Factores A\*B.

Variedad	Temperatura de exposición °C	CE $\mu\text{S g}^{-1}$
Negra	25	34.53 b*
Negra	30	105.12 a
Morada	25	18.44 c
Morada	30	39.32 b
Amarilla	25	15.79 c
Amarilla	30	39.74 b

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); CE, conductividad eléctrica.

La prueba de comparación de medias en la prueba de conductividad eléctrica (CE) para la interacción de los Factores A\*C se presenta en el Cuadro 5.23, se observa que la variedad Amarilla con 24 horas obtuvo una CE de  $10.17 \mu\text{S g}^{-1}$  siendo este valor el más bajo seguido de la variedad Morada a 24 horas con  $13.69 \mu\text{S g}^{-1}$  y la variedad Negra a las 24 horas obtuvo  $25.72 \mu\text{S g}^{-1}$ , siendo este valor casi el doble de lo registrado para las dos anteriores mencionadas. A las 48 horas las variedades Amarilla y Morada obtuvieron valores de  $21.12$  y  $25.03 \mu\text{S g}^{-1}$  mientras que la variedad Negra obtuvo  $42.92 \mu\text{S g}^{-1}$  que es casi el doble de las otras dos variedades. En el periodo de imbibición de 72 horas las variedades Amarilla y Morada obtuvieron  $33.99$  y  $34.16 \mu\text{S g}^{-1}$  respectivamente sin existir diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ), por otro lado, la variedad Negra obtuvo  $79.13 \mu\text{S g}^{-1}$ . Finalmente en un periodo de 96 horas la variedad Amarilla obtuvo  $45.77 \mu\text{S g}^{-1}$  y la Morada  $42.63 \mu\text{S g}^{-1}$ , la variedad Negra obtuvo la CE más alta con  $131.49 \mu\text{S g}^{-1}$ .

**Cuadro 5.23.** Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica en la interacción de los Factores A\*C.

Variedad	Periodo de imbibición (horas)	Ce $\mu\text{S g}^{-1}$
Negra	24	25.77 ef*
Negra	48	42.92 cd
Negra	72	79.13 b
Negra	96	131.49 a
Morada	24	13.69 gh
Morada	48	25.03 ef
Morada	72	34.16 de
Morada	96	42.63 cd
Amarilla	24	10.17 h
Amarilla	48	21.12 fg
Amarilla	72	33.99 de
Amarilla	96	45.77 c

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); CE, conductividad eléctrica.

En la interacción variedad por periodo de imbibición (Cuadro 5.23) se puede observar diferencias estadísticas entre las variedades Morada, Amarilla vs Negra, poniendo en evidencia que las variedades tienen un comportamiento diferencial en la conductividad en función del periodo de imbibición, esto concuerda con lo reportado por Silva *et al.* (2013) en frijol y H. Araméndiz *et al.* (2017) en berenjena.

En el Cuadro 5.24 se presenta la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores B\*C en la prueba de conductividad eléctrica (CE). A una temperatura de exposición de 30 °C con un periodo de 96 horas se obtuvo 112.01  $\mu\text{S g}^{-1}$ , siendo esta la mayor CE registrada, seguido de 30 °C con 72 horas con 69.45  $\mu\text{S g}^{-1}$ , en 30 °C con un periodo de 48 horas la CE fue de 39.81  $\mu\text{S g}^{-1}$  siendo la mitad de lo registrado a las 72 horas. La CE con 30°C y 24 horas fue de 24.31. Por otro lado la conductividad a 25 °C con 96 horas fue de 34.59  $\mu\text{S g}^{-1}$ , a las 72 horas de 28.74  $\mu\text{S g}^{-1}$  y a las 48 horas la CE fue de 19.57  $\mu\text{S g}^{-1}$  este valor es la mitad de lo registrado a 30 °C con 48 horas. Finalmente, la CE más baja fue de 8.77  $\mu\text{S g}^{-1}$  registrada a 25 °C con 24 horas.

**Cuadro 5.24.** Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica en la interacción de los Factores B\*C.

Temperatura de exposición (°C)	Periodo de imbibición (horas)	Ce $\mu\text{S g}^{-1}$
25	24	8.77 g*
25	48	19.57 f
25	72	28.74 de
25	96	34.59 cd
30	24	24.31 ef
30	48	39.81 c
30	72	69.45 b
30	96	112.01 a

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); CE, conductividad eléctrica.

Con respecto a la prueba de comparación de medias para la interacción de los tres Factores A\*B\*C, presentada en el Cuadro 5.25 se puede observar que el T8 obtuvo la CE más alta con  $210.77 \mu\text{S g}^{-1}$  que corresponde a la variedad Negra a una temperatura de exposición de  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  y un periodo de imbibición de 96 horas, seguido del T7 con  $116.78 \mu\text{S g}^{-1}$  que corresponde a la variedad Negra a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  y 48 horas. La CE menor se registró en cada una de las variedades a una temperatura de exposición de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  con 24 horas de imbibición, T1 que corresponde a la variedad Negra con  $13.92 \mu\text{S g}^{-1}$ , T9 Morada con  $7.47 \mu\text{S g}^{-1}$  y finalmente la variedad Amarilla con  $4.94 \mu\text{S g}^{-1}$  siendo este el valor más bajo de todos los tratamientos.

**Cuadro 5.25.** Prueba de comparación de medias para conductividad eléctrica para la interacción de los Factores A\*B\*C.

Tratamiento	Variedad	Temperatura de exposición (°C)	Periodo de imbibición (horas)	Ce $\mu\text{S g}^{-1}$
T1	Negra	25	24	13.92 m-p*
T2	Negra	25	48	30.51 i-l
T3	Negra	25	72	41.48 e-i
T4	Negra	25	96	52.21 c-f
T5	Negra	30	24	37.62 f-j
T6	Negra	30	48	55.32 cde
T7	Negra	30	72	116.78 b



T8	Negra	30	96	210.77 a
T9	Morada	25	24	7.47 op
T10	Morada	25	48	16.69 l-p
T11	Morada	25	72	23.03 j-n
T12	Morada	25	96	26.56 j-m
T13	Morada	30	24	19.92 k-o
T14	Morada	30	48	33.35 g-k
T15	Morada	30	72	45.30 d-h
T16	Morada	30	96	58.69 cd
T17	Amarilla	25	24	4.94 p
T18	Amarilla	25	48	11.50 nop
T19	Amarilla	25	72	21.71 k-o
T20	Amarilla	25	96	24.99 j-n
T21	Amarilla	30	24	15.40 m-p
T22	Amarilla	30	48	30.75 h-l
T23	Amarilla	30	72	46.27 d-g
T24	Amarilla	30	96	66.55 c

\*, Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); CE, conductividad eléctrica;

### 5.5. Prueba de viabilidad de tetrazolio al 1%

El análisis de varianza para viabilidad en semilla de jícama se presenta en el Cuadro 5.26, en el cual podemos observar diferencias altamente significativas, para los Factores A (variedades), B (pretratamiento), C (temperatura de tratamiento) y D (periodo en tetrazolio) como en las interacciones simples y solo en la interacción triple de A\*B\*D se presentaron diferencias significativas, lo cual pone de manifiesto que al menos uno de los tratamientos tuvo un comportamiento estadísticamente diferente; sin embargo en la interacción de los cuatro Factores no existió diferencia entre tratamientos. El coeficiente de variación fue de 6.76 % siendo aceptable, lo que nos indica que el experimento fue bien conducido.

**Cuadro 5.26.** Cuadrados medios del análisis de varianza para la prueba de viabilidad al 1% en semilla de jícama.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio Semillas Viables
Variedad (A)	2	1,906 **
Pretratamiento (B)	1	831 **
Temperatura de tratamiento (C)	2	2,086 **
Periodo en tetrazolio (D)	6	24,714 **
A * B	2	227 **
A * C	4	217 **
A * D	12	304 **
B * C	2	78 **
B * D	6	89 **
C * D	12	27 *
A * B * C	4	22 ns
A * B * D	12	42 **
A * C * D	24	8 ns
B * C * D	12	17 ns
A * B * C * D	24	16 ns
Error	378	13.17
C.V. (%)		6.76

\*, \*\*, Significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; <sup>ns</sup>, no significativo; C.V., coeficiente de variación.

Con relación a la prueba de comparación de medias (Cuadro 5.27) de acuerdo con Tukey ( $p \leq 0.05$ ), se observa que en el Factor A la variedad Negra presento menor porcentaje de semillas viables y por lo tanto el mayor porcentaje de semillas no viables. Las variedades Morada y Amarilla presentaron el mejor comportamiento y entre estas no hubo diferencias estadísticas tanto para semillas viables y no viables. El comportamiento entre estas variedades dejo marcado el bajo vigor que posee la Variedad Negra en comparación con la Amarilla y Morada. Para el Factor B el mayor porcentaje de semillas viables se obtuvo a las 24 de pretratamiento por lo que a 48 horas se obtuvo el mayor porcentaje de semillas no viables, se esperaría que a las 48 horas de tratamiento hubiese un mayor número de semillas viables en comparación con 24 horas, por lo que se puede recalcar que en algunos tratamientos la exposición prolongada a un pretratamiento de 48 horas con tratamiento de 24 horas afecto la semilla causando la descomposición de la misma. Para el Factor C se

presentaron diferencias estadísticas entre las tres temperaturas en donde a una temperatura de 30 °C se obtuvo el mayor porcentaje de semillas viables y a 20 °C el mayor porcentaje de semillas no viables. La exposición a altas temperaturas genera una tinción más rápida e intensa (Peretti, 1994; Mello y Tillmann, 2001), coincidiendo con lo observado en esta investigación. Por último para el Factor D se presentaron diferencias estadísticas entre los periodos evaluados, siendo 2 horas el de mayor porcentaje de semillas no viables y el de 24 horas el de mayor porcentaje de semillas viables, estos resultados coinciden con lo reportado por Maldonado *et al.* (2016) en su investigación en nanche, donde la viabilidad de las semillas fue aumentando conforme se incrementaba el tratamiento en tetrazolio.

**Cuadro 5.27.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables en los Factores A, B, C y D.

Factor	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Factor A (variedades)		
Negra	58.25 b*	41.75 a
Morada	68.03 a	31.97 b
Amarilla	68.00 a	32.00 b
DSH	0.93	0.93
Factor B (horas)		
24	67.00 a	33.00 b
48	62.66 b	37.34 a
DSH	0.63	0.63
Factor C (°C)		
20	60.30 c	39.70 a
25	62.60 b	37.40 b
30	71.30 a	28.70 c
DSH	0.93	0.93
Factor D (horas)		
2	19.30 g	80.70 a
4	32.40 f	67.60 b
6	54.10 e	45.90 c
8	68.40 d	31.60 d
10	82.40 c	17.60 e
12	89.20 b	10.80 f
24	93.50 a	6.50 g
DSH	1.79	1.79

DSH, Diferencia Significativa Honesta; \*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

La interacción Variedad por pretratamiento arrojó diferencias altamente significativas (Cuadro 5.26), resaltando que los porcentajes de semillas viables son diferentes con respecto al pretratamiento, como se puede observar en el Cuadro 5.28 en donde las variedades Morada y Amarilla tuvieron el mayor porcentaje de semillas viables a las 24 horas de pretratamiento, sin haber diferencia estadística entre estas. Con respecto al pretratamiento de 48 horas la viabilidad disminuyó en comparación con el de 24 horas en las variedades Morada y Amarilla. En cuanto a la variedad Negra no hubo diferencias estadísticas entre los dos periodos de pretratamiento y además esta obtuvo los mayores porcentajes de semillas no viables.

**Cuadro 5.28.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*B.

Variedad	Pretratamiento (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	24	58.40 c*	41.60 a
Negra	48	58.00 c	42.00 a
Morada	24	70.10 a	29.90 c
Morada	48	65.90 b	34.10 b
Amarilla	24	71.90 a	28.10 c
Amarilla	48	64.00 b	36.00 b

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

De acuerdo a lo observado en la interacción A\*B se observa la influencia que tiene a variedad sobre el pretratamiento ya que el comportamiento entre la variedad Negra respecto a la variedad Morada y Amarilla fue estadísticamente diferente, lo que reafirma la variabilidad genética entre variedades.

Respecto a la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores A\*C (variedad por temperatura) presentada en el Cuadro 5.29 se puede observar que el mayor porcentaje de semillas viables fue para la variedad Amarilla a 30 °C, seguido por la variedad Morada a esta misma temperatura. En cuanto a la variedad Morada en 20 y 25 °C no se observan diferencias estadísticas, con porcentajes de 64.70 y 68 %. La variedad Negra presentó los menores porcentajes de semillas viables por debajo del 60 % para 20 y 25 °C y para 30 °C (64 %) no se presentaron

diferencias significativas con la variedad Amarilla a 20 y 25 °C. Se puede resaltar que en esta interacción el Factor A tiene un comportamiento diferencial en la viabilidad de semillas en función de la temperatura de tratamiento.

**Cuadro 5.29.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*C.

Variedad	Temperatura (°C)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	20	54.40 e*	45.60 a
Negra	25	56.10 e	42.90 a
Negra	30	64.00 d	36.00 b
Morada	20	64.70 c	35.30 bc
Morada	25	68.00 c	32.00 c
Morada	30	71.40 b	28.60 d
Amarilla	20	61.80 d	38.20 b
Amarilla	25	63.40 d	36.60 b
Amarilla	30	78.00 a	22.00 e

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En la comparación de medias de la interacción de los Factores A\*D (variedad por tratamiento en tetrazolio) la variedad Amarilla presento los mejores porcentajes de semillas viables a las 24 horas de tratamiento, seguido de la variedad Morada a 25 horas. La variedad Negra presento valores bajos que son estadísticamente iguales a los de la variedad Amarilla a las 10 y Morada a 12 horas de tratamiento en tetrazolio. El menor porcentaje de semillas viables se presentó en las tres variedades a las 2 horas de tratamiento no existiendo diferencias estadísticas entre las mismas (Cuadro 5.30), se observa que el tratamiento en tetrazolio tiene mayor influencia sobre el porcentaje de viabilidad en comparación con la variedad ya que los porcentajes más altos de semillas viables se presentaron en los periodos de tratamiento de 24 horas y para semillas no viables en los periodos de menor horas de exposición a tetrazolio.

**Cuadro 5.30.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*D.

Variedad	Tratamiento en tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	2	16.80 l*	83.20 a
Negra	4	34.30 k	65.70 b
Negra	6	48.00 j	52.00 c
Negra	8	62.90 i	37.10 d
Negra	10	71.80 gh	28.20 ef
Negra	12	81.00 f	19.00 g
Negra	24	87.80 de	12.20 hi
Morada	2	20.00 l	80.00 a
Morada	4	34.10 k	65.90 b
Morada	6	62.70 i	37.30 d
Morada	8	75.30 g	24.70 f
Morada	10	84.20 ef	15.80 gh
Morada	12	90.40 cd	9.60 ij
Morada	24	93.80 bc	6.20 jk
Amarilla	2	21.10 l	78.90 a
Amarilla	4	29.00 k	71.00 b
Amarilla	6	51.60 j	48.40 c
Amarilla	8	66.80 hi	33.20 de
Amarilla	10	89.50 d	10.50 i
Amarilla	12	94.50 b	5.50 k
Amarilla	24	97.30 a	2.70 l

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En la interacción de B\*C (pretratamiento por temperatura) en la prueba de medias (Cuadro 5.31) se detectaron 4 agrupaciones en donde el pretratamiento de 24 horas y una temperatura de 30 °C obtuvo el mayor número de semillas viables con 73.30 %. Seguido de un pretratamiento de 48 horas con la temperatura de 30 °C con un 69.30 % de semillas viables. El tercer grupo es del pretratamiento de 24 horas con temperatura de 25 °C con un 65.90 % y el cuarto grupo que fue el de menor número de semillas viables se encuentra en los pretratamientos de 24 y 48 horas con temperatura de 20 °C y pretratamiento de 48 horas a 25 °C, entre estos tres no hay diferencias estadísticas. En esta interacción se puede observar la influencia que tiene la temperatura de exposición en tetrazolio sobre el pretratamiento.

**Cuadro 5.31.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B\*C.

Pretratamiento	Temperatura (°C)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
24	20	61.40 d*	38.60 a
24	25	65.90 c	34.10 b
24	30	73.30 a	26.70 d
48	20	69.30 d	30.70 a
48	25	59.20 d	40.80 a
48	30	69.30 b	30.70 c

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En el Cuadro 5.32 se presenta la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores B\*D (pretratamiento por tratamiento en tetrazolio), se puede observar la influencia que tiene el periodo de tratamiento en tetrazolio sobre el porcentaje de semillas viables en comparación con el pretratamiento. En el análisis se puede observar la formación de varias agrupaciones, el porcentaje de semillas viables aumenta conforme aumente el número de horas de tratamiento en tetrazolio. Los mejores resultados se obtuvieron en 24 horas de pretratamiento y tratamiento con un 94.90 %. El pretratamiento de 48 horas con tratamiento de 24 horas obtuvo un 92 % formando una agrupación con la combinación de los pretratamientos y tratamientos en tetrazolio de 24-12 y 48-12 en donde no existen diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ). El mayor número de semillas no viables fue de 84.50 % se registró en el pretratamiento de 48 horas con tratamiento en tetrazolio de 2 horas.

**Cuadro 5.32.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B\*D.

Pretratamiento (horas)	Tratamiento en tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
24	2	23.40 h*	76.60 b
24	4	36.60 f	63.40 d
24	6	55.00 e	45.00 e
24	8	70.40 d	29.60 f
24	10	82.80 c	17.20 g
24	12	89.00 b	11.00 h
24	24	94.90 a	5.10 i

48	2	15.50 i	84.50 a
48	4	28.50 g	71.50 c
48	6	53.30 e	46.70 e
48	8	66.50 d	33.50 f
48	10	82.00 c	18.00 g
48	12	89.30 b	10.70 h
48	24	92.00 b	8.00 h

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En el Cuadro 5.33 se muestra la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores C\*D (temperatura por tratamiento en tetrazolio), se observaron diferentes agrupaciones en donde el Factor más importante en la formación de estos fue el tiempo de tratamiento en tetrazolio, el mayor porcentaje de semillas viables fue de 96.20 % con la combinación de temperatura de 30 °C y tratamiento de 24 horas, entre esta combinación y la de 25-24 no existen diferencias estadísticas. En cuanto al mayor porcentaje de semillas no viables se registró en las combinaciones de temperatura y tratamiento en tetrazolio de 20-2 y 25-2 con 84.80 y 84.20 % respectivamente entre estas no hay diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 5.33.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables en la interacción de los Factores C\*D.

Temperatura (°C)	Tratamiento en tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
20	2	15.20 j*	84.80 a
20	4	29.00 i	71.00 b
20	6	48.30 g	51.70 d
20	8	64.70 f	35.30 e
20	10	78.90 de	21.10 fg
20	12	87.50 c	12.50 h
20	24	90.20 bc	9.80 hi
25	2	15.80 j	84.20 a
25	4	29.90 i	70.10 b
25	6	51.70 g	48.30 d
25	8	65.20 f	34.80 e
25	10	81.40 d	18.60 g
25	12	88.00 c	12.00 h



25	24	93.50 ab	6.50 ij
30	2	27.70 i	72.30 b
30	4	40.30 h	59.70 c
30	6	62.30 f	37.70 e
30	8	75.20 e	24.80 f
30	10	86.60 c	13.40 h
30	12	91.00 b	9.00 i
30	24	96.20 a	3.80 j

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

Respecto a la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores A\*B\*D (variedad por pretratamiento por tratamiento en tetrazolio) presentada en el Cuadro 5.34 se puede observar que la media más alta con respecto al porcentaje de semillas viables fue para la variedad Amarilla (97.80 %) a 24 horas de pretratamiento con un tratamiento en tetrazolio de 24 horas, seguido de la variedad Morada (96.20 %) con la misma combinación y nuevamente la variedad Amarilla (96.90 %) en un tratamiento de 48 horas y tratamiento en tetrazolio de 24 horas, sin existir diferencias estadísticas entre estas tres. Por otro lado, la variedad Negra en un pretratamiento de 48 horas en 2 horas de tratamiento en tetrazolio presentó la media más baja (15.80 %) con respecto al porcentaje de semillas viables y la media más alta en esta variedad se presentó a las 24 horas de pretratamiento con un tratamiento en tetrazolio de 24 horas, dando una media de 89.10 %. Algo a resaltar es que se obtuvieron diferencias estadísticas a partir de las 4 horas para las variedades Morada y Amarilla con pretratamiento de 48 horas y que a las 24 horas de pretratamiento si se obtuvieron diferencias estadísticas, y la variedad Negra se comportó estadísticamente diferente.

**Cuadro 5.34.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables en la interacción de los Factores A\*B\*D.

Variedad	Pretratamiento (horas)	Tratamiento en tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	24	2	17.90 tu*	82.10 ab
Negra	24	4	36.00 pq	64.00 ef
Negra	24	6	48.30 no	51.70 gh

Negra	24	8	61.70	lm	38.30	ij
Negra	24	10	71.20	jkl	28.80	jkl
Negra	24	12	79.50	g-j	20.50	l-o
Negra	24	24	89.10	c-f	10.90	p-s
Negra	48	2	15.80	u	84.20	a
Negra	48	4	32.80	pqr	67.20	def
Negra	48	6	47.60	no	52.40	gh
Negra	48	8	64.00	klm	36.00	ijk
Negra	48	10	72.40	jk	27.60	kl
Negra	48	12	82.40	f-i	17.60	m-p
Negra	48	24	86.60	d-g	13.40	o-r
Morada	24	2	25.20	rst	74.80	bcd
Morada	24	4	35.30	pq	64.70	ef
Morada	24	6	62.40	lm	37.60	ij
Morada	24	8	76.50	hij	23.50	lmn
Morada	24	10	85.00	d-g	15.00	o-r
Morada	24	12	90.80	bcd	9.20	rst
Morada	24	24	96.20	a	3.80	u
Morada	48	2	15.30	u	84.70	a
Morada	48	4	32.00	pqr	68.00	def
Morada	48	6	63.10	klm	36.90	ijk
Morada	48	8	74.10	ij	25.90	lm
Morada	48	10	83.40	e-h	16.60	n-q
Morada	48	12	90.00	b-e	10.00	q-t
Morada	48	24	90.70	bcd	9.30	rst
Amarilla	24	2	27.50	qrs	72.50	cde
Amarilla	24	4	38.50	op	61.50	fg
Amarilla	24	6	54.10	mn	45.90	hi
Amarilla	24	8	72.60	jk	27.40	kl
Amarilla	24	10	90.20	bcd	9.80	q-t
Amarilla	24	12	94.80	ab	5.20	tu
Amarilla	24	24	97.80	a	2.20	u
Amarilla	48	2	15.40	u	84.60	a
Amarilla	48	4	20.40	stu	79.60	abc
Amarilla	48	6	49.00	n	51.00	hi
Amarilla	48	8	60.80	m	39.20	h
Amarilla	48	10	88.80	c-f	11.20	p-s
Amarilla	48	12	94.10	abc	5.90	stu
Amarilla	48	24	96.90	a	3.10	u

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

### 5.6. Prueba de viabilidad de tetrazolio al 0.5%

El análisis de varianza para viabilidad en semilla de jícama se presenta en el Cuadro 5.35, en el cual podemos observar diferencias altamente significativas, para los Factores A (variedades), B (pretratamiento), C (temperatura de tratamiento) y D (tratamiento en tetrazolio) como en cada una de las interacciones, lo cual pone de manifiesto que al menos uno de los tratamientos tuvo un comportamiento estadísticamente diferente. El coeficiente de variación fue de 6.11, un valor aceptable lo que nos indica que el experimento fue bien conducido.

**Cuadro 5.35.** Cuadrados medios del análisis de varianza para la prueba de viabilidad en tetrazolio al 0.5 % en semilla de jícama.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio Semillas viables
Variedad (A)	2	698.24 **
Pretratamiento (B)	2	1,019.48 **
Temperatura de tratamiento (C)	2	426.42 **
Periodo en tetrazolio (D)	4	3,247.42 **
A * B	4	194.64 **
A * C	4	25.19 **
A * D	8	48.81 **
B * C	4	31.08 **
B * D	8	35.17 **
C * D	8	24.47 **
A * B * C	8	5.28 **
A * B * D	16	24.33 **
A * C * D	16	6.44 **
B * C * D	16	14.46 **
A * B * C * D	32	8.32 **
Error	405	12.88
C.V. (%)		6.11

\*, \*\*, Significancia estadística al nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad; <sup>ns</sup>, No significativo; C.V., Coeficiente de variación.

Con relación a la prueba de comparación de medias (Cuadro 5.36) de acuerdo con Tukey ( $p \leq 0.05$ ), se observa que en el Factor A la variedad Amarilla presentó el mayor porcentaje de semillas viables (84.60 %) y por lo tanto el menor porcentaje de semillas no viables (15.40 %). Las variedades Morada y Negra presentaron 66.70 y 66.30 % respectivamente y entre estas no hubo diferencias estadísticas tanto para semillas viables y no viables. Para el Factor B en el pretratamiento de 48 se obtuvo el mayor porcentaje de semillas viables con 82.50 %, a las 24 horas se obtuvo 77.20 % y finalmente a las 12 horas se obtuvo el menor porcentaje con 57.10 %. Para el Factor C se presentaron diferencias estadísticas entre las tres temperaturas en donde a una temperatura de 30 °C se obtuvo el mayor porcentaje de semillas viables (82.10 %) y a 25 °C se obtuvo un 69.90 % y el menor porcentaje de semillas viables se obtuvo a 20°C con un 66.30 %. Por último, para el Factor D se presentaron diferencias estadísticas entre los periodos evaluados, siendo 6 horas el de menor porcentaje de semillas viables con 27.90 % y a las 48 horas el de mayor porcentaje de semillas viables 96.40 %.

**Cuadro 5.36.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables en los Factores A, B, C y D.

Factor	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Factor A (Variedades)		
Negra	66.30 b*	33.70 a
Morada	66.70 b	33.30 a
Amarilla	84.60 a	15.40 b
DSH	0.89	0.80
Factor B (horas)		
12	57.10 c	42.90 a
24	77.20 b	22.80 b
48	82.50 a	17.50 c
DSH	0.89	0.80
Factor C (°C)		
20	66.30 c	33.70 a
25	69.90 b	30.10 b
30	82.10 a	17.90 c
DSH	0.89	0.80
Factor D (horas)		

6	27.90 e	72.10 a
12	54.20 d	45.80 b
18	74.40 c	25.60 c
24	93.90 b	6.10 d
48	96.40 a	3.60 e
DSH	1.34	1.20

DSH, Diferencia Significativa Honesta; \*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); A, Variedad; B, Pretratamiento; C, Temperatura de tratamiento; D, Tratamiento en tetrazolio.

En el Cuadro 5.37, se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para la interacción de Factor A\*B (variedad por pretratamiento), la Amarilla con 48 horas obtuvo 90 % de semillas viables siendo este el mayor porcentaje de semillas viables, seguido por Amarilla con 24 horas y Morada con 48 horas con un 84.60 y 84 % respectivamente no habiendo diferencia estadística entre estas. En cuanto a la variedad Negra con 24 y 48 no se presentó diferencia estadística entre estas siendo 70.20 y 72.10 % semillas viables. El menor porcentaje de semillas viables se obtuvo en la variedad Morada con 12 horas llegando a 35.60 % de semillas viables.

**Cuadro 5.37.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*B.

Variedad	Pretratamiento (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	12	56.10 e*	43.90 b
Negra	24	70.20 d	29.80 c
Negra	48	72.10 d	27.90 c
Morada	12	35.60 f	64.40 a
Morada	24	76.90 c	23.10 d
Morada	48	84.00 b	16.00 e
Amarilla	12	78.00 c	22.00 d
Amarilla	24	84.60 b	15.40 e
Amarilla	48	90.00 a	10.00 f

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

Respecto a la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores A\*C (variedad por temperatura de tratamiento) presentada en el Cuadro 5.38 se puede observar que el mayor porcentaje de semillas viables fue para la variedad

Amarilla a 30 °C con 92.70 %, seguido por la variedad Amarilla a 25 °C (81 %), Amarilla a 20 °C (78 %) y Morada a 30 °C (79 %) no habiendo diferencia estadística entre estas, seguido de la variedad Negra a 30°C con 71.50 %. El mayor porcentaje de semillas no viables se obtuvo en la variedad Morada a 20°C con 42.90 %.

**Cuadro 5.38.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*C.

Variedad	Temperatura de tratamiento (°C)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	20	62.40 d*	37.60 b
Negra	25	64.80 d	35.20 b
Negra	30	71.50 c	28.50 c
Morada	20	57.10 e	42.90 a
Morada	25	62.70 d	37.30 b
Morada	30	79.00 b	21.00 d
Amarilla	20	78.00 b	22.00 d
Amarilla	25	81.00 b	19.00 d
Amarilla	30	92.70 a	7.30 e

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En el Cuadro 5.39 se muestra la prueba de comparación de medias para la interacción A\*D (variedad por tratamiento en tetrazolio), en donde la variedad Amarilla con 48 horas de tratamiento obtuvo 99 % de semillas viables siendo este el porcentaje mayor, seguido de Amarilla a 24 horas con 98 %, en seguida la variedad Negra a 48 horas con 96.80 % y entre las combinaciones de Amarilla a 18 horas (91.20 %), Morada a 48 horas (91.30 %) y Negra a 24 horas (93.70 %) no hubo diferencia estadística entre estas. Para las tres variedades con 6 horas de tratamiento se obtuvieron porcentajes bajos de semillas viables.

**Cuadro 5.39.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*D.

Variedad	Tratamiento en tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	6	20.00 j*	80.00 a
Negra	12	41.40 h	58.60 c
Negra	18	59.80 f	40.20 e

Negra	24	93.70 c	6.30 i
Negra	48	96.80 b	3.20 j
Morada	6	26.60 i	73.40 b
Morada	12	50.60 g	49.40 d
Morada	18	68.00 e	32.00 f
Morada	24	87.00 d	13.00 g
Morada	48	91.30 c	8.70 h
Amarilla	6	37.80 h	62.20 c
Amarilla	12	70.20 e	29.80 f
Amarilla	18	91.20 c	8.80 hi
Amarilla	24	98.00 ab	2.00 jk
Amarilla	48	99.00 a	1.00 k

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En la interacción de B\*C (pretratamiento por temperatura de tratamiento) en la prueba de medias (Cuadro 5.40), se observa que mayor número de semillas viables se obtuvo a las 24 horas con 30 °C (88 %), seguido de 48 horas con 30 °C (86.50 %) no habiendo diferencia estadística entre estos dos. De igual manera no se presentó diferencia estadística entre el pretratamiento de 48 horas a 25 °C y 20 °C con 81.40 y 79.40 % respectivamente. Por otro lado, el porcentaje de semillas viables se redujo a un 75 % a 24 horas de pretratamiento con temperatura de 25 °C, los resultados indican que con un pretratamiento menor a 24 horas independientemente de la temperatura el porcentaje de semillas viables se encontrara por debajo de 70 %.

**Cuadro 5.40.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B\*C.

Pretratamiento (horas)	Temperatura de tratamiento (°C)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
12	20	50.50 e*	49.50 a
12	25	50.80 e	49.20 a
12	30	69.60 d	30.40 b
24	20	67.50 d	32.50 b
24	25	75.00 c	25.00 c
24	30	88.00 a	12.00 e
48	20	79.40 b	20.60 d
48	25	81.40 b	18.60 d
48	30	86.50 a	13.50 e

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En el Cuadro 5.41 se presenta la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores B\*D (pretratamiento por tratamiento en tetrazolio), en donde se puede observar que los mayores porcentajes de semillas viables se registraron en las combinaciones de 24 y 48 horas de pretratamiento con 24 y 48 horas de tratamiento de tetrazolio (24-24, 24-48, 48-24 y 48, 48) con 98.30, 97.60, 98.10 y 98.20 % respectivamente no habiendo diferencia estadística entre estas. Por otro lado en las combinaciones 12-48 y 48-18 se registraron porcentajes de semillas viables de 91.40 y 89.10 % sin diferencia estadística entre estas. Porcentajes menores a 80 % se registraron en periodos de tratamiento menores o iguales a 18 horas, a excepción de la combinación de 48 horas de pretratamiento con 18 horas de tratamiento en tetrazolio, lo que es indicativo de que la semilla requiere un periodo mayor a 12 horas de tratamiento.

**Cuadro 5.41.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B\*D.

Pretratamiento (horas)	Tratamiento en tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
12	6	15.20 h*	84.80 a
12	12	38.50 g	61.50 b
12	18	56.40 f	43.60 c
12	24	78.70 c	21.30 f
12	48	91.40 b	8.60 g
24	6	35.00 g	65.00 b
24	12	55.80 f	44.20 c
24	18	74.10 d	25.90 e
24	24	98.30 a	1.70 h
24	48	97.60 a	2.40 h
48	6	34.70 g	65.30 b
48	12	68.00 e	32.00 d
48	18	89.10 b	10.90 g
48	24	98.10 a	1.90 h
48	48	98.20 a	1.80 h

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En el Cuadro 5.42 se muestra la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores C\*D (temperatura de tratamiento por tratamiento en



tetrazolio), el mayor porcentaje de semillas viables fue de 98 % y se registró en la combinación 30-48, seguido de la combinación 30-24 con un 97 %. Para la temperatura de 20 °C su mayor porcentaje de semillas viables se registró en la combinación con 48 horas de tratamiento con un total de 95.50 %. En las combinaciones de 25 °C con 24 y 48 horas de tratamiento se registraron porcentajes de 93.30 y 95 % respectivamente son existir diferencia estadística entre estas. Por otro lado, los mayores porcentajes de semillas no viables se registraron en los periodos de tratamiento de 6 horas, yendo en aumento el porcentaje cuando menor es la temperatura de tratamiento (20, 25 y 30 °C), que va de 83 a 78.30 y 52.80 % respectivamente.

**Cuadro 5.42.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores C\*D.

Temperatura de tratamiento (°C)	Tratamiento en tetrazolio (Horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
20	6	17.00 k	83.00 a
20	12	46.00 i	54.00 c
20	18	69.30 fg	30.70 ef
20	24	89.90 d	10.10 h
20	48	95.50 bc	4.50 ij
25	6	21.70 j	78.30 b
25	12	50.60 h	49.40 d
25	18	72.00 f	28.00 f
25	24	93.30 c	6.70 i
25	48	95.00 c	5.00 i
30	6	47.20 hi	52.80 cd
30	12	66.30 g	33.70 e
30	18	81.50 e	18.50 g
30	24	97.00 ab	3.00 jk
30	48	98.00 a	2.00 k

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

Respecto a la interacción A\*B\*C (variedad por pretratamiento por temperatura de tratamiento) para la prueba de comparación de medias presentada en el Cuadro 5.43, se observa que el mayor porcentaje de semillas viables se registró en la variedad Amarilla (94.70 %) con 24 horas de pretratamiento y 30 °C, seguido de la

variedad Amarilla (92.80 %) y Morada (92 %) con un pretratamiento de 48 horas y temperatura de tratamiento de 30 °C no habiendo diferencia estadística entre estas. Con respecto a la variedad Negra el mayor porcentaje de semillas viables fue de 79.70 % con un pretratamiento de 24 horas y temperatura de tratamiento de 30 °C. Sin embargo los mayores porcentajes de semillas viables se registran en la variedad Morada con un pretratamiento de 12 horas y temperatura de tratamiento de 20 y 25 °C (72 y 70.70 %) respectivamente, sin diferencia estadística. En las siguientes tres combinaciones los porcentajes de semillas no viables fueron estadísticamente iguales: la variedad Negra con pretratamiento de 12 horas y temperatura de tratamiento de 20 y 25 °C los porcentajes fueron de 48 y 47.30 % y en la variedad Morada con pretratamiento de 12 horas y 30 °C fue de 49.40 %. Se observa que en la variedad Negra y Morada el periodo de pretratamiento de 12 horas no fue efectivo debido a que el número de semillas viables es menor en comparación con la variedad Amarilla ya que sus porcentajes son mayores a 70 %.

**Cuadro 5.43.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*B\*C.

Variedad	Pretratamiento (horas)	Temperatura de tratamiento (°C)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	12	20	52.00 j*	48.00 b
Negra	12	25	52.70 j	47.30 b
Negra	12	30	62.80 hi	37.20 c
Negra	24	20	60.40 i	39.60 c
Negra	24	25	69.50 fgh	30.50 de
Negra	24	30	79.70 de	20.30 ghi
Negra	48	20	73.50 ef	26.50 ef
Negra	48	25	71.30 fg	28.70 def
Negra	48	30	71.30 fg	28.70 def
Morada	12	20	28.00 k	72.00 a
Morada	12	25	29.30 k	70.70 a
Morada	12	30	50.60 j	49.40 b
Morada	24	20	66.60 ghi	33.40 cd
Morada	24	25	74.40 ef	25.60 efg
Morada	24	30	87.70 c	12.30 j
Morada	48	20	76.00 def	24.00 fgh
Morada	48	25	81.80 d	18.20 i

Morada	48	30	92.00 ab	8.00 kl
Amarilla	12	20	71.00 fg	29.00 def
Amarilla	12	25	70.30 fg	29.70 def
Amarilla	12	30	90.00 bc	10.00 jk
Amarilla	24	20	74.90 ef	25.10 efg
Amarilla	24	25	81.00 d	19.00 hi
Amarilla	24	30	94.70 a	5.30 l
Amarilla	48	20	87.00 c	13.00 j
Amarilla	48	25	89.00 bc	11.00 jk
Amarilla	48	30	92.80 ab	7.20 kl

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

La prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores A\*B\*D (variedad por pretratamiento por tratamiento en tetrazolio) se presenta en el Cuadro 5.44, se observa que la variedad Amarilla obtuvo los mayores porcentajes de semillas viables en las combinaciones de pretratamiento 24 horas con 24 horas de tratamiento (99.52 %) y en el pretratamiento de 48 horas con 24 horas de tratamiento (99.55 %) y 48 horas de tratamiento (99.55 %) sin diferencia estadística. Por lo que la variedad Morada presentó su mayor porcentaje de semillas viables con el 98.50 % obtenido en 48 horas de pretratamiento y 48 horas de tratamiento en tetrazolio y en la variedad Negra fue de 98.70 % en 12 horas de pretratamiento y 48 horas de tratamiento en tetrazolio, sin diferencia estadística entre estas. En cuanto al mayor porcentaje de semillas no viables se registró en la variedad Negra y Morada con 12 horas de tratamiento y 6 horas de tratamiento en tetrazolio con 92 y 87 % respectivamente.

**Cuadro 5.44.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*B\*D.

Variedad	Pretratamiento (horas)	Tratamiento en tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	12	6	8.00 x*	92.00 a
Negra	12	12	33.30 s-v	66.70 de
Negra	12	18	42.30 rst	57.70 f
Negra	12	24	83.80 hij	16.20 mno
Negra	12	48	98.70 ab	1.30 uvw
Negra	24	6	32.70 tuv	67.30 cde

Negra	24	12	46.30	o-r	53.70	fg
Negra	24	18	53.40	nop	46.60	ghi
Negra	24	24	97.80	abc	2.20	t-w
Negra	24	48	96.00	bcd	4.00	stuv
Negra	48	6	22.60	w	77.40	b
Negra	48	12	44.60	pqr	55.40	fg
Negra	48	18	81.20	ij	18.80	mn
Negra	48	24	96.00	bcd	4.00	s-v
Negra	48	48	95.10	cde	4.90	stu
Morada	12	6	13.00	x	87.00	a
Morada	12	12	24.80	vw	75.20	bc
Morada	12	18	30.90	uvw	69.10	cde
Morada	12	24	52.50	n-q	47.50	gh
Morada	12	48	62.30	lmn	37.70	ij
Morada	24	6	31.20	uvw	68.80	cde
Morada	24	12	55.70	mno	44.30	hi
Morada	24	18	77.20	jk	22.80	lm
Morada	24	24	97.00	bcd	3.00	s-v
Morada	24	48	98.00	abc	2.00	t-w
Morada	48	6	37.80	r-u	62.20	ef
Morada	48	12	71.70	kl	28.30	kl
Morada	48	18	89.80	fgh	10.20	o-r
Morada	48	24	97.60	abc	2.40	t-w
Morada	48	48	98.50	ab	1.50	vw
Amarilla	12	6	26.40	vw	73.60	bcd
Amarilla	12	12	58.50	mn	41.50	hij
Amarilla	12	18	90.00	e-h	10.00	pqr
Amarilla	12	24	93.00	d-g	7.00	qrs
Amarilla	12	48	98.70	ab	1.30	vw
Amarilla	24	6	43.00	qrs	57.00	f
Amarilla	24	12	65.30	lm	34.70	jk
Amarilla	24	18	88.10	ghi	11.90	opq
Amarilla	24	24	99.52	a	0.48	w
Amarilla	24	48	99.00	ab	1.00	vw
Amarilla	48	6	44.60	pqr	55.40	fg
Amarilla	48	12	84.70	hij	15.30	nop
Amarilla	48	18	94.70	c-f	5.30	rst
Amarilla	48	24	99.55	a	0.45	w
Amarilla	48	48	99.55	a	0.45	w

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

En el Cuadro 5.45 se presenta la prueba de comparación de medias para la interacción de los Factores A\*C\*D (variedad por temperatura de tratamiento por tratamiento en tetrazolio). La variedad Amarilla con una temperatura de tratamiento de 30 °C y periodo de tratamiento de 24 y 48 horas obtuvieron los porcentajes mayores de semillas viables con 99.73 y 99.52 % respectivamente, sin diferencia estadística. En cuanto a la variedad Negra con una temperatura de 20 y 30 °C y un periodo de tratamiento de 48 horas su número de semillas viables fue de 98 % y para la variedad Morada su mayor porcentaje de semillas viables se presentó en una temperatura de tratamiento de 30 °C y periodo de tratamiento de 48 y 24 horas con 95.80 y 94 % respectivamente. Por otro lado el mayor porcentaje de semillas viables se presentó en la variedad Negra y Morada con temperatura de tratamiento de 20 °C y periodo de tratamiento de 6 horas con 87.90 y 86.50 respectivamente sin diferencia estadística, con respecto a la variedad Amarilla con el mismo tratamiento y periodo de tratamiento su porcentaje de semillas viables fue de 73.30 % un porcentaje menor al presentado en la variedad Morada con temperatura de tratamiento de 25 °C y periodo de tratamiento de 6 horas, en donde su porcentaje de semillas viables fue de 81.70 %.

**Cuadro 5.45.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*C\*D.

Variedad	Temperatura de tratamiento (°C)	Tratamiento en tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
Negra	20	6	12.10 v	87.90 a
Negra	20	12	35.50 qr	64.50 ef
Negra	20	18	56.70 lmn	43.30 ij
Negra	20	24	90.80 ghi	9.20 opq
Negra	20	48	98.00 a-d	2.00 t-w
Negra	25	6	20.50 stu	79.50 bc
Negra	25	12	42.30 opq	57.70 fg
Negra	25	18	56.70 lmn	43.30 ij
Negra	25	24	94.70 d-h	5.30 p-s
Negra	25	48	93.30 fgh	6.70 pqr
Negra	30	6	28.70 rs	71.30 de
Negra	30	12	46.30 op	53.70 gh

Negra	30	18	65.70 l	34.30 k
Negra	30	24	95.30 c-g	4.70 q-t
Negra	30	48	98.00 a-e	2.00 s-w
Morada	20	6	13.50 uv	86.50 a
Morada	20	12	40.60 pq	59.40 fg
Morada	20	18	62.30 l	37.70 jk
Morada	20	24	81.50 jk	18.50 lm
Morada	20	48	85.70 ij	14.30 mno
Morada	25	6	18.30 tuv	81.70 ab
Morada	25	12	47.10 nop	52.90 gh
Morada	25	18	65.70 l	34.30 k
Morada	25	24	84.30 ij	15.70 mn
Morada	25	48	90.80 ghi	9.20 nop
Morada	30	6	52.10 mno	47.90 hi
Morada	30	12	64.10 l	35.90 jk
Morada	30	18	75.40 k	24.60 l
Morada	30	24	94.00 e-h	6.00 pqr
Morada	30	48	95.80 c-f	4.20 q-u
Amarilla	20	6	26.70 rst	73.30 cd
Amarilla	20	12	60.40 lm	39.60 ijk
Amarilla	20	18	86.00 ij	14.00 mno
Amarilla	20	24	95.40 c-g	4.60 q-t
Amarilla	20	48	98.60 abc	1.40 uvw
Amarilla	25	6	26.50 rst	73.50 cd
Amarilla	25	12	62.50 l	37.50 jk
Amarilla	25	18	89.40 hi	10.60 nop
Amarilla	25	24	98.00 a-d	2.00 s-w
Amarilla	25	48	99.00 ab	1.00 vw
Amarilla	30	6	61.60 lm	38.40 jk
Amarilla	30	12	85.30 ij	14.70 mno
Amarilla	30	18	96.50 b-f	3.50 r-v
Amarilla	30	24	99.73 a	0.27 w
Amarilla	30	48	99.52 a	0.48 w

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

Respecto a la interacción B\*C\*D (pretratamiento por temperatura de tratamiento por tratamiento en tetrazolio) para la prueba de comparación de medias presentada en el Cuadro 5.46, se observa que el porcentaje mayor de semillas viables fue de 99.74 % en un pretratamiento de 24 horas con temperatura de tratamiento de 30 °C y tratamiento en tetrazolio de 24 horas, el pretratamiento de 48 horas con temperatura de tratamiento de 30 °C y tratamiento en tetrazolio el porcentaje de semillas viables

fue de 99.17 %, por otro lado en las combinaciones restantes de pretratamiento de 24 y 48 horas con temperatura de tratamiento de 25 y 30 °C y tratamiento en tetrazolio de 24 y 48 horas el porcentaje de semillas viables se encuentra entre 98.70 y 98 % sin diferencia estadística entre estos. En cuanto al mayor porcentaje de semillas viables se presentó en el pretratamiento de 12 horas con temperatura de tratamiento de 20 °C y tratamiento en tetrazolio de 6 horas con un 93 %, seguido de 88.10 % encontrado tratamiento de 12 horas, temperatura de tratamiento de 25 °C y tratamiento en tetrazolio de 6 horas.

**Cuadro 5.46.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores B\*C\*D.

Pretratamiento (horas)	Temperatura de tratamiento (°C)	Tratamiento de tetrazolio (horas)	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
12	20	6	7.00 r*	93.00 a
12	20	12	29.80 q	70.20 cd
12	20	18	55.50 lmn	44.50 gh
12	20	24	71.40 ij	28.60 jkl
12	20	48	90.00 ef	10.00 op
12	25	6	11.90 r	88.10 ab
12	25	12	33.40 pq	66.60 cde
12	25	18	48.60 no	51.40 fg
12	25	24	76.00 hi	24.00 lm
12	25	48	84.50 fg	15.50 no
12	30	6	29.90 q	70.10 cd
12	30	12	52.70 mn	47.30 gh
12	30	18	64.90 jkl	35.10 ij
12	30	24	87.20 efg	12.80 no
12	30	48	97.10 bc	2.90 qrs
24	20	6	13.20 r	86.80 b
24	20	12	46.60 no	53.40 fg
24	20	18	64.60 jkl	35.40 ij
24	20	24	95.50 cd	4.50 qr
24	20	48	97.30 bc	2.70 rs
24	25	6	26.80 q	73.20 c
24	25	12	51.60 mn	48.40 gh
24	25	18	73.60 ij	26.40 kl
24	25	24	98.40 abc	1.60 rst
24	25	48	98.00 abc	2.00 rst

24	30	6	71.00 ij	29.00 jkl
24	30	12	68.80 ijk	31.20 ijkl
24	30	18	83.00 gh	17.00 mn
24	30	24	99.74 a	0.26 t
24	30	48	98.80 abc	1.20 rst
48	20	6	35.50 pq	64.50 de
48	20	12	60.40 klm	39.60 hi
48	20	18	85.20 fg	14.80 no
48	20	24	96.50 bcd	3.50 qrs
48	20	48	97.50 bc	2.50 rs
48	25	6	27.90 q	72.10 cd
48	25	12	66.80 jk	33.20 ijk
48	25	18	89.10 efg	10.90 nop
48	25	24	98.00 abc	2.00 rst
48	25	48	98.40 abc	1.60 rst
48	30	6	40.90 op	59.10 ef
48	30	12	76.30 hi	23.70 lm
48	30	18	92.60 de	7.40 pq
48	30	24	99.17 ab	0.83 st
48	30	48	98.70 abc	1.30 rst

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ )

La prueba de comparación de medias para la interacción A\*B\*C\*D se presenta en el Cuadro 5.47 en donde se observan múltiples agrupaciones, Los tratamientos (T) en los que se obtuvo un porcentaje mayor al 95 % de semillas viables sin existir diferencias estadísticas entre estos entre variedades y para cada variedad fueron los siguientes: para la variedad Negra cuanto a la variedad Negra los tratamientos 5,15,29,30 y 44, para la variedad Morada los tratamientos 65, 70, 74, 75, 84, 85, 89 y 90 y finalmente para la variedad Amarilla los tratamientos 100, 103, 104, 105, 109, 110, 114, 115, 119, 120, 124, 125, 129, 130, 133, 134 y 135. Cabe resaltar que en estos tratamientos el periodo de exposición a tetrazolio es igual o mayor a 24 horas, por el contrario, los tratamientos con el mayor porcentaje de semillas viables fueron aquellos con el menor número de horas de exposición en tetrazolio, sin importar la variedad, pretratamiento y temperatura de exposición.



**Cuadro 5.47.** Prueba de comparación de medias para semillas viables y no viables de la interacción de los Factores A\*B\*C\*D.

T	A	B	C	D	Semillas viables (%)	Semillas no viables (%)
T1	Negra	12	20	6	0.10 n*	99.90 a
T2	Negra	12	20	12	28.00 c-j	72.00 d-j
T3	Negra	12	20	18	50.00 s-a'	50.00 m-u
T4	Negra	12	20	24	80.70 j-p	19.30 z-d'
T5	Negra	12	20	48	99.90 a	0.10 m'
T6	Negra	12	25	6	12.90 j-m	87.10 bc
T7	Negra	12	25	12	35.00 z-h'	65.00 f-m
T8	Negra	12	25	18	38.00 x- f'	62.00 g-o
T9	Negra	12	25	24	84.40 h-m	15.60 b'-f'
T10	Negra	12	25	48	89.10 d-k	10.90 c'-i'
T11	Negra	12	30	6	21.90 f-l	78.10 c-g
T12	Negra	12	30	12	37.00 y-g'	63.00 g-n
T13	Negra	12	30	18	39.00 x- f'	61.00 h-p
T14	Negra	12	30	24	86.10 f-l	13.90 c'-g'
T15	Negra	12	30	48	99.90 a	0.10 m'
T16	Negra	24	20	6	15.90 i-m	84.10 b-d
T17	Negra	24	20	12	35.00 z-h'	65.00 f-m
T18	Negra	24	20	18	43.00 x-d'	57.00 i-q
T19	Negra	24	20	24	94.20 b-i	5.80 f'-l'
T20	Negra	24	20	48	96.00 b-g	4.00 h'-m'
T21	Negra	24	25	6	30.00 b'-i'	70.00 d-k
T22	Negra	24	25	12	47.00 u-b'	53.00 k-s
T23	Negra	24	25	18	50.00 u-a'	50.00 m-u
T24	Negra	24	25	24	99.00 abc	1.00 k'-m'
T25	Negra	24	25	48	95.10 b-g	4.90 g'-l'
T26	Negra	24	30	6	55.00 r-y	45.00 o-w
T27	Negra	24	30	12	57.00 r-x	43.00 q-w
T28	Negra	24	30	18	67.00 o-t	33.00 u-z
T29	Negra	24	30	24	99.00 abc	1.00 k'-m'
T30	Negra	24	30	48	97.00 a-e	3.00 i'-m'
T31	Negra	48	20	6	37.00 y-g'	63.00 g-n
T32	Negra	48	20	12	44.00 w-d'	56.00 j-q
T33	Negra	48	20	18	76.00 k-q	24.00 x-c'
T34	Negra	48	20	24	95.10 b-h	4.90 g'-l'
T35	Negra	48	20	48	96.00 b-g	4.00 h'-m'
T36	Negra	48	25	6	20.00 g-l	80.00 c-f
T37	Negra	48	25	12	45.00 v-d'	55.00 k-q
T38	Negra	48	25	18	80.00 k-q	20.00 y-d'

T39	Negra	48	25	24	96.00	a-f	4.00	h'-m'
T40	Negra	48	25	48	95.10	b-h	4.90	g'-l'
T41	Negra	48	30	6	12.90	j'-m'	87.10	bc
T42	Negra	48	30	12	45.00	v-d'	55.00	k-q
T43	Negra	48	30	18	87.10	e-k	12.90	c'-h'
T44	Negra	48	30	24	97.00	a-e	3.00	i'-m'
T45	Negra	48	30	48	94.20	b-i	5.80	f'-l'
T46	Morada	12	20	6	5.80	m'	94.20	b
T47	Morada	12	20	12	19.00	h'-l'	81.00	cde
T48	Morada	12	20	18	31.00	a'-i'	69.00	e-l
T49	Morada	12	20	24	44.00	w-d'	56.00	j-q
T50	Morada	12	20	48	49.00	u-b'	51.00	m-t
T51	Morada	12	25	6	12.00	k'-m'	88.00	bc
T52	Morada	12	25	12	19.00	h'-l'	81.00	cde
T53	Morada	12	25	18	20.00	g'-l'	80.00	c-f
T54	Morada	12	25	24	46.00	u-c'	54.00	k-r
T55	Morada	12	25	48	56.00	r-y	44.00	p-w
T56	Morada	12	30	6	23.90	e'-k'	76.10	c-h
T57	Morada	12	30	12	38.00	x-f'	62.00	g-o
T58	Morada	12	30	18	43.00	x-d'	57.00	i-q
T59	Morada	12	30	24	67.10	o-t	32.90	u-z
T60	Morada	12	30	48	80.00	j-q	20.00	y-d'
T61	Morada	24	20	6	11.00	l' m'	89.00	bc
T62	Morada	24	20	12	51.00	s-z	49.00	m-u
T63	Morada	24	20	18	65.00	o-u	35.00	t-y
T64	Morada	24	20	24	94.20	b-i	5.80	f'-l'
T65	Morada	24	20	48	96.00	a-f	4.00	h'-m'
T66	Morada	24	25	6	20.00	g'-l'	80.00	c-f
T67	Morada	24	25	12	53.00	r-y	47.00	o-v
T68	Morada	24	25	18	80.00	l-q	20.00	y-d'
T69	Morada	24	25	24	95.10	b-h	4.90	g'-l'
T70	Morada	24	25	48	99.00	a-c	1.00	k'-m'
T71	Morada	24	30	6	69.00	m-s	31.00	v-a'
T72	Morada	24	30	12	63.00	q-w	37.00	r-x
T73	Morada	24	30	18	85.00	g-m	15.00	b'-g'
T74	Morada	24	30	24	99.74	ab	0.26	lm
T75	Morada	24	30	48	99.00	a-c	1.00	klm
T76	Morada	48	20	6	26.90	d'-k'	73.10	d-i
T77	Morada	48	20	12	54.00	r-z	46.00	n-w
T78	Morada	48	20	18	87.00	e-k	13.00	c'-h'
T79	Morada	48	20	24	94.20	b-i	5.80	f'-l'
T80	Morada	48	20	48	97.10	a-e	2.90	i'-m'
T81	Morada	48	25	6	23.90	e'-l'	76.10	c-h

T82	Morada	48	25	12	71.00	l-r	29.00	w-b'
T83	Morada	48	25	18	91.10	d-j	8.90	d'-j'
T84	Morada	48	25	24	97.10	a-e	2.90	i'-m'
T85	Morada	48	25	48	99.00	a-c	1.00	k'-m'
T86	Morada	48	30	6	64.00	p-v	36.00	s-x
T87	Morada	48	30	12	87.10	e-k	12.90	c'-h'
T88	Morada	48	30	18	91.10	d-j	8.90	d'-j'
T89	Morada	48	30	24	99.75	ab	0.25	l'm'
T90	Morada	48	30	48	99.75	ab	0.25	l'm'
T91	Amarilla	12	20	6	27.00	d'-k'	73.00	d-i
T92	Amarilla	12	20	12	44.00	w-d'	56.00	j-q
T93	Amarilla	12	20	18	83.20	i-n	16.80	a'-e'
T94	Amarilla	12	20	24	85.30	g-m	14.70	b'-g'
T95	Amarilla	12	20	48	97.70	a-d	2.30	j'-m'
T96	Amarilla	12	25	6	10.90	l'm'	89.10	bc
T97	Amarilla	12	25	12	48.00	t-b'	52.00	l-t
T98	Amarilla	12	25	18	86.10	f-l	13.90	c'-g'
T99	Amarilla	12	25	24	91.10	d-j	8.90	d'-j'
T100	Amarilla	12	25	48	97.70	a-d	2.30	j'-m'
T101	Amarilla	12	30	6	45.00	v-d'	55.00	k-q
T102	Amarilla	12	30	12	81.10	j-p	18.90	z-d'
T103	Amarilla	12	30	18	97.70	a-d	2.30	j'-m'
T104	Amarilla	12	30	24	99.00	a-c	1.00	k'-m'
T105	Amarilla	12	30	48	99.75	ab	0.25	l'm'
T106	Amarilla	24	20	6	13.00	j'-m'	87.00	bc
T107	Amarilla	24	20	12	54.00	r-z	46.00	n-w
T108	Amarilla	24	20	18	83.10	i-n	16.90	a'-e'
T109	Amarilla	24	20	24	97.70	a-d	2.30	j'-m'
T110	Amarilla	24	20	48	99.00	a-c	1.00	k'-m'
T111	Amarilla	24	25	6	31.00	a'-i'	69.00	e-l
T112	Amarilla	24	25	12	55.00	r-y	45.00	o-w
T113	Amarilla	24	25	18	87.10	e-k	12.90	c'-h'
T114	Amarilla	24	25	24	99.75	ab	0.25	l'm'
T115	Amarilla	24	25	48	99.00	a-c	1.00	k'-m'
T116	Amarilla	24	30	6	86.10	f-l	13.90	c'-g'
T117	Amarilla	24	30	12	84.20	h-m	15.80	b'-f'
T118	Amarilla	24	30	18	93.10	c-j	6.90	e'-k'
T119	Amarilla	24	30	24	99.90	a	0.10	m'
T120	Amarilla	24	30	48	99.00	a-c	1.00	k'-m'
T121	Amarilla	48	20	6	43.00	x-d'	57.00	i-q
T122	Amarilla	48	20	12	81.00	j-p	19.00	z-d'
T123	Amarilla	48	20	18	91.10	d-j	8.90	d'-j'
T124	Amarilla	48	20	24	99.00	a-c	1.00	k'-m'

T125	Amarilla	48	20	48	99.00	a-c	1.00	k'-m'
T126	Amarilla	48	25	6	41.00	x-e'	59.00	i'-q'
T127	Amarilla	48	25	12	82.00	i-o	18.00	z-e'
T128	Amarilla	48	25	18	94.20	b-i	5.80	f'-l'
T129	Amarilla	48	25	24	99.75	ab	0.25	l'm'
T130	Amarilla	48	25	48	99.75	ab	0.25	l'm'
T131	Amarilla	48	30	6	50.00	s-a'	50.00	m-u
T132	Amarilla	48	30	12	90.10	d-k	9.90	d'-j'
T133	Amarilla	48	30	18	97.70	a-d	2.30	j'-m'
T134	Amarilla	48	30	24	99.75	ab	0.25	l'm'
T135	Amarilla	48	30	48	99.75	ab	0.25	l'm'

\*, Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente igual, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ); A, Variedad; B, Pretratamiento; C, Temperatura de tratamiento; D, Tratamiento en tetrazolio.

### 5.7. Cama de arena

El análisis de varianza para velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE), peso fresco de plúmula (PFP), peso seco de plúmula (PSP), longitud de plúmula (LP), índice de vigor I (IVI) e índice de vigor II (IVII) se presenta en el Cuadro 5.48, en el cual podemos observar diferencias altamente significativas para todas las variables a excepción de LP que mostro diferencias significativas, lo cual pone de manifiesto que al menos uno de los tratamientos tuvo un comportamiento estadísticamente diferente ( $p \leq 0.05$ ), los coeficientes de variación son considerados de bajos a medios según la clasificación realizada por Pimentel (1985).

**Cuadro 5.48.** Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en cama de arena

F.V.	g.l.	Cuadrados medios						
		VE	PE	PFP	PSP	LP	IVI	IVII
Variedad	2	165.07**	699.60**	11.39**	0.25**	8.26*	281,339.21**	4,646.77**
Error	9	4.88	31.91	0.42	0.02	1.48	14,925.43	178.91
C.V. (%)		12.20	8.58	9.67	16.72	12.63	15.55	18.71

\*\* , Significancia estadística a nivel 0.01 de probabilidad; F.V, fuente de variación; g.l, grados de libertad; VE, velocidad de emergencia; PE, porcentaje de emergencia; PFP, peso fresco de plúmula; PSP, peso seco de plúmula; LP, longitud de plúmula; IVI, índice de vigor I; IVII, índice de vigor II.

En el Cuadro 5.49, se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias de acuerdo con Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para todos los caracteres registrados;

velocidad de emergencia (VE), porcentaje de emergencia (PE), peso fresco de plántula (PFP), peso seco de plántula (PSP), longitud de plántula (LP), índice de vigor I (IVI) e índice de vigor II (IVII); en donde se observa que para VE, la variedad Amarilla presento la media más alta con 25.38 plántulas por día, mientras que en las variedades Negra y Morada no hubo diferencias estadísticas, en cuanto al PE las variedades tuvieron un resultado estadísticamente diferente, en donde la variedad Amarilla obtuvo el más alto (96.60 %), seguido de la variedad Morada (82.20 %) y finalmente la Negra (63.70 %). En cuanto a PFP y PSP las variedades Negra y Morada tuvieron resultados estadísticamente igual con 6.11 y 5.45 g para PFP en tanto para PSP fue de 0.74 y 0.69 respectivamente, por otro lado, la variedad Amarilla obtuvo la media más alta con 8.64 g en PFP y 1.15 g en PSP. Para LP la variedad Amarilla obtuvo la media más alta con 11.29 cm. En cuanto al IVI e IVII la variedad Amarilla obtuvo la media mayor y entre las variedades Negra y Morada no hubo diferencias estadísticas.

**Cuadro 5.49.** Prueba de comparación de medias para variables evaluadas en cama de arena.

Variedad	VE (plantas/d)	PE (%)	PFP (g)	PSP (g)	LP (cm)	IVI	IVII
Negra	13.26 b*	63.70 c	6.11 B	0.74 B	8.98 ab	566.21 b	47.08 b
Morada	15.63 b	82.20 b	5.45 B	0.69 B	8.65 b	710.21 b	56.95 b
Amarilla	25.38 a	96.60 a	8.64 A	1.15 A	11.29 a	1,080.31 a	110.43 a
DSH	4.36	11.15	1.28	0.28	2.40	241.19	26.40

DSH, Diferencia Significativa Honesta; \* Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Plantas/d, plantas por día.

### 5.8. Vigor en Campo

El análisis de varianza para porcentaje de emergencia (PE) y velocidad de emergencia (VE) (Cuadro 5.50) se observan diferencias significativas en PE y VE lo que nos indica que al menos uno de los tratamientos tuvo un comportamiento estadísticamente diferente debido a la variabilidad genética de las variedades. Los coeficientes de variación son de 11.66 y 17.14 respectivamente considerados bajos y aceptables según lo establecido por Pimentel (1985).

**Cuadro 5.50.** Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia evaluado en campo.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	
		PE	VE
Variedad	2	606.89 *	67.44 **
Repetición	4	21.85 <sup>ns</sup>	14.17 <sup>ns</sup>
Error	8	71.23	4.88
C.V. (%)	--	11.66	17.14

\*, \*\*, Significancia estadística a nivel 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; PE, porcentaje de emergencia; VE, velocidad de emergencia.

En cuanto a la prueba de comparación de medias para PE y VE (Cuadro 5.51) se puede observar que la variedad Amarilla presentó PE de 98.20 %, seguido de la variedad Morada con el 92.70 %, sin embargo la variedad Negra presentó el 75.70 %. Para la VE la variedad Amarilla presentó en promedio el valor superior con un 17.07 plantas por día. Con respecto a las variedades Negra (10.16) y Morada (11.45) no hubo diferencias estadísticas.

**Cuadro 5. 51.** Prueba de comparación de medias para velocidad de emergencia y porcentaje de emergencia.

Variedad	PE (%)	VE (plantas/d)
Negra	75.70 b*	10.16 b
Morada	92.70 ab	11.45 b
Amarilla	98.20 a	17.07 a
DSH	15.25	3.99

DSH, Diferencia Significativa Honesta; \* Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, con Tukey ( $p \leq 0.05$ ). PE, porcentaje de emergencia; VE, velocidad de emergencia. Plantas/d, plantas por día.

De acuerdo a lo observado la variedad Negra obtuvo el menor PE, esto deja indicado que es la variedad con el vigor más bajo, esto podría deberse al tamaño de la semilla, ya que algunos autores afirman que el tamaño de la semilla influye en el vigor (Y. Atin dan I.G.P. Alit Diratmaja, 2015; Ningsih *et al.*, 2019 ) y de la misma manera influye en la VE, tal como se observa en los resultados la variedad Amarilla que es la de mayor tamaño presentó PE y VE mayor. Estos resultados son

consistentes con lo reportado por Ningsih *et al.*, (2019) en donde evaluaron tres variedades y el PE entre estas fue diferente y se justifica por la diferencia de peso entre las variedades.

## VI. CONCLUSIONES

1. Para la prueba de germinación estándar (GE) en G1 y G2 la variedad Amarilla obtuvo el mayor porcentaje de germinación y las tres variedades se comportaron mejor a una temperatura de germinación de 30 °C.
2. En la prueba de envejecimiento acelerado (EA) en G2 la variedad Amarilla obtuvo el mayor porcentaje. El menor porcentaje lo obtuvo la variedad Negra. En cuanto a la temperatura de EA a 45 °C disminuyó drásticamente G2, y esta disminuyó conforme se incrementaba el periodo de envejecimiento. Al terminar el proceso de envejecimiento y proceder a la prueba de GE, G2 fue mayor a una temperatura de 25 °C.
3. En la interacción A\*B de la prueba de EA la variedad Amarilla a 42 °C obtuvo la mayor G2, mientras que la variedad Negra en 45 °C la menor.
4. En la interacción A\*C de la prueba de EA el Factor A influyó sobre el Factor C ya que G2 fue más alto en la variedad Amarilla y Morada.
5. En la interacción A\*D de la prueba de EA el Factor A se vio influenciado por el Factor D, debido a que G2 fue mayor en 25 °C.
6. En la interacción B\*C de la prueba de EA, la mayor G2 se obtuvo en 42 °C con 24 horas de envejecimiento y la menor G2 se obtuvo a 45 °C con 96 horas de envejecimiento.
7. En la interacción B\*D la mayor G2 se obtuvo en la combinación de temperatura de envejecimiento de 42 °C con una temperatura de germinación de 25 °C.
8. En la interacción C\*D de la prueba de EA el mayor porcentaje de germinación fue de 86.50 % y se obtuvo en la combinación de periodo de envejecimiento de 24 horas con temperatura de germinación de 25 °C.
9. Para la triple interacción A\*B\*C en la prueba de EA la mayor G2 se registró en las variedades Morada y Amarilla con 42°C de envejecimiento en un periodo de envejecimiento de 24 horas.



10. En la interacción A\*B\*D de la prueba de EA las variedades obtuvieron la mayor G2 en la combinación de temperatura de envejecimiento de 42 °C con una temperatura de germinación de 25 °C.
11. En la interacción A\*C\*D de la prueba de EA, G2 disminuyó conforme se incrementaba el periodo de envejecimiento y fue menor en una temperatura de germinación de 30 °C.
12. En la interacción B\*C\*D de la prueba de EA, el Factor D tuvo mayor influencia sobre los Factores B y C, se observó que los mayores porcentajes en G2 se obtuvieron en una temperatura de envejecimiento de 42 °C y 45 °C con periodo de envejecimiento de 24 horas y temperatura de germinación de 25 °C.
13. En la interacción A\*B\*C\*D de la prueba de EA, para la variedad Amarilla el mayor porcentaje de G2 se obtuvo en T42 y T50, para la variedad Morada en el T26 y en la variedad Negra T10.
14. Para Soak test (ST) en la variable G2, las variedades Morada y Amarilla obtuvieron el mayor porcentaje. En cuanto al periodo de imbibición a las 48 horas G2 fue menor. Para la temperatura de germinación G2 fue mayor en 25 °C.
15. En la interacción A\*B de ST las variedades Morada y Amarilla en un periodo de 24 horas de imbibición obtuvieron la mayor G2.
16. En la interacción B\*C de ST el mayor porcentaje de G2 se obtuvo en un periodo de imbibición de 24 horas con una temperatura de germinación de 25 °C.
17. Para la prueba de Conductividad Eléctrica (PCE), la variedad Negra obtuvo la mayor cantidad de lixiviados. El número de lixiviados fue menor a una temperatura de exposición de 25 °C lo que sugiere que a 30 °C la semilla se descompone con mayor rapidez. Con respecto al periodo de imbibición la cantidad de lixiviados incrementó conforme aumentaba el periodo siendo menor a las 24 horas y mayor a las 96 horas.

18. En la interacción A\*B de la PCE la variedad Negra en una temperatura de 30 °C obtuvo la mayor cantidad de lixiviados la menor se obtuvo en las variedades Morada y amarilla en una temperatura de exposición de 25 °C.
19. En la interacción A\*C de la PCE la variedad Negra en un periodo de 96 horas obtuvo la mayor cantidad de lixiviados y la menor cantidad se obtuvo en la variedad Amarilla en un periodo de imbibición de 24 horas.
20. En la interacción B\*C de la PCE la menor CE  $\mu\text{S g}^{-1}$  se obtuvo en una temperatura de 25 °C con un periodo de 24 horas, dejando en evidencia la influencia que el Factor B sobre el C.
21. En la PCE para la interacción A\*B\*C la menor CE  $\mu\text{S g}^{-1}$  para la variedad Amarilla se obtuvo en el T86, para la Morada en T78 y para la Negra en T70.
22. Para la Prueba de Viabilidad de Tetrazolio al 1 % (PVT1) en semillas viables las variedades Morada y Amarilla obtuvieron el mayor porcentaje quedando la Negra por debajo del 60 %. En cuanto al pretratamiento a las 24 horas se obtuvo la media más alta de semillas viables. Con respecto a la temperatura de exposición se observó que conforme se incrementaba la temperatura mayor porcentaje de semillas viables y este disminuyó al ser menor la temperatura. Hubo un efecto igual en el periodo de exposición a tetrazolio ya que a mayor tiempo de exposición mayor porcentaje de semillas viables y viceversa.
23. En la interacción A\*B de PVT1, las variedades Morada y Amarilla con 24 horas de pretratamiento obtuvieron el mayor porcentaje de semillas viables y el menor lo obtuvo la variedad Negra. Lo que evidencio la influencia que tiene la variedad sobre el pretratamiento.
24. En la interacción A\*C de la PVT1, la variedad Amarilla con 30 °C obtuvo la media más alta de semillas viables y la más baja la obtuvo la variedad Negra a 20 y 25 °C.
25. En la interacción A\*D de la PVT1, la variedad Amarilla con 24 horas de exposición obtuvo el mayor porcentaje de semillas viables. Se observó que este disminuyó conforme era menor el periodo de exposición.

26. En la interacción B\*C de la PVT1, el mayor porcentaje de semillas viables se obtuvo en un pretratamiento de 24 horas con temperatura de exposición de 30 °C, seguido de pretratamiento de 48 horas con temperatura de exposición de 30 °C.
27. En la interacción B\*D de la PVT1, en un pretratamiento de 24 horas se obtuvieron los mayores porcentajes de semillas viables y este fue en aumento conforme se incrementaba el periodo de exposición iniciando desde las 6 horas.
28. En la interacción C\*D de la PVT1, se obtuvieron los mayores porcentajes de semillas no viables en una temperatura de exposición de 20 °C en los periodos de 2 a 8 horas y el mayor porcentaje de semillas viables se obtuvo a una temperatura de exposición de 30 °C en los periodos de 10 a 24 horas y en la temperatura de exposición de 25 °C con 12 y 24 horas.
29. En la tiple interacción A\*B\*C de la PVT1, los mayores porcentajes de semillas viables se obtuvieron en los periodos de exposición a tetrazolio de 24 horas con pretratamiento de 24 y 48 horas, el mayor porcentaje registrado fue en la variedad Amarilla con 97.80 %.
30. En Prueba de Viabilidad de Tetrazolio al 0.5 % (PVT5) en semillas viables la variedad Amarilla obtuvo el mayor porcentaje de semillas viables. El mayor porcentaje de semillas viables de cada uno de los factores se obtuvieron en pretratamiento de 48 horas, temperatura de exposición de 30 °C y periodo de exposición de 48 horas. Los mayores porcentajes de semillas viables en cada uno de los factores se obtuvo en las variedades Morada y Negra, pretratamiento de 12 horas, temperatura de exposición de 20 °C y periodo de exposición de 6 horas.
31. En la interacción A\*B de PVT5, la variedad Amarilla con 48 horas de pretratamiento obtuvo el mayor porcentaje de semillas viables y el menor lo obtuvo la variedad Morada con pretratamiento de 12 horas.

32. En la interacción A\*C de la PVT5, la variedad Amarilla con 30 °C obtuvo la media más alta de semillas viables y la más baja la obtuvo la variedad Morada a 20.
33. En la interacción A\*D de la PVT5, la variedad Amarilla con 24 y 48 horas de exposición obtuvo el mayor porcentaje de semillas viables.
34. En la interacción B\*C de la PVT5, el mayor porcentaje de semillas viables se obtuvo en los pretratamientos de 24 y 48 horas con temperatura de exposición de 30 °C. El menor porcentaje se obtuvo con un pretratamiento de 12 horas con temperatura de tratamiento de 20 y 25°C.
35. En la interacción B\*D de la PVT5, los mayores porcentajes de semillas viables se obtuvieron en los pretratamientos de 24 y 48 horas con tratamiento en tetrazolio de 24 y 48 horas. El mayor porcentaje de semillas viables se obtuvo en pretratamiento de 12 horas con un tratamiento de 6 horas.
36. En la interacción C\*D de la PVT5, se obtuvieron los mayores porcentajes de semillas viables en una temperatura de exposición de 30 °C en 24 y 48 horas de exposición a tetrazolio.
37. En la triple interacción A\*B\*C de la PVT5, los mayores porcentajes de semillas viables se obtuvieron en la variedad Amarilla pretratamiento de 24 y 48 horas con temperatura de exposición de 30 °C.
38. En la interacción A\*B\*D de la PVT5, el mayor porcentaje de semillas viables se obtuvo en la variedad Amarilla con pretratamiento de 24 y 48 horas con periodo de exposición de 24 y 48 horas.
39. En la interacción A\*C\*D de la PVT5, los mayores porcentajes de semillas viables para cada una de las variedades se registró en temperatura de exposición de 30 °C con periodo de exposición en tetrazolio de 24 y 48 horas.
40. En la interacción B\*C\*D de la PVT5, el mayor porcentaje de semillas viables se obtuvo en pretratamiento de 24 horas con temperatura de exposición de 30 °C y periodo de exposición en tetrazolio de 24 horas. En cuanto al mayor porcentaje de semillas viables se obtuvo en pretratamiento de 12 horas con temperatura de exposición de 20 °C y tratamiento en tetrazolio de 6 horas.

41. En la interacción A\*B\*C\*D de la PVT5, el mayor porcentaje de semillas viables para la variedad Amarilla se obtuvo en el T338, para la variedad Morada el T308, T309 y T324, finalmente para la variedad Negra el T224 y T234.
42. En la prueba de vigor en cama de arena la variedad Amarilla obtuvo los mejores resultados en cada una de las variables evaluadas. La variedad Negra obtuvo el menor PE.
43. En la prueba de vigor en campo la variedad Amarilla obtuvo el mayor PE y VE y no hubo diferencias estadísticas entre la variedad Morada y Negra.
44. Haciendo una escala de vigor de alto medio y bajo la variedad Amarilla posee vigor alto y las variedades Morada y Negra tienen vigor medio.
45. Se propone que para realizar una prueba de GE se realice a una temperatura de 30 °C y la evaluación se realice a los 9 y 16 días.
46. Para realizar la prueba de EA se propone realizarla a 42 °C en un periodo de exposición de 24 horas y realizar la prueba de GE a una temperatura de germinación de 25 °C. Se propone realizarla bajo estas condiciones ya que desde un periodo de 24 horas hay diferencias entre variedades, si se desea establecer niveles de vigor se puede realizar la prueba con 42 °C y 45 °C de envejecimiento en periodos de exposición de 24 a 72 horas, siempre y cuando la temperatura de GE sea de 25 °C.
47. Para realizar la Prueba de ST se propone realizarla en un periodo de imbibición de 24 horas y realizar la prueba de GE a una temperatura de germinación de 25 °C.
48. De acuerdo a lo observado en la prueba de ST la variedad Morada posee menor permeabilidad.
49. Para realizar la prueba de CE se sugiere realizarla a una temperatura de 25 °C y realizar la medición a las 48 horas ya que si se desea identificar el vigor en diferentes variedades a partir de las 48 horas se observan diferencias. Si se desea ahorrar tiempo la prueba se puede realizar a 30 °C y realizar la medición a las 24 horas.

50. Para realizar la prueba de tetrazolio se sugiere realizarla con una concentración de 1% con un pretratamiento de 24 horas y tratamiento en tetrazolio de 24 horas con una temperatura de exposición de 30 °C. Si se desea ahorrar tiempo la medición se puede realizar a partir de las 12 horas, ya que la viabilidad entre 12 y 24 horas no difiere en gran medida.
51. Si se desea ahorrar en costos para realizar la prueba de viabilidad de tetrazolio se sugiere realizarla en una concentración de 0.5 % bajo las siguientes condiciones para cada una de las variedades. 1) Negra, pretratamiento de 12 horas con una temperatura de exposición de 30 °C y tiempo de exposición en tetrazolio de 48 horas. 2) Morada, pretratamiento de 48 horas con una temperatura de exposición de 30 °C y tiempo de exposición en tetrazolio de 24 horas. 3) Amarilla, pretratamiento de 24 horas con temperatura de exposición 30 °C y tiempo de exposición en tetrazolio de 24 horas.
52. La calidad fisiológica de semilla de jicama fue diferente entre variedades. Las pruebas de vigor y viabilidad Permitieron obtener indicadores de calidad fisiológica y de la viabilidad de la semilla.

**VII. LITERATURA CITADA**

- Abbate, P.E., Lázaro, L. y De Pablo, M.C. 2001. Peso hectolítrico y limitación por fuente en los cultivos de trigo de alto potencial de rendimiento. V congreso de trigo.III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal. Cordoba.
- Abid M., Hrishikeshavan HJ., Asad M. 2006. Pharmacological evaluation of *Pachyrhizus erosus* (L) seeds for central nervous system depressant activity. Indian J Physiol Pharmacol. 50:143–151
- Ana Mayela Ramos-de-la-Peña, Catherine M.G.C. Renardb, Louise Wickerc and Juan Carlos Contreras Esquivela. 2013. Advances and perspectives of *Pachyrhizus* spp. in food science and biotechnology. Trends Food Sci Technol. 2013; 29:44–54.
- Andrade H., Acevedo C., Parra J., Pineda E. 1996. La dinámica de sistemas como metodología alternativa en modelado económico: un caso de aplicación en producción regional. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 20.
- Araméndiz-Tatis, H, Cardona-Ayala, C, & Alzate-Román, K. 2017. Prueba de conductividad eléctrica en la evaluación de la calidad fisiológica de semillas en berenjena (*Solanum melongena* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8 (3), 225-231. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.05>
- Arguelles. 1979. El cultivo de la jícama en el estado de Guanajuato. México: Centro de Investigaciones Agrícolas de El Bajío.
- Arief Nurrochmad, Fransiska Leviana, Caecilia Govita Wulancarsari, Endang Lukitaningsih. 2010. Los fitoestrógenos de *Pachyrhizus erosus* previenen la pérdida ósea en un modelo de osteoporosis de rata ovariectomizada. Revista Internacional de Fitomedicina , [SI], v. 2, n. 4, abril de 2011. ISSN 0975-0185.

- Aristizábal, L. M. y Álvarez, L. P. 2006. Los efectos del nivel de vigor de la semilla pueden persistir e influenciar el crecimiento de la planta, la uniformidad de la plantación y la productividad. *Agronomía*. 14(1):17-24.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). (1983). Seed vigor testing handbook. Contribution No. 32. U.S.A. 82 p.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1993. *Journal of Seed Technology* 16: 1-113.
- Basavarajappa, B. S., H. S. Shetty, and H. S. Prakash. 1991. Membrane deterioration and other biochemical changes associated with accelerated ageing of maize seeds. *Seed Sci. Technol.* 19: 279-286.
- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. Basra, A. S. (ed.) Food Products Press. Preface. New York, USA.
- Bewley, D. J., M. Black and P. Halmer. 2006. The encyclopedia of seeds, science, technology and uses. CAB International. London, UK. 828 p.
- Bradford K. J. 2004. Seed Production and Quality. 1st edition. Department of Vegetable Crop and Weed Science. University of California. Davis, CA. USA. 134 p.
- Bradford K. J. 2004. Seed Production and Quality. First edition. Department of Vegetable Crop and Weed Science. University of California. Davis CA. USA. 134
- Bustamante G., L. A 1995. Pruebas de vigor en semillas y sus aplicaciones. VII Curso de actualización en tecnología de semillas. Memorias. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 26-27 Octubre. 10-20
- Bustamante Zepeda, JE. 2010. Calidad física y fisiológica en semillas de híbridos de maíz de los valles altos centrales de México y su relación con el



- establecimiento en campo. Texcoco, MX. En [http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/215/Bustamante\\_Zepeda\\_J\\_MC\\_Produccion\\_Semillas\\_2010.pdf?sequence=1](http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/215/Bustamante_Zepeda_J_MC_Produccion_Semillas_2010.pdf?sequence=1). Consultado 30 julio 2019.
- Caroca, Rolando, Zapata, Nelson, & Vargas, Marisol. 2016. EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA GERMINACIÓN DE CUATRO GENOTIPOS DE MANÍ (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32(2), 94-101. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902016000200002>
- Carvalho, N.M. e E.J. Nakagawa. 2000. Sementes: ciencia, tecnologia e producao. Jaboticabal, Funep, Brasil.
- Champeil A., Fourbert J. F., Rossignol D. 2003. Influence of cropping system on *Fusarium* head blight and mycotoxin levels in winter wheat. *Crop Protection*, December 2003, 10.1016/S0261-2194(03)00277-1.
- CIAT 1980. Semilla de frijol de buena calidad 2 da edición centro Internacional de Agricultura Tropical Cali, Colombia. 37 p.
- Clausen, R.T. 1945. A botanical study of the yam beans (*Pachyrhizus*). *Memoir of the Cornell University Agricultural Experiment Station* 264:1-38
- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 1995. Principles of seed science and technology. 3rd. ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- D'Antonino F. L. R. 1993. Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO. Editor, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile. Capítulo I.

- Delouche, J.C. 2002. Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Seeds News* 6(6).  
En: <https://seednews.com.br/edicoes/artigo/2004-germinacion-deterioro-y-vigor-de-semillas-edicao-novembro-2002>. consulta: junio 2019.
- Díaz A., A. 1978. El cultivo de la jícama: Guanajuato estado productor de primera importancia. *Panagfa (México)* 6(53):32.
- Douglas, J E y Monsalve, E. 1982. Programas de semillas. Guía de planeación y manejo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali, Colombia. 357 p.
- Elevitch, R. C. 2004. *The overstory book. Cultivating connections with trees. Second edition. Permanent Agriculture Resources. Holualoa, Hawaii, USA.* 526 p.
- Evans, J. and W. J. Turnbull. 2004. *Plantation forestry in the tropics. Third edition. Oxford University Press. New York, United States.* 467 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Recuperado el 30 de Marzo de 2019, de <http://www.fao.org/home/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. Recuperado el 04 de Octubre de 2019, de <http://www.fao.org/home/es/>
- FAO y AfricaSeeds. 2019. *Materiales para capacitación en semillas - Módulo 3: Control de calidad y certificación de semillas. Roma.* <http://www.fao.org/3/ca1492es/CA1492ES.pdf>
- FAO, 2014. ANUARIO ESTADÍSTICO DE LA FAO 2014. *La Alimentación y la Agricultura en América Latina y el Caribe.* <http://www.fao.org/3/a-i3592s.pdf>
- FAO. 2006. *Quality declared seed system. FAO Plant Production and Protection Paper 185. Rome. 243 pp. Available at* <http://www.fao.org/docrep/009/a0503e/a0503e00.htm>

- FAO. 2017. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Datos sobre alimentación y agricultura. Recuperado el 27 de Septiembre de 2019, de <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Ferguson J. 1995. An introduction to seed vigour testing. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, 1995, Copenhagen: International Seed Testing Association. 1-9 p.
- Fernández-Andrés, M., Rangel-Lucio, J., Juárez-Goiz, J., Bujanoz-Muñiz, R., Montes-Hernández, S., Y Mendoza-Elos, M. 2008. Oleorresina de Jícama para controlar *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleóptera: *Bruchidae*) en semilla de frijol. *Agronomía Mesoamericana*. 20 (1): 59-69. <https://doi.org/10.15517/am.v20i1.4981>
- Garay E. A. 1989. La calidad de la semilla y sus componentes. Memorias del primer curso avanzado sobre sistemas de semillas para pequeños agricultores. CIAT. Mayo 15 – Junio 23. Cali, Colombia. 2-11 p.
- Gerhard, Knothe., Luis, F. Razon., Domingo, A. Madulid., Esperanza Maribel, G. Ago y Maria Ellenita, G. de Castro. 2018. Ésteres metílicos (biodiesel) del aceite de semilla *Pachyrhizus erosus*. *Biocombustibles*. 9 (4): 449-454.
- Hampton J. G. 2002. What is seed quality? *Seed Science and Technology*. 30(1): 1-10.
- HAMPTON, J. G. Conductivity test. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, 1995, Copenhagen. Zurich : International Seed Testing Association, 1995. p. 10-28
- Heredia Z. 1985. Guía para cultivar jícama en el Bajío. Folleto para productores no.15.
- Hernández-Anguiano, Leticia A., López-Upton, Javier, Ramírez-Herrera, Carlos, & Romero-Manzanares, Angélica. 2018. Variación en germinación y vigor de

- semillas de *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis*. *Agrociencia*, 52(8), 1161-1178. Recuperado en 28 de mayo de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952018000801161&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000801161&lng=es&tlng=es).
- HERNÁNDEZ-FLORES, E. 2010. Métodos de escarificación y prueba de envejecimiento acelerado en semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente. Tesis de Maestro en Ciencias. Postgrado de recursos genéticos y productividad ganadera. Montecillo, México. 79pp.
- Herrera, H C., A L H Fierro G. y J. D. Moreno M. 2000. Manejo integrado del cultivo de la papa Manual técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) Bogota, Colombia. 197 p.
- Idrovo Avecillas, M., & Arrobo Reyes, J. (2015). Jícama: Producto con Identidad Territorial. *Yachana Revista Científica*. <https://doi.org/10.1234/yach.v0i0.154>
- International Seed Testing Association (ISTA) 1996. Rules, Seed of vigor test methods. 2nd. Ed. Zurich. 117 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2014. International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 4:3-177.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2017. International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* vol. 2017 (14):1-296.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1976 Reglas internacionales para el análisis de semillas. *Semilla Ciencia y Tecnología*, 4: 49-177.
- ISTA. 2016. International rules for seed testing (2016 ed.). Bassersdorf, Switzerland.
- Karuniawan dan N. Wicaksana. 2006. “Kekerabatan Genetik Populasi Bengkuang *Pachyrhizus erosus* Berdasarkan Karakter Morfologi Bunga dan Daun” *Bul. Agron*, vol. 34, no. 2, pp 98 – 105.

- Kelly A., F. 1988. Seed production of agricultural crops. Longman Scientific and Technical-John Wiley and Sons. New York, USA. 227 p.
- Kumalasari ID., Nishi K, Harmayani E., Raharjo S., Sugahara T. 2014. Immunomodulatory activity of Bengkoang (*Pachyrhizus erosus*) fiber extract in vitro and in vivo. *Cytotechnology*. 66:75–85
- Lázaro-Palacio, Leisdy y Aranda-Camacho, Yesid. 2019. Un modelo analítico para evaluar el desempeño de las organizaciones asociativas de productores de semillas en el marco del Plan Semilla - Agrosavia (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 37 (2), 173-188. Epub 12 de marzo de 2020. <https://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n2.76948>
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination- AID in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2, 176-177.
- Marcos Filho J, SM Cícero, WR Silva. 1987. Avaliação da qualidade das sementes. Piracicaba, San Pablo. Brasil. Fealq. 230 p.
- Martínez M. L., Labuckas D. O., Lamarque A. L., Maestri D. M. 2010. Walnut (*Juglans regia* L.): genetic resources, chemistry, by-products. *J. Sci. Food Agric.*, 90(12): 1959-1967.
- McDonald M. B. Jr. 1980. Assessment of seed quality. *Hort Science*. 15(6): 784-788.
- McVaugh, R., 1987. Leguminosae. En: W. R. Anderson (ed.). *Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico*. The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan. Vol. 5.
- McVaugh, R., 1987. Leguminosae. En: W. R. Anderson (ed.). *Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of Western Mexico*, The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan. V.5

- Mélo, E. de A., Krieger, N., & Montenegro, T. L. (1994). Physicochemical properties of jacatup\_e (*Pachyrhizus erosus*) starch. *Starch/Stärke*, 46, 245e247.
- Mismawarni Srima Ningsih, Irfan Suliansyah, Aswaldi Anwar, Yusniwati. 2019. THE EFFECT OF AGRICULTURAL MATERIALS ON THE QUALITY OF SEEDS PRODUCED ON JICAMA PLANTS. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*. 3 (1): 122-128 (2019). <https://doi.org/10.32530/jaast.v3i1.64>
- Mora M.; Guerrero M.; Martín I. 2012. Relación entre germinación y test de conductividad eléctrica en semillas de judía. Asociación Española de Leguminosas (AEL). IV jornadas de la AEL, V seminario de judía.
- Moreno M. E.1996. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Tercera Ed. Instituto de Biología, UNAM. México. 393 p.
- Moreno M. E.1996. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Tercera Ed. Instituto de Biología, UNAM. México. 220 p.
- Moreno M., E. 1984. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 383 p.
- Mullen R. C. 2003. Crop Science. Principles and Practice. Fourth Edition. Pearson Custom Publishing. USA. 353 p.
- Nurrochmad, F. Leviana, C.G. Wulancarsari dan E. Lukitaningsih. 2010. "Phytoestrogens of *P. erosus* Prevent Bone Loss In An Ovariectomized Rat Models of Osteoporosis" *International Journal of Phytomedicine*, vol. 2, pp. 363-372.
- Oquendo, J. 2015. "Jícama", una raíz sabrosa y medicina a su alcance. Ficaya. El diario Emprende [Ciencia, Conservación, Investigación] Recuperado de <http://www.utn.edu.ec/ficayaemprende/2015n04/?p=16>

- Park, Chan., Lee, Hyun-Ah., Han, Ji-Sook. 2015. Jicama (*Pachyrhizus erosus*) extract increases insulin sensitivity and regulates hepatic glucose in C57BL/Ksj-db/db mice. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*. 58, 1-8.
- Perry D. A. 1987. Introduction: methodology and application of vigour tests: Growth and evaluation tests: Topographical Tetrazolium test. ISTA. Handbook of vigour tests methods. 2a. Edición. Zurcú, Switzerland. 72 p.
- PINCHINAT, A. M. 1965. Factores limitantes en el cultivo Del frijol en Centroamérica. 1er Reunión Anual, Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios. Panamá del 17 al 19 de Marzo 1965. Informe. Guatemala, Librería Indígena, s.f. pp. 79-73
- Pinto C.; B. 1970. Cultivo de la jícama. *Novedades Hortícolas (México)* 15(1/4):31-34.
- Pomeranz Y., Davis. G.D., Stoops, J.L. and Lai, F.S. 1997. Test Weight and Groat to Hull Ratio in Oats. *Cereal Foods Word*. Vol.24; N°12:600-602
- Qin, J., & Yao, M. (2010). Study on technique of liquefaction and saccharification of *Pachyrhizus*. *Journal of Jishou University*, 31,117e121.
- Roberts E. H. 1986. Quantifying seed deterioration. *In*: McDonald M. B. and C. J. Nelson (Eds.). *Physiology of Seed Deterioration*. Crop Science Society of America Special Publication 11. Madison WI. USA. 101-123 p.
- Rodríguez-Meizoso I., Jaime L., Santoyo S., Señoráns FJ., Cifuentes A., Ibañez E. 2010. Subcritical water extraction and characterization of bioactive compounds from *Haematococcus pluvialis* microalga. *J Pharm Biomed Anal*. 51:456–463
- Schieber A., Stintzing F., Carle R. 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds—recent developments. *Trends Food Sci Technol*. 12:401–413

- Seminario, J., Valderrama, M., y Manrique, I. 2003. El Yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro 88 Internacional de la Papa (CIP). Universidad Nacional de Cajamarca. Agencia Suisa para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Lima, Perú. 60
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. Recuperado el 8 de Junio de 2020, de Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: [http://nube.siap.gob.mx/cierre\\_agricola/](http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/)
- Silva, Sibelle Santanna da, Vieira, Roberval Daiton, Grzybowski, Camila Ribeiro de Souza, Carvalho, Tereza Cristina de y Panobianco, Maristela. 2013. Conductividad eléctrica de diferentes genotipos de semillas de frijol común. *Journal of Seed Science*, 35 (2), 216-224. <https://dx.doi.org/10.1590/S2317-15372013000200011>
- Singh, K.P.; Singh, J.R.P. and Ray, P.K. 1981. "RajendraMishrikanda-1" apromising yam. bean. *Indian Farming* 31(9):19-21
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas), Regla para la calificación de semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) 2018. [página web] consultado: 20 de Noviembre 2019 [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/433921/Regla\\_Tecnica\\_Frijol.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/433921/Regla_Tecnica_Frijol.pdf)
- Sørensen, M. (1996). Yam bean (*Pachyrhizus* DC.) In Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 2. Rome: Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute.
- Sorensen, M. 1988. A taxonomic revision of the genus *Pachyrhizus* (*Fabaceae Phaseoleae*). *Nordic Journal of Botany* 8(2):167-192.



- Sorensen, M. 1990. Observaciones on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearing, le-gume genus *Pachyrhizus* Rich. Ex DC. Wageningen Agricultural University Papers (Netherlands) 90(3):38
- Sorensen, M. 1996. Yam bean (*Pachyrhizus* DC.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Roma. 2:1–143.
- Sri, Elfina., Novesar, Jamarun., Syukri, Arief., Akmal, Djamaan. 2016. Effect of Temperature Heating Effects Manufacture Biodegradable Plastic Starch Jicama (*Pachyrhizus erosus*). The First International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS) 2016. (preguntar fue un congreso) 57-61
- Stevens, W. D., C. Ulloa U., A. Pool y O. M. Montiel (eds.), 2001. Flora de Nicaragua. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, Missouri. Vol. 85, tomos I, II y III.
- Tang, Z., Gong, S., Dai, Z., Li, X., Ou, L., & Xu, J. 2008. Preliminary study on acute toxicity of different extracts of *Pachyrhizus erosus* Urban seed on KB cell. Nutrition Health, Food Science, 29, 435e437.
- Thomson J., R. 1979. Introducción a la tecnología de semillas. Acribia. España. 301.
- Vaillant, V., & Desfontaines, L. (1995). Assimilate partitioning in *Pachyrhizus erosus* tubers under short days. Plant Physiology, 93, 558 e 562.
- Vibrans, H. 2009. *Malezas de México*. Recuperado el 20 de Mayo de 2018, de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdeMéxico/2inicio/home-malezas-México.htm>
- Villa, I. M. R. 2017. Creación y Desarrollo del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Recuperado el 10 de Octubre del 2019 de

<https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv/detalle-libro/5278-secretaria-de-agricultura-ganaderia-desarrollo-rural-pesca-y-alimentacion>.

Y. Atin dan I.G.P. Alit Diratmaja. 2018. "Pengaruh Ukuran Benih Kedelai terhadap Kualitas Benih" *Agros* vol.17, no.2, Juli 2015. Tersedia : Google, [www.google.com](http://www.google.com) [Akses : Sept. 20, 2018].