

**ESTRATEGIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE  
MAÍZ CRIOLLO MEJORADO**

**GRACIELA AVILA URIBE**

**T E S I S**

**Presentada como requisito parcial  
para obtener el grado de**

**MAESTRO EN  
TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS**

**Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro**



**PROGRAMA DE GRADUADOS**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila**

**MARZO DE 2006**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**ESTRATEGIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE MAÍZ  
CRIOLLO MEJORADO**

**TESIS**

**POR:**

**GRACIELA AVILA URIBE**

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y  
aprobada como requisito parcial, para obtener el grado de

**MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS**

**COMITÉ PARTICULAR**

Asesor principal: \_\_\_\_\_  
Ph.D. Norma Angélica Ruiz Torres

Asesor: \_\_\_\_\_  
Ph.D. Froylán Rincón Sánchez

Asesor: \_\_\_\_\_  
M.C. Antonio Rodríguez Rodríguez

Asesor: \_\_\_\_\_  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

\_\_\_\_\_  
Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo de 2006

## AGRADECIMIENTOS

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** y la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**, mis dos **ALMA MATER**, por haberme recibido en su seno y haberme formado a nivel maestría y licenciatura respectivamente.

Al **CENTRO DE CAPACITACIÓN Y DESARROLLO EN TECNOLOGÍA DE SEMILLAS**, en especial a todos los maestros por su paciencia y por transmitirme sus valiosos conocimientos para la finalización de mis estudios de postgrado.

A la **DRA. NORMA ANGÉLICA RUIZ TORRES**, por creer en mí y brindarme su amistad, así como permitirme colaborar en la realización de este proyecto y su gran apoyo en los análisis estadísticos y su disposición para la revisión de este trabajo.

Al **DR. FROYLÁN RINCÓN SÁNCHEZ**, por haberme dado la oportunidad de participar en esta investigación y su apoyo infinito en el análisis estadístico de los datos.

Al **M.C. ANTONIO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ**, por su disposición y acertadas sugerencias para la revisión del presente trabajo de investigación.

Al **DR. ADALBERTO BENAVIDES MENDOZA**, por su apoyo y acertadas sugerencias en la revisión de la presente tesis.

A la **T.Q. SANDRA GARCÍA VALDÉZ** del laboratorio de Ensayos de Control de Calidad de Semillas, por su amistad y sus sabias sugerencias y apoyo durante las prácticas de maestría y de la presente tesis.

A mis compañeros de semillas, por haber hecho agradable mi estancia en esta universidad.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias **INIFAP**, por otorgar el presente proyecto de tesis y el apoyo financiado.

Al **CONACYT** por el apoyo becario que me otorgó durante mis estudios de maestría.

## DEDICATORIAS

A **Dios**: por mostrarme tu infinita bondad, aún en los tiempos de dolor, por regalarme todavía tu aliento de vida para disfrutar de tu creación y un rayo de tu sabiduría, para reconocer su valor.

A *mi esposo*: **Lic. José Raúl Hernández Leetch**, por ser mi compañero de la vida, por ser una columna firme para apoyarse en las tempestades. Gracias por tu amor, por siempre creer en mí y sobre todo permitirme crecer profesionalmente. Gracias a ti, la maestría ya es una realidad. Te amo y te admiro...

A *mi hijo (q.e.p.d)*: aunque nunca tuve la fortuna de tenerte en mis brazos, Dios me bendijo al tenerte en mi vientre. Te amaré siempre y siempre te esperaré.

A *mi madre y Hermanos*: **Sra. María del Carmen Uribe Segura, y Rafael, Luis, Carmen, Isabel, Alejandro, Camelia y Marcela**, por aceptarme como soy y ser mi refugio en el cual comparto

grandes momentos y por su eterno apoyo y amor, aun en la distancia. A mi padre: Luis Felipe Avila Dorantes (q.e.p.d) siempre te tengo presente.

A *mis sobrinos*: por irradiar alegría hecha inocencia.

A *mi suegra y cuñados*: **Sra. María del Carmen Leetch Delgado y Ana Luisa, Patricia, Jorge, Cinthya y Guillermo**, por recibirme en su casa, apoyarme y compartir gratos momentos.

A *Magda Ramírez*: por brindarme su valiosa amistad y ayuda cuando la he necesitado.

## COMPENDIO

Estrategias para la producción de semilla de maíz criollo mejorado.

POR:

GRACIELA AVILA URIBE

MAESTRÍA

TECNOLOGÍA DE GRANOS Y SEMILLAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MARZO DE 2006.

Dra. Norma A. Ruiz T. Asesor

Palabras clave: maíz, criollo, mejoramiento participativo, poblaciones.

El maíz criollo que se cultiva en el Noreste de México, presenta bajo potencial productivo debido a las condiciones de temporal en el que es sembrado, sin embargo, los agricultores han creado a través del tiempo sus propios genotipos, aprovechando la variabilidad genética existente. Una estrategia de mejoramiento para alcanzar ganancias en la productividad es la llamada participativa, en donde el campesino participa con el fitomejorador en el mejoramiento de las poblaciones por medio de métodos sencillos como lo es la selección masal. Otra buena opción para el mejoramiento de maíces criollos es el aprovechamiento de la heterosis para rendimiento, encontrándose en

materiales de distinto origen, en este caso, la combinación de las variedades criollas con las mejoradas. Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar diferentes estrategias de producción de semilla de maíz criollo mejorado, así como determinar sus características varietales y su calidad física y fisiológica. Se evaluaron 10 genotipos, de los cuales tres representan variantes de un material criollo adaptado a Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. (Jaguey); dos de ellas obtenidas por métodos de producción de semilla (ProdSG1 y ProdSG2, primer y segundo ciclo de producción, respectivamente) y una por selección de familias de hermanos completos (JagFHC) y el material criollo; dos genotipos resultado de combinaciones entre una población mejorada experimental (PobMej) y el criollo, seleccionados para madurez precoz (CMSeIPre) y tardía (CMSeITar), y tres testigos constituidos por dos variedades mejoradas (T2Cafime y T3Van-210) y uno compuesto (T1CPrecoz). Las evaluaciones fueron realizadas en dos localidades, correspondientes a los ambientes de riego (El Mezquite, Galeana, N.L.) y temporal (Celaya, Gto). Los resultados mostraron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos en el comportamiento agronómico, siendo el grupo de material mejorado (PobMej, CMSeIPre y CMSeITar) el que presentó mayor rendimiento que las poblaciones criollas, con mayor número de hojas arriba de la mazorca. Las mazorcas del material mejorado (PobMej y CMSeITar) tuvieron mayor peso, lo cual se reflejó en el rendimiento y en la calidad fisiológica de sus semillas (vigor y germinación), debido a la contribución del germoplasma mejorado hacia la población adaptada. Los materiales criollos (Jaguey, ProdSG1, ProdSG2 y JagFHC) presentaron la mayor altura de planta, aunque su rendimiento no se semejó al

de los materiales mejorados, se encontró buen desempeño en Jaguey y ProdSG2. Estos materiales, en el estudio fotosintético, presentaron la mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, sin embargo, no se reflejó esta eficiencia en el rendimiento, debido posiblemente a la altura de planta y precocidad en su floración.

## ABSTRACT

Strategies for improvement landrace maize seed production.

BY:

GRACIELA AVILA URIBE

MASTER

GRAIN AND SEED TECHNOLOGY

ANTONIO NARRO AGRARIAN AUTONOM UNIVERSITY

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MARCH OF 2006.

Dr. Norma A. Ruiz T. Assesor

Key words: maize, landrace, participative plant breeding, populations.

The maize landraces cultivated in the Northeast of Mexico, presents low productive potential due to low rainfall conditions in which it is seeded, nevertheless, the farmers have created through the time their own genotypes, taking advantage of the existing genetic variability. An improvement strategy to reach productivity gains is the participative plant breeding, in wich the farmer participates with the plantbreeder in the improvement of the populations by means of simple methods as it is the masal selection. Another good option for the landraces maize improvement is to take advantage of the heterosis for yield, in materials of different origin, in this case, the combination of the landraces with

the improved ones. The objectives of the present work were: to evaluate different strategies for improved landrace maize seed production, as well as to determine their varietal characteristics and their physical and physiological quality. Ten genotypes were evaluated, three of them represented variants of an adapted local landrace material from Jaguey de Ferniza, Saltillo, Coah. (Jaguey); two of them obtained by methods of seed production (ProdSG1 and ProdSG2, first and second production cycle, respectively) and one by selection of complete brothers families (JagFHC) and the landrace material; two genotypes resulted from the combination between an improved experimental population (PobMej) and the landrace, selected for early (CMSeIPre) and late maturity (CMSeITar), and three checks constituted by two improved varieties (T2Cafime and T3Van-210) and one composed (T1CPrecoz). The evaluations were carried out in two locations, corresponding to the irrigated environment (Celaya, Gto) and rainfed (Mezquite, Galeana, N.L.). The results showed statistical differences ( $P \leq 0.01$ ) between genotypes in the agronomic performance, being the improved material group (PobMej, CmSeIPre and CMSeITar) the one that presented greater yield than the landrace populations, with greater leaves number above of ear. Ears from the improved material (PobMej and CMSeITar) had greater weight, which was reflected in the yield and the physiological quality of its seeds (vigor and germination), due to the contribution of improved germoplasm towards the adapted population. The landrace materials (Jaguey, ProdSG1, ProdSG2 and JagFHC) presented greater plant height, although their yield did not resemble the one of the improved materials, good performance was observed in Jaguey and ProdSG2.

In the photosynthetic study, these materials presented reater rate CO<sub>2</sub> assimilation, nevertheless, this efficiency was not reflected in the yield performance, probably due to the plant height and flowering precocity.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
ÍNDICE DE CUADROS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
Material genético .....	12
Obtención del material genético .....	13
Descripción del material genético.....	13
Experimento 1. Evaluación de campo .....	15
Experimento 2. Estudio de Laboratorio .....	19
Prueba de germinación.....	19
Experimento 3. Estudio en Invernadero .....	19
Medición de la actividad fotosintética .....	19
Velocidad de emergencia.....	21
Análisis estadístico .....	22
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>23</b>
Experimento 1: Evaluación de campo .....	23
Experimento 2. Estudio de laboratorio .....	34
Prueba de germinación.....	34
Experimento 3. Estudio en invernadero .....	39
Medición de la actividad fotosintética .....	39
Velocidad de emergencia .....	44
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>47</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>48</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
4.1 Cuadros medios de los análisis de varianza de las variables agronómicas 2004. ....	27
4.2 Comparación de medias de los genotipos evaluados en dos localidades (celaya, gto. y el mezquite, n.l.) para las variables agronómicas 2004. ....	28
4.3 Cuadros medios de los análisis de varianza de las variables morfológicas 2004. ....	32
4.4 Comparación de medias de los genotipos evaluados para las variables morfológicas 2004. ....	33
4.5 Cuadros medios de los análisis de varianza de los ensayos de germinación de semilla original. 2004.....	34
4.6 Comparación de medias de los genotipos evaluados para germinación de semilla original. 2004.....	35
4.7 Cuadros medios de los análisis de varianza de los ensayos de germinación 2004. ....	36
4.8 Cuadro de medias de la interacción genotipo-ambiente para germinación en cuatro ambientes evaluados.....	38
4.9 Cuadros medios del análisis de varianza para la medición de la actividad fotosintética. ....	39
4.10 Comparación de medias de los genotipos evaluados para la medición de la actividad fotosintética. ....	42
4.11 Cuadros medios del análisis de varianza para la medición de índice de velocidad de emergencia (ive).....	44
4.12 Comparación de medias de los genotipos evaluados para la medición del ive. ....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
3.1 Esquema de la obtención del material genético utilizado .....	12
3.2 Esquema de trabajo experimental desarrollado en el presente estudio. ....	15

## INTRODUCCIÓN

México es reconocido mundialmente como uno de los países con mayor riqueza biológica, siendo el maíz el más sobresaliente; actualmente se reportan más de 50 razas de maíz en México (Hernández, 1999).

El maíz se siembra en todos los estados de la república; en el año 2000, la superficie cultivada alcanzó los 8.5 millones de hectáreas, con una producción de 17.8 millones de toneladas (López, 2005).

Las variedades criollas son cultivadas en aproximadamente el 70 por ciento de la superficie nacional, aunque existen regiones como Jalisco, El Bajío, Sonora, Sinaloa y Tamaulipas en donde el uso de semilla mejorada supera el 60 por ciento (Arias y Sánchez, 1997).

El maíz criollo que se cultiva en México, presenta algunas características indeseables como: bajo potencial productivo debido a las condiciones de temporal en el que es sembrado, pero los agricultores que tienen que responder a la irregularidad de las lluvias, han creado a través del tiempo sus propios genotipos, aprovechando la variabilidad genética existente.

La mayoría de los productores que utilizan semillas criollas ofrecen resistencia a sustituirlas por variedades mejoradas o híbridos, aunque muchos otros han realizado de generación en generación, combinaciones entre híbridos y criollos, producto de su observación y experiencia.

Considerando la problemática anterior, profesores investigadores de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y productores de maíz criollo, han venido desarrollando trabajos de mejoramiento participativo con el propósito de mejorar sus materiales para incrementar el rendimiento por unidad de superficie; así mismo, y como parte del proceso de selección, analizar además del comportamiento agronómico, los índices de calidad fisiológica y física de las semillas.

En el presente trabajo se evaluaron 10 genotipos de los cuales cuatro representan variantes de materiales criollos; dos de ellos obtenidos por métodos de producción de semilla (primer y segundo ciclo de producción), selección por familias de hermanos completos y el material criollo; dos combinaciones entre una población mejorada experimental y el criollo; la población mejorada y tres testigos constituidos por dos variedades mejoradas y un material compuesto experimental.

En esta investigación se planteó como objetivos: evaluar diferentes estrategias de producción de semilla de maíz criolla mejorada, así como determinar sus características varietales y su calidad física y fisiológica. La

hipótesis propuesta fue: “las semillas mejoradas de maíz criollo presentan mejores características genéticas, fisiológicas y físicas que la población original”.

## REVISIÓN DE LITERATURA

El maíz pertenece a la familia *Gramineae*; ha sido la base de la alimentación de la mayoría de los pueblos del continente americano. Para el pueblo mexicano antiguo, el conocerlo significó el crecimiento y desarrollo de ciudades de grandes culturas. En México tiene nombre en muchos idiomas indígenas; en náhuatl se llama *centli* o *tlaoilli* (INEA, 1982).

El maíz es cultivado en condiciones ambientales, sociales y tecnológicas contrastantes, en parcelas que varían desde un jardín hasta campos de cientos de hectáreas (García y Goodman, 2004). Es una de las plantas que más se ha estudiado por científicos e investigadores. Se reconoce que este cultivo es mexicano, ya que se han encontrado varias razas o especies muy antiguas que ya se cultivaban hace varios miles de años, y que se siguen cultivando actualmente. Dichas razas son el palomero, toluqueño, arrocillo amarillo, chapalote, nal-tel, cacahuacintle, harinoso de 8, olotón y maíz dulce. Las razas de maíz fueron desarrolladas en función del clima, los factores ambientales de siembra y las habilidades de los agricultores (INEA, 1982).

Algunas de las razas de maíz se han originado por cruzamiento interracial, por ejemplo la raza Celaya, producto de la intervención de nueve razas, además del teocintle. Esto ha tenido lugar en el campo por la proximidad espacial y/o temporal entre las razas, lo que permite su cruzamiento por polinización libre, o bien por parte del campesino usando poblaciones introducidas sea por simple curiosidad o para renovar sus variedades, actuando así como mejorador o hibridador (Márquez, 1997).

La preservación de la diversidad genética del maíz ha sido un servicio brindado por los agricultores mexicanos durante miles de años, ellos intercambian, mezclan, seleccionan y readaptan las distintas razas criollas buscando obtener un grano que cumpla con los requisitos como alimento, de buen sabor, de buen crecimiento y producción; esto es lo que aún logran muchos campesinos en la actualidad (INEA, 1982).

Sin embargo, estas aportaciones a la conservación de la diversidad genética de maíces criollos no ha logrado resolver en gran medida muchos de los problemas agrícolas que enfrentan los productores, como por ejemplo: obtener mejores rendimientos en sus cosechas y mejorar sus condiciones de vida.

El mejoramiento genético del maíz ha sido una de las líneas de investigación agrícola de mayor consistencia y dinamismo en México (Guillén *et al.*, 2000); en el mejoramiento de maíces criollos se han utilizando métodos de

mejoramiento genético como la hibridación, selección y la recombinación (Smith *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2002).

Una estrategia de mejoramiento para alcanzar ganancias en la productividad es la llamada participativa (Bänziger y Cooper, 2001); en donde el campesino participa en el mejoramiento de las poblaciones que le entregan los fitomejoradores por medio de métodos sencillos como lo es la selección masal (Márquez, 1997).

La selección masal es el método más antiguo y simple utilizado en maíz; se ha utilizado en diversos trabajos para mejorar el rendimiento y sus componentes, para modificar caracteres agronómicos de importancia económica y para adaptar poblaciones exóticas a áreas específicas (Pérez *et al.*, 2002).

El mejoramiento participativo se define como un diálogo entre agricultores y científicos, orientado a solucionar problemas relacionados con la agricultura; también agrega que al tomar en cuenta las inquietudes y las condiciones de los agricultores, los investigadores pueden desarrollar tecnologías con mayores probabilidades de ser adoptadas y que respondan a las principales preocupaciones sociales, como lo son la igualdad y la sustentabilidad (Bellon, 2002).

Smith (*et al.*, 2001) señalan que la selección masal estratificada sin control de la polinización, con las selecciones realizadas por los investigadores en campos de los agricultores, puede ser eficaz en mejorar la producción en variedades locales de los productores en México.

Los mismos autores indican que en Honduras, la selección masal con el control de la polinización, donde las selecciones fueron hechas mediante la colaboración de los agricultores en sus propios campos y con sus propias variedades, demostró tendencias hacia la mejora del rendimiento. La selección de agricultores pareció ofrecer el más grande beneficio sobre la selección de la estación experimental del agricultor con el más bajo potencial de rendimiento, sugiriendo que la participación del agricultor puede ser de lo más ventajoso en los ambientes marginales, en donde las condiciones de la estación experimental difieren dramáticamente de las condiciones de los agricultores.

Bellon (2002) realizó un proyecto participativo en los Valles Centrales de Oaxaca con el propósito de saber si era posible aumentar la productividad del maíz y al mismo tiempo, conservar o mejorar la diversidad genética; los agricultores tuvieron acceso a la diversidad de variedades criollas de maíz de la región, recibiendo capacitación en técnicas de manejo y selección de semilla. Se recolectaron muestras de variedades de maíces criollos en 15 comunidades elegidas por su diversidad genética, las cuales fueron sembradas en ensayos en las 15 comunidades donde fueron recolectadas (campos de los agricultores) pero bajo el manejo de los científicos; en este proceso se invitó a los

agricultores a que observaran las variedades y eligieran las que les gustaban. Los investigadores tomaron las preferencias de los participantes como “votos” y consideraron que cuanto mayor era el porcentaje de agricultores votantes de una variedad de maíz, mayor el valor de la misma. De acuerdo a los resultados obtenidos, los agricultores participantes confirmaron que los distintos tipos de maíces “experimentales” funcionaban bien en sus condiciones de cultivo e incluso expresaron que algunos eran mejores que sus propias variedades.

En un estudio realizado en los Valles Altos de México, (Pérez *et al.*, 2002), trabajando con 10 razas de maíz (Pepitilla, Tabloncillo, Comiteco, Celaya, Vandefío, Tepecintle, Olotillo, Nal–Tel, Zapalote Chico y Tuxpeño) y sometidas a selección masal para adaptación en los municipios de Montecillo y Tecamac, Estado de México, encontraron un incremento en el rendimiento de mazorca por planta de 2.6 a 24.7 por ciento. El compuesto del último ciclo de selección en la mayoría de las razas superó significativamente en rendimiento de mazorca a algunas de las variedades locales.

Por su parte Godoi *et al.* (1996) realizaron una investigación en un campo experimental de la Fundación para la Investigación Agrícola, en el Estado de Yaracuy, Venezuela, en donde el objetivo fue obtener una variedad de granos amarillos dentados para ser utilizada como fuente de líneas para la formación de híbridos. El híbrido sintético denominado FPX – 03A fue sometido a tres ciclos completos de selección recurrente. Los resultados del último ciclo mostraron una variedad de granos amarillos dentados con un rendimiento de

granos del 12.9 por ciento superior al híbrido testigo comercial, lo cual indica que es posible obtener ganancias genéticas futuras bajo este método de mejoramiento.

Otra buena opción para el mejoramiento de maíces criollos es el aprovechamiento de la heterosis para rendimiento, encontrándose por lo general en materiales de distinto origen (Holland *et al.*, 1996; Tallury y Goodman, 1999); en este caso sería aprovechada la combinación de las variedades criollas con las mejoradas (Ramírez *et al.*, 2003).

En un trabajo realizado en la Península de Yucatán, con tres variedades de maíz criollo cruzadas con variedades mejoradas, se obtuvo 30 por ciento más rendimiento y plantas de menor altura que sus progenitores (Márquez, 2002).

Rincón *et al.* (2002), al cruzar una variedad de maíz criollo adaptada a Jagüey de Ferniza, Coahuila, y una población experimental precoz bajo condiciones de riego y temporal, se encontró variabilidad en el rendimiento entre los ambientes; el 43 por ciento de la descendencia superó en rendimiento a la población mejorada. Posteriormente, en el ambiente bajo riego, se seleccionaron cruza con buen potencial de rendimiento, mientras que en el ambiente de temporal, y con apoyo del agricultor, se complementó el proceso de selección de variedades con mejores características físicas y fisiológicas.

Rincón y Ruiz (2004), compararon cuatro poblaciones desarrolladas por diferentes métodos de selección y manejo, se analizaron los efectos de la selección en caracteres agronómicos considerando la localidad y la población original como referencias. La población criolla (PO), adaptada a Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah; la primera generación de la PO (G1) obtenida a través de un esquema de producción de semillas; dos poblaciones obtenidas por la combinación de germoplasma criollo y mejorado, seleccionadas para madurez precoz (SP) y tardía (ST), respectivamente. Las evaluaciones fueron realizadas en dos localidades, correspondientes a los ambientes de riego y temporal. Los resultados mostraron que las poblaciones PO y G1 fueron comparativamente más diversas que las poblaciones SP y ST como efectos de las metodologías de selección. La magnitud de la diferencia entre la población original y las poblaciones mejoradas (SP y ST) fue muy evidente ( $P < 0.01$ ) debido a la contribución del germoplasma mejorado en la población local adaptada.

La retrocruza limitada es otro método que se ha utilizado como herramienta de mejoramiento de maíces criollos (Márquez, 1990), con lo cual las razas de maíz mejoradas se pueden usar sin problema en la formación de nuevas variedades más productivas (Márquez *et al.*, 1999).

Esta técnica es un método de mejoramiento rápido para variedades de maíces criollos en la que solo se realiza una sola retrocruza; ha sido efectivo para reducir la altura de planta y mazorca y la susceptibilidad al acame

(Márquez *et al.*, 2000). Requiere de donadores de porte bajo, con alto rendimiento de grano y buena adaptación (Ramírez *et al.*, 2003).

A este respecto, Ramírez *et al.* (2003), evaluaron tres localidades del estado de Michoacán, cuatro pares de progenitores criollos y mejorados seleccionados por heterosis para rendimiento, su crusa y su primera retrocrusa en  $F_1$  para ambos progenitores, además de las cruzas entre retrocruzadas. Se midió: rendimiento de mazorca, altura de mazorca principal, altura total de planta y acame de raíz. Los resultados mostraron que el rendimiento de la crusa original fue de 16.2 por ciento superior a la media de los progenitores; las retrocruzadas hacia los progenitores tuvieron un rendimiento estadísticamente similar. La altura de mazorca en la retrocrusa con el progenitor criollo fue menor en un 2.5 por ciento que el de la crusa original, mientras que la retrocrusa con el progenitor mejorado presentó una altura de mazorca 28 por ciento menor que el de la crusa original. El acame de raíz en la retrocrusa con el progenitor mejorado fue 57 por ciento menor que el de la crusa original, mientras que la retrocrusa con el material criollo fue de 28.6 por ciento menor que la crusa original. El rendimiento de las cruzas entre retrocruzadas superaron en un 2.87 por ciento a las cruzas originales, mientras que la altura de mazorca se disminuyó en un 5.5 por ciento con respecto a la crusa original.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material genético

El material genético utilizado fue generado a partir de diversas estrategias de manejo y selección aplicadas a una población criolla de maíz. La población criolla es una población adaptada a la localidad de Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. La Figura 3.1 muestra las diferentes estrategias mediante las cuales fue obtenido el material genético.

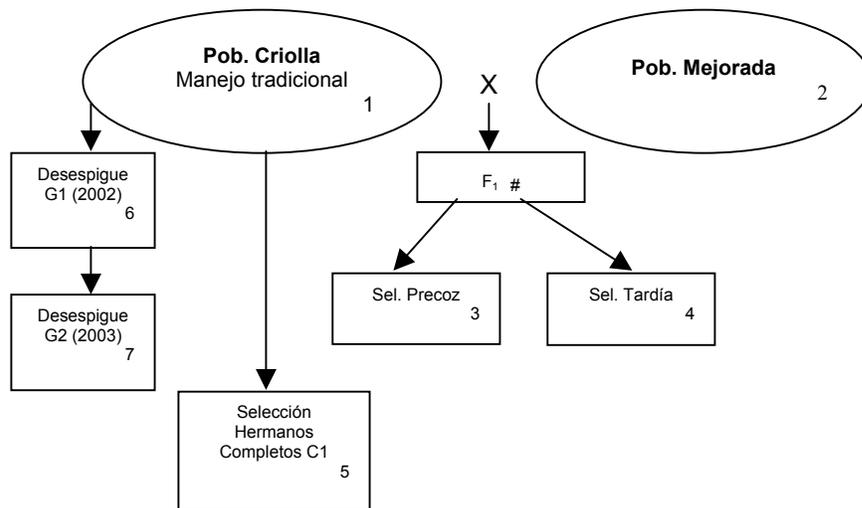


Figura 3.1 Esquema de la obtención del material genético utilizado

### **Obtención del material genético**

A la población criolla (1) se le aplicaron dos ciclos de manejo y selección en base a un esquema de producción de semilla en campo del agricultor (6 y 7). En éste método se usaron surcos hembra (desespigados) como mecanismo para obtener la semilla para la siguiente siembra. También se aplicó un método de selección recurrente de hermanos completos (5, ciclo 1). La otra estrategia consistió en cruzar la población criolla con una población experimental (2) que después de la recombinación se obtuvieron dos poblaciones: la selección precoz (3) y la selección tardía (4).

### **Descripción del material genético**

**1. Población criolla (Jagüey):** adaptada a la región del Jagüey de Ferniza, en Saltillo, Coahuila, a una altitud de 2100 msnm, su mazorca es del tipo cónico.

**2. Población mejorada (PobMej):** población experimental precoz, con adaptación al Bajío mexicano, a una altitud de 1800 msnm, desarrollada por el Instituto Mexicano del Maíz de la UAAAN (Rincón *et al.*, 2002).

**3. Selección precoz (CMSeIPre):** obtenida a partir de la cruce entre la población criolla y mejorada, con características de precocidad.

**4. Selección tardía (CMSeITar):** obtenida a partir de la cruce de la población criolla por la mejorada, con características tardías.

**5. SFHC (JagFHC):** Población desarrollada a partir de la criolla por medio de selección de familias de hermanos completos (primer ciclo de selección).

**6. Producción de semilla (ProdSG1):** población obtenida a través de un esquema de producción de semilla en campo del agricultor (surcos femeninos y masculinos en la misma población) conformando la primera generación.

**7. Producción de semilla (ProdSG2):** población correspondiente a la segunda generación obtenida a través de un esquema de producción de semilla en campo del agricultor.

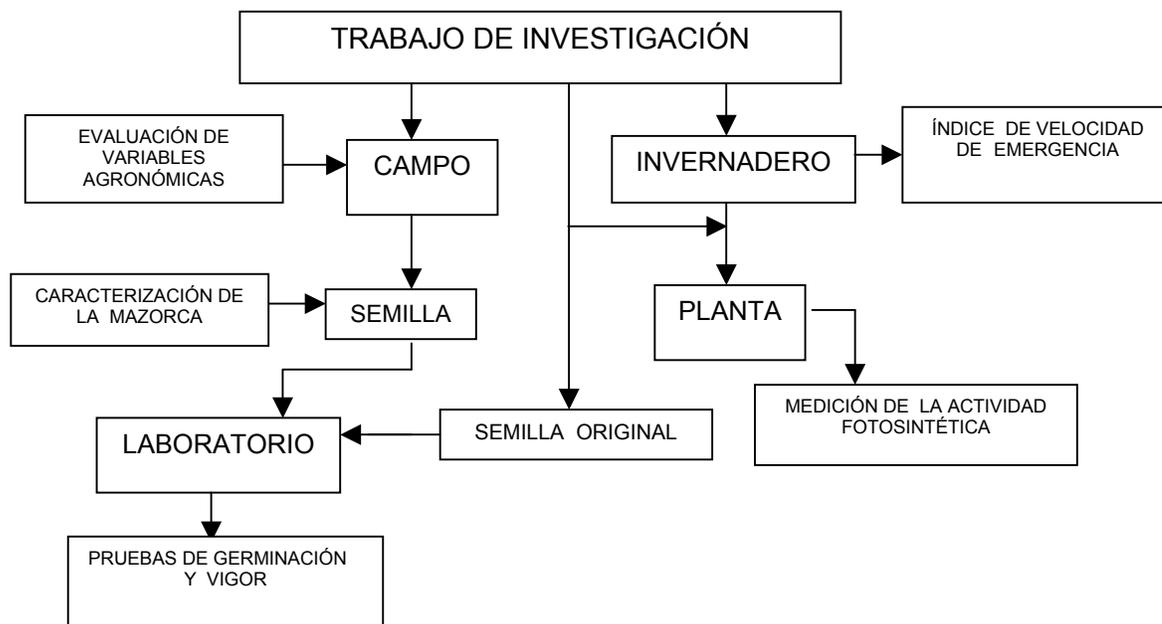
**8. Testigo 1 (T1CPrecoz):** Compuesto experimental desarrollado por selección de materiales criollos, con características de precocidad.

**9. Testigo 2 (T2Cafime):** Variedad Cafime, desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

**10. Testigo 3 (T3Van210):** Variedad VAN-210, desarrollada por la UAAAN.

De esta manera, se utilizó un total de 10 materiales genéticos, siete de ellos corresponden a las estrategias de selección y manejo; y los tres restantes los testigos utilizados.

El presente trabajo se llevó a cabo en tres experimentos: campo, laboratorio e invernadero; la metodología aplicada se muestra en la Figura 3.2.



**Figura 3.2 Esquema de trabajo experimental desarrollado en el presente estudio.**

### **Experimento 1. Evaluación de campo**

La evaluación en campo fue realizada en dos localidades, Celaya, Guanajuato y el Ejido “El Mezquite”, municipio de Galeana, Nuevo León.

*Celaya, Gto:* se ubica a los 20° 32’ de latitud norte y 100° 49’ longitud oeste, a una altitud de 1754 msnm, cuyo clima es templado. La temperatura media anual es de 20.6 °C y la precipitación media anual es de 597.3 mm.

*Ejido “El Mezquite”, Galeana, N.L.:* se ubica a los 24° 49’ de latitud norte y 100° 05’ de longitud oeste, a una altitud de 1890 msnm predominando los suelos sedimentarios del periodo Jurásico. La precipitación media anual es de 429.8 mm y la temperatura media anual de 15.8 °C.

El experimento fue establecido con tres repeticiones por material; cada parcela consistió de cuatro surcos de cinco metros de largo y 0.75 metros entre surcos, en Celaya Gto., y de 0.92 m entre surcos en la localidad de El Mezquite, N.L. A la siembra se depositaron 30 semillas por surco, adecuándose la población para obtener como parcela experimental, un total de 21 plantas por surco.

**Fertilización:** La fórmula de fertilización se distribuyó en dos partes en la localidad de Celaya; la primera se aplicó al realizarse la siembra (90-90-90) y la segunda aplicación (90-00-00) al momento de llevar a cabo el primer cultivo. La fuente de nitrógeno utilizada fue urea. La aplicación de los fertilizantes se hizo de acuerdo a las recomendaciones y necesidades de cada localidad, en Celaya se aplicó la fórmula 180-90-90 y en El Mezquite se utilizó la fórmula 120-60-60.

**Riego:** El primer riego se aplicó inmediatamente después de la siembra y posteriormente, el número y la lámina de riegos variaron en función de las condiciones climáticas que se presentaron (precipitación y temperatura) y el tipo de suelo.

**Control de malezas:** Se realizaron al momento de la siembra con la aplicación del herbicida Primagram (pre-emergente) con una dosis de aplicación de 4 lt ha<sup>-1</sup>.

Las variables evaluadas en campo se realizaron seleccionando plantas de los dos surcos centrales de cada parcela, y fueron las siguientes:

- **Altura de planta:** Se seleccionaron al azar cinco plantas y se midió la distancia en centímetros, desde la base hasta el punto de inserción de la espiga.
- **Días a floración masculina:** Se indicó el número de días entre la siembra y la fecha en la que el 50 por ciento de las plantas de una parcela tuvieron emisión de polen. La variable de días a floración femenina no se midió debido a su relación inversa con la variable días a floración masculina.
- **Hojas arriba de la mazorca:** En los surcos centrales de cada parcela se eligieron al azar cinco plantas y se contaron el número de hojas arriba de la mazorca superior.
- **Número de mazorcas por planta:** De un solo surco de cada parcela, se escogió al azar cinco plantas y se contó el número de mazorcas en cada una de ellas.
- **Cobertura de la mazorca:** En esta variable se contaron las mazorcas con mala cobertura y se expresó el resultado en por ciento.
- **Pudrición de mazorca:** Se contaron las mazorcas que presentaron pudrición y se expresó en por ciento.

- **Rendimiento de semilla ( $t\ ha^{-1}$ ):** Se estimó la cantidad en toneladas de maíz por hectárea, expresado en semilla, ajustado al 12 por ciento de humedad.

Después de la cosecha, se seleccionaron cinco mazorcas provenientes de los dos surcos centrales de cada parcela, cuyas variables evaluadas fueron las siguientes:

- **Peso de la mazorca:** Se pesó cada mazorca individualmente, y se registró su peso en gramos ajustado al 12 por ciento de humedad.
- **Longitud de mazorca:** Se midió en centímetros la longitud de la mazorca.
- **Diámetro de mazorca y olote:** Se midió con un vernier en centímetros el diámetro de la mazorca y del olote.
- **Número de hileras en la mazorca:** Se contaron el número de hileras presentes en la mazorca.
- **Peso de las semillas:** Una vez desgranada cada mazorca se reportó su peso en gramos, ajustado al 12 por ciento de humedad.
- **Peso de mil semillas:** Se seleccionaron mil semillas del total y se reportó su peso en gramos, ajustado al 12 por ciento de humedad.
- **Porcentaje de humedad de la semilla:** Se juntó la semilla de las cinco mazorcas de una parcela, se mezcló y se determinó la humedad con un determinador de humedad marca Dickey-john modelo 1170-23006.

## **Experimento 2. Estudio de Laboratorio**

### **Prueba de germinación**

En el laboratorio de ensayos de Calidad del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se realizó la prueba de germinación en las semillas de las dos localidades evaluadas y de la semilla original. La prueba consistió en colocar las semillas entre dos hojas de papel Anchor americano previamente humedecidas, posteriormente se enrolló formando “tacos” y se sujetaron los extremos con ligas, se colocaron 25 semillas por taco y tres repeticiones por material; aleatoriamente se acomodaron cuatro tacos por bolsa y se metieron en una cámara de germinación a una temperatura de 25 °C durante siete días.

Se realizaron dos conteos, el primero, que es una prueba de vigor, se hizo al cuarto día después de la siembra y se contó el número de plántulas normales; el segundo conteo, que es una prueba de viabilidad, se realizó al séptimo día, en él se contaron nuevamente las plántulas normales, para calcular la germinación. Los resultados se reportan en por ciento en ambos conteos.

## **Experimento 3. Estudio en Invernadero**

### **Medición de la actividad fotosintética**

El experimento fue establecido con la siembra en macetas de los 10 materiales en un invernadero a una temperatura de 25 °C; se utilizó como sustrato Pro-mix PGX Premier mezclado con Vermiculita en una proporción de

1: 3, sembrándose dos semillas por maceta y 5 repeticiones por material. Se realizaron aplicaciones de fertilizante foliar marca “Fertidup” de fórmula 20-20-20 en una dosis de 49 g en cinco litros de agua, aplicándose aproximadamente 10 ml de la solución por maceta, una vez por semana a partir de la segunda semana de sembradas. Para el control de plagas, específicamente de mosquita blanca, se aplicó insecticida marca “Manager”, en una dosis de 2 ml/lt de agua, rociándose con un atomizador en las hojas y a chorro en el sustrato una vez por semana a partir de la tercer semana de nacidas las plantas, esto con la finalidad de controlar el ataque de esta plaga alojada en un cultivo de orégano vecino y que estaba atacando también las unidades experimentales.

La medición de la actividad fotosintética fue realizada en la quinta hoja de las plantas con el determinador portátil marca LICOR-6400, previamente calibrado, con el tubo de la soda en posición “full scrub” y el tubo del desecante en “full bypass” y con el flujo de luz calibrado a  $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; la lectura fue tomada una vez que el valor permaneció constante en la pantalla en un lapso de cinco segundos.

Las variables medidas fueron las siguientes:

- Tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  (A), expresado en  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .
- Conductancia estomática ( $g_s$ ), expresada en  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .
- $\text{CO}_2$  intercelular (ci) en  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ .
- Transpiración (Tr) expresada en  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .
- Relación entre el  $\text{CO}_2$  intercelular y  $\text{CO}_2$  en el ambiente (ci/ca).

### Velocidad de emergencia

La prueba se efectuó en invernadero, con riego aplicado cada tercer día en forma manual. La siembra se realizó en una cama de concreto forrada con plástico de 0.85 m de ancho por 3.20 m de largo y como sustrato se empleó Pro-mix PGX Premier. Se sembraron cuatro repeticiones de 15 semillas por cada material a una profundidad uniforme de 3 cm y distancia de planta a planta de 5 cm, con humedad a capacidad de campo. Se realizaron conteos diarios del número de plántulas emergidas, para mayor precisión de la prueba, los conteos se realizaron a la misma hora.

El índice de velocidad de emergencia es una prueba de vigor, y fue determinado por el conteo de las plántulas emergidas, empleándose la siguiente fórmula:

$$\text{I.V.E.} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{No. de plántulas normales al conteo } i\text{-ésimo}}{\text{No. de días desde la siembra al conteo } i\text{-ésimo}}$$

La determinación del por ciento de emergencia (ensayo de viabilidad) se realizó tomando en cuenta el número de plantas totales emergidas en el último conteo, empleándose la siguiente fórmula:

$$\% E = \frac{\text{Plántulas emergidas en el último conteo}}{\text{No. semillas sembradas en la repetición } n\text{-ésima}} \times 100$$

### Análisis estadístico

Para evaluar las variables agronómicas, de caracterización de mazorca y de germinación en las dos localidades estudiadas, se utilizó un diseño en bloques completamente al azar cuyo modelo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, \dots, t; j = 1, \dots, b$$

i = genotipos j = bloques

Donde:

$Y_{ij}$ : respuesta en la j-ésima unidad experimental con el genotipo i-ésimo.

$\mu$ : media general, común a todas las unidades antes de asignar los genotipos.

$\tau_i$ : efecto del i-ésimo genotipo.

$\beta_j$ : efecto del j-ésimo bloque.

$\epsilon_{ij}$ : error experimental en el j-ésimo bloque del i-ésimo genotipo.

Para el análisis de la prueba de germinación en la semilla original, la medición de fotosíntesis, índice de velocidad de emergencia y por ciento de emergencia, se utilizó un diseño completamente al azar, cuyo modelo lineal es el siguiente:

$$Y_i = \mu + \tau_i + \epsilon_i$$

$$i = 1, \dots, t; i = \text{genotipos}$$

Donde:

$Y_i$ : respuesta en la j-ésima unidad experimental con el genotipo i-ésimo;  $\mu$ :

media general, común a todas las unidades antes de asignar los genotipos;

$\tau_i$ : efecto del i-ésimo genotipo y  $\epsilon_i$ : error experimental en el i-ésimo genotipo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados y la interpretación para reafirmar el objetivo del presente estudio y posteriormente analizar la hipótesis planteada. Dichos resultados se presentan en tres tipos: Experimento 1: Evaluación de campo; Experimento 2: Estudio de laboratorio; y Experimento 3: Estudio en invernadero. Así mismo, con fines de facilitar la interpretación de dichos resultados, se clasificaron los materiales genéticos en dos grupos: Grupo 1: materiales criollos, que corresponden a Jaguey, JagFHC, ProdSG1 y ProdSG2; Grupo 2: materiales mejorados que corresponden a PobMej, CMSelPre y CMSelTar.

### **Experimento 1: Evaluación de campo**

En el Cuadro 4.1 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza combinado en los dos ambientes evaluados (Celaya, Gto y Ejido “El Mezquite, Galeana, N.L.) de siete variables agronómicas: RSEM (rendimiento de Semilla), FM (floración masculina), APTA (altura de planta), MCOB (mala cobertura), MAZPP (mazorcas por planta), MP (mazorcas podridas) y H (humedad en campo). Se encontraron diferencias significativas entre localidades para las variables FM, APTA y MP ( $P \leq 0.01$ ) y ( $P \leq 0.05$ ) en MCOB,

lo que demuestra una gran diferencia entre los ambientes en cuanto a las condiciones climáticas y edáficas imperantes en cada una de ellas.

En los bloques dentro de localidades no se presentaron diferencias significativas en ninguna variable, mientras que en los materiales genéticos (genotipos) y la interacción entre localidad y genotipos se observaron diferencias significativas para todas las variables, excepto en la interacción genotipos\*localidad en la pudrición de mazorca. Este hecho marca la importancia de evaluar los materiales en localidades distintas para analizar su desempeño agronómico y tratar de atenuar el efecto del ambiente.

En el análisis de comparación de medias combinado (Cuadro 4.2) de las variables agronómicas, el grupo 2 (PobMej, CMSeIPre y CMSeITar) obtuvo el mayor rendimiento en comparación al testigo T2Cafime, siendo el genotipo CMSeITar el de mayor rendimiento con  $9.9 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que en el grupo 1 (Jaguey, JagFHC, ProdSG1 y ProdSG2), aunque el genotipo Jaguey presentó mayor rendimiento ( $7.74 \text{ t ha}^{-1}$ ) que el resto de las variedades de población criolla, estas diferencias no fueron estadísticamente diferentes, siendo el material ProdSG1 quien obtuvo el menor valor ( $6.67 \text{ t ha}^{-1}$ ). El rendimiento del grupo 1 fue inclusive mejor que el testigo T3Van210, cuyo desempeño en esta variable fue el menor de todos los materiales evaluados. Destaca en este análisis la diferencia de los materiales mejorados con respecto a los criollos, por efecto de la contribución de germoplasma mejorado. En el caso de los materiales criollos, a diferencia del material JagFHC, el resto ha sido sometido

al mismo manejo agronómico por parte del agricultor y posiblemente la ausencia de diferencia relativa se deba a un efecto del muestreo. Así mismo, en los resultados del Cuadro 4.2, se encuentran confundidos los efectos de la interacción genotipos x ambiente, la cual fue estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ), según información del Cuadro 4.1.

Ambos grupos no presentan una diferencia significativa marcada en floración masculina, pero si una tendencia por parte del grupo 1 a ser más precoces que el grupo 2. El testigo T1CPrecoz fue el material más precoz.

En promedio, el material criollo obtuvo la mayor altura de planta, sin embargo, no hay evidencia de diferencia estadística con los materiales con germoplasma mejorado. En cuanto al número de mazorcas por planta, ambos grupos no mostraron gran diferencia estadística en sus medias, aún comparadas con los testigos; estos últimos también no fueron diferentes en esta expresión fenológica.

En cuanto a la variable mazorcas podridas (MP), los genotipos del grupo 2 presentaron menor pudrición de mazorca en comparación al grupo 1. Los materiales de ambos grupos, e incluso los testigos, no mostraron diferencias significativas entre ellos. En el contenido de humedad, las medias de ambos grupos son estadísticamente iguales, sin embargo numéricamente los materiales criollos presentaron valores menores. Esto se puede deber a que los

materiales del grupo 1 están mejor adaptados a climas de temporal, en donde la disponibilidad de agua tiende a escasear en cierta época del ciclo productivo.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios de los análisis de varianza de las variables agronómicas 2004.

F.V.	gl	RSEM (t ha <sup>-1</sup> )	FM (días)	APTA (cm)	MCOB (%)	MAZPP No.	MP (%)	H (%)
Localidades (Loc)	1	1.3 ns	7085.1 **	17545.0 **	853.4 *	0.1 ns	787.1 **	5.2 ns
Bloques/Loc	4	1.3 ns	1.2 ns	581.9 ns	68.6 ns	0.0 ns	18.3 ns	5.7 ns
Genotipo (Gen)	9	9.9 **	70.0 **	1694.5 **	152.4 **	0.1 **	28.5 *	8.9 **
Loc X Gen	9	2.0 *	15.7 **	578.0 *	123.6 **	0.0 *	9.1 ns	9.3 **
Error	36	0.7	2.7	255.5	35.1	0.0	11.1	2.6
C.V. %		10.9	2.2	6.9	49.6	11.5	42.4	9.3

\*\*, \* = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente. ns = no significativo. FV = Fuentes de Variación; gl = Grados de libertad; RSEM = Rendimiento de semilla; FM = Floración masculina; APTA = Altura de planta; MCOB = Mala cobertura; MAZPP = Mazorcas por planta; MP = Mazorcas podridas; H = Humedad en campo.

Cuadro 4.2. Comparación de medias de los genotipos evaluados en dos localidades (Celaya, Gto. y El Mezquite, N.L.) para las variables agronómicas 2004.

GENOTIPOS	GPO	RSEM (t ha <sup>-1</sup> )	FM (días)	APTA (cm)	MCOB (%)	MAZPP No.	MP (%)	H (%)
CMSelTar	2	9.900 a †	80.8 a	236.5 abc	19.1 a	1.0 abc	6.6 a	19.1 a
PobMej	2	9.770 a	79.8 ab	226.3 abc	14.2 ab	1.1 a	7.1 a	18.6 ab
CMSelPre	2	8.870 ab	75.7 c	236.7 abc	8.7 ab	1.0 ab	4.4 a	17.5 ab
T2Cafime	3	7.780 bc	71.7 d	220.5 bc	18.9 a	1.1 ab	5.9 a	15.7 b
Jaguey	1	7.740 bc	77.2 bc	256.7 a	10.5 ab	0.8 c	10.2 a	18.6 ab
T1CPrecoz	3	7.250 bcd	69.3 d	212.5 c	7.3 ab	1.1 ab	6.0 a	16.6 ab
ProdSG2	1	7.170 bcd	77.0 bc	250.0 ab	11.9 ab	0.9 abc	9.4 a	16.8 ab
JagFHC	1	6.770 cd	75.2 c	225.0 bc	5.5 b	1.0 abc	10.7 a	17.0 ab
ProdSG1	1	6.670 cd	76.3 c	249.0 ab	10.1 ab	0.9 bc	8.7 a	17.6 ab
T3Van210	3	5.830 d	76.7 bc	205.8 c	13.8 ab	1.1 ab	10.6 a	15.9 b
Media		7.843	76.0	231.9	11.9	1.0	7.9	17.4
Tukey		1.703	3.2	31.1	11.9	0.2	6.7	3.2

† Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$  %); GPO = Grupo (1 = materiales criollos, 2 = materiales mejorados y 3 = testigos); RSEM = Rendimiento de semilla; FM = Floración masculina; APTA = Altura de planta; MCOB = Mala cobertura; MAZPP = Mazorcas por planta; MP = Mazorcas podridas; H = humedad en campo.

En lo respectivo a las variables morfológicas y de caracterización de mazorca, los cuadrados medios del análisis de varianza combinado (Cuadro 4.3) indican diferencia significativa en el factor localidad para las variables HAM (hojas arriba de la mazorca), DM (diámetro de la mazorca), DO (diámetro del olate), PMS (peso de mil semillas), PM (peso de la mazorca) y PSM (peso de las semillas); pero no habiendo diferencia significativa en las variables IAF (índice de área foliar), HLM (hileras en la mazorca), LM (longitud de mazorca), DESG (desgrane) y HS (contenido de humedad de la semilla); comprobando con este hecho, el efecto de cada ambiente en la morfología de la planta y las características de la mazorca.

Se encontró diferencia estadística ( $P \leq 0.01$ ) entre los genotipos para todas las variables morfológicas (Cuadro 4.3). Con respecto a la interacción entre localidad por genotipo, se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.01$ ) para las variables de los pesos (PMS, PM, PSM) y el contenido de humedad de la semilla (HS). Lo anterior indica que la variación entre los genotipos (materiales mejorados, criollos y testigos) se debe a la constitución genética, y que estos interactúan con el ambiente de evaluación en los componentes del rendimiento, incluyendo el contenido de humedad de las semillas, el cual está asociado con la precocidad de los materiales genéticos. Es decir, la morfología de la planta no fue influenciada por el ambiente.

El análisis de comparación de medias de las variables morfológicas (Cuadro 4.4), específicamente para la variable HAM, el grupo 2 presentó mayor

valor (cinco hojas en promedio) que los materiales criollos, cuya media osciló entre las cuatro hojas, demostrando con esto, la expresión genética del material mejorado, especialmente en aquellos genotipos producto de la cruce con germoplasma criollo (CMSelTar y CMSelPre).

Con respecto al índice de área foliar (IAF), el grupo 2 (PobMej, CMSeltar y CMSelPre) obtuvo el mayor índice de todos los genotipos evaluados, siendo PobMej con el mas alto valor. El grupo 1 presento mayor IAF en comparación de los testigos T2Cafime, T3Van-210 y T1CPrecoz, sobre todo el genotipo criollo JagFHC. El material criollo ProdSG2 obtuvo el menor IAF del grupo 1.

El material Jagüey (grupo 1) presentó el mayor número de hileras por mazorca (16.73) y el testigo Van210 el menor valor con 13.45. El resto de los materiales fueron estadísticamente iguales en esta variable. En promedio, los materiales criollos desarrollaron mazorcas de menor diámetro que los materiales mejorados, así como también, el grupo 1 obtuvo diámetros de olote menores que los del grupo 2 (Luna y Gutiérrez, 2000); esto se debe a las características que presentan los materiales mejorados. Aunado a esto, el grupo 2 presentó mayor peso de mil semillas que el grupo 1, mientras que para la variable peso de la mazorca, los genotipos criollos produjeron mazorcas de menor peso que los mejorados; esto se debe igualmente, a la contribución del material mejorado a la población criolla. El peso de las semillas del grupo 2 fue mayor (186.5 a 220.3), comparado con el grupo 1 (163 a 201.7, ProdSG1 y Jaguey respectivamente).

Todo lo anterior demuestra que los materiales mejorados desarrollaron una mazorca de mayor peso, con mayor peso de olote pero granos con mayor contenido de materia, lo cual se relaciona con el resultado obtenido en rendimiento (Cuadro 4.2).

En resumen, comparando los valores medios de los cuadros 4.2 y 4.4, se observó mejor desempeño agronómico y características de mazorca en los materiales mejorados (grupo 2). Sobre todo se observó el aporte genético en los materiales CMSelPre y CMSelTar, producto del cruzamiento entre la población criolla (Jaguey) y el material mejorado (PobMej), y la expresión del vigor híbrido, ya que tanto CMSelPre como CMSelTar superaron al progenitor Jaguey en cuanto a rendimiento de semilla, resultado similar al obtenido por Márquez (2002) y Rincón *et al.* (2002) al cruzar variedades criollas con mejoradas. Estos materiales también tuvieron mayor índice de área foliar, fueron más resistentes a la pudrición de mazorca y desarrollaron más hojas arriba de la mazorca; hecho que implica, mayor producción de fotosintatos y por consecuencia, mayor rendimiento.

Lo anterior indica que la estrategia de cruzar el material criollo con una población mejorada, es una buena opción para el mejoramiento genético de los materiales criollos (Ramírez *et al.*, 2003), siempre y cuando se aplique la selección subsecuente considerando los atributos de la población criolla adaptada.

Cuadro 4.3. Cuadros medios de los análisis de varianza de las variables morfológicas 2004.

F.V.	gl	HAM	IAF	gl	HILM	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	(g)	PSM (g)	DESG	HS (%)
Localidades (Loc)	1	13.2 *	13 412.0 ns	1	43.2 ns	51.1 ns	72.7 **	63.0 **	104 163.0 **	111 716.0 **	75 892.0 **	0.00 ns	28.1 ns
Bloques/Loc	4	0.9 ns	2 583.5 ns	4	8.1 ns	13.0 **	1.0 **	0.8 **	3 961.3 ns	1 934.9 ns	1 698.3 *	0.00 ns	29.1 **
Genotipos (Gen)	9	3.8 **	68 590.0 **	9	22.6 **	30.8 **	1.4 **	1.6 **	18 136.0 **	27 722.0 **	17 403.0 **	0.01 **	45.0 **
Loc X Gen	9	0.4 ns	10 058.0 ns	9	5.1 ns	2.6 ns	0.1 ns	0.2 ns	8 257.4 **	4 142.7 **	3 058.0 **	0.00 ns	44.5 **
Error	276	0.4	11 302.0	261	4.7	2.7	0.1	0.1	2 388.2	1 046.9	695.8	0.00	1.7
C.V. %		14.5	18.2		14.1	10.5	8.0	14.7	13.8	14.9	14.4	3.50	7.5

\*\* , \* = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente; ns = no significativo; FV = Fuentes de Variación; gl.= Grados de libertad; HAM = Hojas arriba de la mazorca; IAF = Índice de área foliar; HILM = Numero de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM =Diámetro de la mazorca; DO = Diámetro del olote; PMS = Peso de mil semillas; PM = Peso de la mazorca; PSM: Peso de las semillas; DESG = Desgrane; HS = Contenido de humedad de la semilla; C.V. = Coeficiente de Variación.

Cuadro 4.4. Comparación de medias de los genotipos evaluados para las variables morfológicas 2004.

GEN	GPO	HAM	IAF	HLM	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	(g)	(g)	DESG	HS (%)
PobMej	2	5.0 a†	695.5 a	16.1 ab	17.8 a	5.1 a	2.6 a	399.4 a	270.4 a	220.3 a	0.8 c	18.6 ab
CMSelPre	2	4.7 abc	581.2 bc	14.8 bc	15.6 bcd	4.7 bc	2.2 bc	379.7 ab	222.0 cd	186.5 bc	0.8 b	17.5 bc
CMSelTar	2	4.7 abc	633.1 ab	16.5 ab	16.5 ab	5.1 a	2.5 ab	378.4 ab	263.0 ab	222.7 a	0.9 ab	19.1 a
T1CPrecoz	3	4.1 de	539.6 c	14.6 bc	14.4 de	4.9 ab	2.7 a	369.5 abc	197.6 de	165.6 cd	0.8 bc	16.6 cde
ProdSG2	1	4.0 e	565.2 bc	15.7 ab	15.7 bcd	4.6 bc	2.0 c	347.8 bcd	213.3 cde	184.5 bcd	0.9 a	16.8 cd
T2Cafime	3	4.6 abcd	545.3 c	15.0 abc	15.9 bc	4.6 bc	2.4 ab	344.6 bcd	206.3 de	173.5 cd	0.8 ab	15.7 e
Jaguey	1	4.4 bcde	583.4 bc	16.7 a	16.7 ab	4.9 ab	2.3 bc	340.1 bcd	237.7 bc	201.7 ab	0.9 ab	18.6 ab
JagFHC	1	4.1 de	584.1 bc	15.9 ab	14.9 cde	4.7 bc	2.1 c	335.9 cd	193.0 e	166.3 cd	0.9 ab	17.0 cd
ProdSG1	1	4.3 cde	574.8 bc	15.0 abc	15.4 cde	4.5 cd	2.1 c	322.1 d	191.2 e†	163.0 d	0.9 ab	17.6 bc
T3Van210	3	4.8 ab	541.5 c	13.5 c	14.1 e	4.2 d	2.1 c	310.1 d	163.9 i	138.0 e	0.8 ab	15.9 de
Media		4.5	584.4	15.5	15.8	4.7	2.3	353.8	217.6	183.7	0.9	17.4
Tukey		0.5	87.6	1.9	1.4	0.3	0.3	41.7	27.6	22.5	0.0	1.1

† Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$  %). GEN = Genotipo; GPO = Grupo; HAM = Hojas arriba de la mazorca; IAF = Índice de área foliar; HLM = Número de hileras en la mazorca; LM = Longitud de mazorca; DM = Diámetro de la mazorca; DO = Diámetro del olote; PMS = Peso de mil semillas; PM = Peso de la mazorca; DESG = Desgreane; HS = Contenido de humedad de la semilla.

## Experimento 2. Estudio de laboratorio

### Prueba de germinación

Los cuadrados medios del ensayo de germinación de la semilla original (Cuadro 4.5), muestran una diferencia significativa entre genotipos ( $P \leq 0.01$ ) para las dos variables, debido a la variación de los materiales genéticos en la calidad fisiológica.

Cuadro 4.5. Cuadros medios de los análisis de varianza de los ensayos de germinación de semilla original. 2004.

F.V	GL	PC (%)	GERMINACIÓN (%)
Genotipos	9	334.40 **	371.60 **
Error	30	76.27	30.27
C.V. %		12.58	6.13

\*\* , \* = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente. ns = no significativo. F.V. = Fuentes de variación; G.L. = Grados de libertad; PC=Primer conteo a los 4 días; C.V. = Coeficiente de variación.

En la comparación de medias (Cuadro 4.6) específicamente en la variable PC (primer conteo), que es una prueba de vigor, el testigo T1CPrecoz obtuvo el mayor porcentaje en emergencia de plántulas (86 por ciento), seguido de los testigos T3Van210 (80 por ciento) y T2Cafime (75 por ciento). El material criollo Jaguey superó numéricamente en vigor al resto de los materiales, seguido de PobMej. El material criollo JagFHC presentó el menor por ciento de vigor con 58 por ciento.

Las medias de los materiales evaluados fueron estadísticamente iguales para la variable porcentaje de germinación, con excepción del material criollo ProdSG1, que tuvo el mas bajo valor de germinación. En los demás genotipos,

se encontró un patrón de los materiales mejorados a presentar mayor germinación (de 90 a 99 por ciento) que los criollos (de 66 a 89 por ciento).

Las diferencias numéricas observadas en vigor y germinación entre los materiales mejorados y los criollos, indican la habilidad de los primeros para emerger y desarrollar una plántula normal en menor tiempo, bajo condiciones controladas, además del tamaño de la semilla, que está directamente relacionada con estas variables. A este respecto, Estrada *et al.*, (1999) al cruzar dos líneas S<sub>2</sub> con diferente tipo de endospermo (uno dentado o cónico, y tipo harinoso o cacahuacintle), encontraron que las semillas de la descendencia presentaron mayor tamaño de semilla comercial (plano medio en un 8.28 por ciento), mayor calidad germinativa y mayor vigor (3 por ciento y 0.5 por ciento, respectivamente) con respecto a las líneas progenitoras.

Cuadro 4.6. Comparación de medias de los genotipos evaluados para germinación de semilla original. 2004.

GENOTIPO	GRUPO	PC (%)	GERMINACIÓN (%)
T1CPrecoz	3	86 a†	98 a
T3Van210	3	80 ab	86 a
T2Cafime	3	75 abc	95 a
Jaguey	1	75 abc	89 a
PobMej	2	67 abc	90 a
ProdSG2	1	65 abc	87 a
CMSeIPre	2	64 bc	99 a
CMSeITar	2	64 bc	98 a
ProdSG1	1	60 bc	66 b
JagFHC	1	58 c	89 a
Media		69	90
Tukey		21.07	13.27

† Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$  %). PC = Primer conteo a los 4 días.

Los cuadrados medios de los ensayos de germinación de las semillas obtenidas en las dos localidades estudiadas (Cuadro 4.7), reportan diferencia significativa ( $P \leq 0.01$ ) para las variables PC (primer conteo) y Germinación en las fuentes de variación ambientales, genotipos y la interacción ambientes x genotipos. Indicando la fuerte influencia de las condiciones climáticas en la calidad germinativa de la semilla.

Cuadro 4.7. Cuadros medios de los análisis de varianza de los ensayos de germinación 2004.

<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>PC (%)</b>	<b>GERMINACIÓN (%)</b>
Ambientes (Amb)	3	392.8 **	486.1 **
Genotipos (Gen)	9	135.3 **	93.3 **
Amb*Gen	26	110.2 **	82.9 **
Error	117	42.3	20.1
C.V. %		7.2	4.8

\*\*, \* = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente. ns = no significativo. F.V. = Fuentes de variación; G.L. = Grados de libertad; PC = Primer conteo a los 4 días; C.V. Coeficiente de variación.

En el cuadro de medias de la interacción genotipo-ambiente (Cuadro 4.8), con respecto a PC (primer conteo), en el ambiente uno, numéricamente el grupo 2 mostró el mejor desempeño de vigor en la emergencia de las plántulas (de 98 a 87 por ciento), sobre todo el genotipo PobMej, obtuvo el mayor porcentaje, mientras que el material CMSelPre fue el menos vigoroso. El grupo 1 de los materiales criollos obtuvieron rangos de vigor de 96 a 83 por ciento (Jaguey y ProdSG2, respectivamente). En el segundo ambiente, los genotipos que expresaron mayor vigor fueron los materiales criollos (Jaguey y ProdSG2 con 99 por ciento respectivamente). El material menos vigoroso fue JagFHC con 76 por ciento. En el ambiente tres, el material mas vigoroso fue el criollo

Jaguey (99 por ciento), seguido por los testigos T2Cafime y T3Van210 (96 por ciento respectivamente), el genotipo criollo de menor vigor lo presento ProdSG1. En el ambiente cuatro, el mayor vigor fue manifestado por el genotipo T2Cafime con 92 por ciento, seguido de los materiales CMSelPre, CMSelTar y JagFHC (88 por ciento). Los materiales con menor vigor fueron el testigo T1CPrecoz y ProdSG2.

En cuanto a germinación, en el ambiente uno los genotipos PobMej y el Testigo T3Van210 obtuvieron el mayor porcentaje (99), seguidos por los materiales criollos como Jaguey y JagFHC, además del testigo T2Cafime. El genotipo criollo ProdSG1 obtuvo el menor valor numérico. En el ambiente dos, los genotipos con mayor germinación fueron PobMej, el testigo T3Van210, y el criollo ProdSG1 (99 por ciento respectivamente), seguidos de Jaguey, CMSelTar, el testigo T1CPrecoz y ProdSG2 (98 por ciento respectivamente). El material criollo JagFHC presentó el menor valor de germinación con respecto a todos los materiales, e inclusive de los testigos (78 por ciento). En el ambiente tres, en cuanto a germinación, los materiales con mayor valor fueron Jaguey, T3Van210 y JagFHC (99 por ciento); el testigo T1CPrecoz obtuvo el menor porcentaje de germinación con respecto a todos los materiales evaluados. En el ambiente cuatro, el material mejorado CMSelTar obtuvo el mayor valor de todos (95 por ciento), seguido del testigo T2Cafime con 93 por ciento; el genotipo con el menor porcentaje de germinación fue ProdSG1.

Cuadro 4.8. Cuadro de medias de la interacción genotipo-ambiente para germinación en cuatro ambientes evaluados.

GENOTIPO	GRUPO	PC (%)				GERMINACIÓN (%)			
		AMB 1	AMB 2	AMB 3	AMB 4	AMB 1	AMB 2	AMB 3	AMB 4
PobMej	2	98 a <sup>†</sup>	86 a	95 a	87 a	99 a	99 a	97 ab	89 b
CMSelTar	2	93 a	92 a	88 a	88 a	95 a	98 a	95 a	95 a
CMSelPre	2	87 a	90 a	90 a	88 a	95 a	96 a	96 a	91 a
T2Cafime	3	98 a	94 a	96 a	92 a	98 a	97 a	98 a	93 a
T3Van210	3	95 a	92 a	96 a	DP	99 a	99 a	99 a	DP
T1CPrecoz	3	86 ab	96 a	91 ab	80 b	89 a	98 a	92 a	85 a
Jaguey	1	96 a	99 a	99 a	81 b	98 a	98 a	99 a	85 b
JagFHC	1	90 a	76 b	92 a	88 a	98 a	78 c	99 a	91 b
ProdSG1	1	85 a	96 a	87 a	81 a	88 ab	99 a	93 ab	82 b
ProdSG2	1	83 b	99 a	89 ab	80 b	92 ab	98 a	96 a	83 b
Media		91	92	92	85	95	96	96	88
Tukey		16	14	16	16	12	7	10	13

† Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$  %); PC = Primer conteo a los 4 días; Germ = Germinación en por ciento; AMB 1, 2 y 3 = Bloques de la localidad Celaya, Gto; AMB 4 = bloque de la localidad El Mezquite, N.L. DP = Datos perdidos.

En resumen, el efecto que tienen los diferentes ambientes en que se estudiaron los genotipos, nos indica la sensibilidad de éstos hacia las condiciones de producción; de aquí la importancia de establecer repeticiones dentro de una localidad y en diferentes localidades, con el fin de evaluar el desempeño del genotipo en cuestión y reducir el efecto del ambiente en los resultados, puesto que las condiciones edáficas y de topografía varían en cualquier terreno, siendo estas diferencias mas marcadas entre localidades.

Cabe mencionar que los ambientes 1, 2 y 3, que son bloques de la localidad Celaya, Gto, fueron los mejores en la máxima expresión de vigor y germinación de los genotipos mejorados (grupo 2, PobMej especialmente) y testigos mejorados (T3Van210 y T2Cafime), también en menor medida, en los genotipos criollos (Jaguey y ProdSG1). El ambiente 4, que es una repetición de la localidad de “El Mezquite”, N.L., se observó la misma tendencia de los

materiales mejorados en presentar el mayor vigor y germinación en comparación a los materiales criollos, aunque los valores de vigor y germinación, fueron menores que los ambientes 1, 2 y 3.

### Experimento 3. Estudio en invernadero

#### Medición de la actividad fotosintética

Los cuadrados medios del análisis de varianza para parámetros relacionados al estudio de la actividad fotosintética, se presentan en el Cuadro 4.9. Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para la variable A (tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ ) y  $P \leq 0.05$  para Tr (transpiración). Lo anterior indica que los genotipos evaluados difieren en la capacidad del mesófilo para fijar  $\text{CO}_2$  sin ser afectados en gran medida por limitaciones estomáticas.

Cuadro 4.9. Cuadrados medios del análisis de varianza para la medición de la actividad fotosintética.

FV	gl	A ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	ci ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ )	Tr ( $\text{mmol H}_2\text{O} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	ci/ca
Gen	9	6.76 **	0.004 ns	1062.90 ns	2.12 *	0.0074 ns
Error	37	1.54	0.002	624.28	0.94	0.0044
C.V. %		8.76	24.18	10.73	15.44	10.86

\*\*, \* = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05 respectivamente. ns = no significativo. FV. = Fuentes de Variación; gl = Grados de libertad; A = Tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ ;  $g_s$  = Conductancia estomática; ci =  $\text{CO}_2$  intercelular; Tr = Transpiración; ci/ca = relación entre el  $\text{CO}_2$  intercelular y asimilación de  $\text{CO}_2$ . Gen = Genotipo.

El cuadro de comparación de medias para A (Cuadro 4.10) indica que los materiales criollos Jaguey y ProdSG1 presentaron mayor capacidad en su actividad fotosintética ( $16.15$  y  $16.08 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente) ya que

la tasa de asimilación superó numéricamente a los testigos y a los materiales del grupo 2, y estadísticamente a JagFHC y ProdSG2 (13.34 y 12.34  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente), también materiales del grupo 1. Este resultado es apoyado por Gui-Rui *et al.* (2004) en donde indica que el mesófilo de la planta es el que controla la asimilación de  $\text{CO}_2$ , lo que marca la variabilidad entre las plantas.

Con relación a  $g_s$  (conductancia estomática), de acuerdo al análisis de varianza, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre genotipos, pero sí las hubo numéricas; el genotipo ProdSG1 fue superado numéricamente por el testigo Cafime (0.22 y 0.26  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente) quien obtuvo el mayor valor del resto. El genotipo Jaguey y el testigo CPrecoz obtuvieron el mismo valor numérico (0.19  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), siendo superados por el testigo Van210 (0.21  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y PobMej (0.20  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); los genotipos CMSelPre y JagFHC presentaron también los mismos valores (0.18  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), superando al genotipo CMSelTar (0.17  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). El genotipo ProdSG2 presentó el menor valor (0.15  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) difiriendo del testigo T2 Cafime en un 57.7 por ciento. Lo anterior permite definir que el genotipo en mención presenta limitaciones estomáticas, ya que el valor obtenido es reducido, lo cual indica una resistencia a la entrada de  $\text{CO}_2$  a la planta a través de los estomas.

La concentración de  $\text{CO}_2$  intercelular ( $C_i$ ), al relacionarlo con la tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ) y la conductancia estomática ( $g_s$ ), nos proporciona

información sobre las limitaciones impuestas por la misma planta a nivel del mesófilo o por el cierre de los estomas. De acuerdo a los resultados, no se presentaron diferencias significativas entre genotipos para  $C_i$ ; numéricamente los genotipos Jagüey y ProdSG2 presentaron los menores valores con 219 y 214  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ , respectivamente. Sin embargo,  $A$  fue menor en ProdSG2 con  $12.34 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en comparación con Jagüey, que obtuvo  $16.15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . La diferencia en  $A$  fue de 23.4 %, lo que indica que Jagüey presenta un mesófilo más eficiente que ProdSG2.

Lo anterior se puede confirmar con los valores de  $g_s$ , ya que son estadísticamente iguales y difieren en  $0.04 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Esto nos indica que no se presentó limitación estomática en ambos genotipos, sino que la diferencia se debió, como se mencionó anteriormente, a la capacidad del mesófilo.

El testigo T2Cafime presentó un valor alto de  $C_i$  ( $265.40 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) y de  $g_s$  ( $0.26 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), en comparación con los materiales criollos y los mejorados; lo anterior indica que presenta limitación en el mesófilo y no estomática.

Cuadro 4.10. Comparación de medias de los genotipos evaluados para la medición de la actividad fotosintética.

GEN	GPO	A ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Ci ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ )	Tr ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Ci/Ca
Jaguey	1	16.15 a <sup>†</sup>	0.19 ab	219.00	6.43 ab	0.58
ProdSG1	1	16.08 a	0.22 ab	231.75	7.21 ab	0.61
T3 Van210	3	15.40 ab	0.21 ab	229.25	6.61 ab	0.61
T2Cafime	3	14.12 abc	0.26 a	265.40	7.47 a	0.70
CMSelTar	2	14.10 abc	0.17 ab	220.40	5.70 ab	0.58
obMej	2	14.10 abc	0.20 ab	239.40	6.17 ab	0.63
CMSelPre	2	13.94 abc	0.18 ab	226.40	6.20 ab	0.60
T1CPrecoz	3	13.68 abc	0.19 ab	241.80	6.12 ab	0.64
JagFHC	1	13.04 bc	0.18 ab	236.60	5.94 ab	0.62
ProdSG2	1	12.34 c	0.15 b	214.00	5.23 b	0.56
Media		14.19	0.19	232.77	6.28	0.61
Tukey		2.74	0.10	55.10	2.14	0.15

† Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$  %). A = Tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ ;  $g_s$  = conductancia estomática; Ci =  $\text{CO}_2$  intercelular; Tr = Transpiración; Ci/Ca = relación entre el  $\text{CO}_2$  intercelular y asimilación de  $\text{CO}_2$ .

Con relación a la tasa de transpiración ( $Tr$ ), se observó un rango de 5.23 (ProdSG2) a 7.47  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (T2Cafime). El resto de los genotipos mantuvo valores intermedios, sin tendencias entre grupos genéticos.

La variable  $C_i/C_a$  no presentó diferencias significativas entre genotipos, sin embargo, los hubo numéricos. Se observaron valores entre 0.56 (ProdSG2) y 0.70 (T2Cafime); Jagüey obtuvo 0.58, valor que se relaciona con su capacidad para fijar  $\text{CO}_2$  en el proceso fotosintético.

Relacionando los resultados de la evaluación fotosintética (Cuadro 4.10) con los de rendimiento (Cuadro 4.2), se observa que, a pesar de que los materiales criollos Jagüey y ProdSG1 (grupo 1) tuvieron mayor capacidad en el mesófilo para fijar  $\text{CO}_2$  que los mejorados (grupo 2), e inclusive con los testigos (grupo 3), el rendimiento fue mayor en las poblaciones mejoradas, específicamente CMSelTar y PobMej, esto se puede atribuir a que los materiales criollos desarrollaron mayor altura de planta (Jagüey con 256.7, ProdSG1 con 249.0 y ProdSG2 con 250 cm) y menor número de hojas arriba de la mazorca, requiriendo mayor cantidad de fotosintatos para aumentar la altura con menor número de hojas, reflejándose en la calidad física de las mazorcas, que fueron de menor diámetro y peso que las de los materiales mejorados.

### Velocidad de emergencia

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables relacionadas con la velocidad de emergencia, se muestran en el Cuadro 4.11. Se observó diferencia significativa ( $P \leq 0.01$ ) en todas las variables en la fuente de variación genotipos, indicando que los materiales estudiados difieren en el desarrollo de plúmula y radícula, repercutiendo en la producción de materia seca y velocidad de emergencia.

Cuadro 4.11. Cuadrados medios del análisis de varianza para la medición de Índice de Velocidad de Emergencia (IVE).

FV	gl	LP (cm)	LR (cm)	gl	IVE	E (%)	PF (g/plántula)	PS (g/plántula)
GENOTIPOS	9	183.51 **	132.00 **	9	0.57 **	522.17 **	0.91 **	0.005 **
ERROR	190	15.73	19.80	30	0.08	74.44	0.10	0.001
C.V. %		16.67	29.29		10.79	9.75	16.61	18.54

\*\* , \* = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente. ns = no significativo. FV = Fuentes de variación; gl = Grados de libertad; LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; IVE = Índice de velocidad de emergencia; E = Emergencia en el último conteo; PF = Peso fresco; PS = Peso seco; C.V. = Coeficiente de variación.

El análisis de comparación de medias (Cuadro 4.12), para la variable LP (longitud de plúmula), no encontró diferencia notoria entre los dos grupos, sin embargo, el grupo 1 (Jagüey y ProdSG2) mostró mayor longitud de plúmula después del testigo T1CPrecoz. El mismo resultado se presenta en la variable LR (longitud de radícula), en donde no se observó una diferencia marcada entre los dos grupos, el testigo T1CPrecoz mostró nuevamente el mayor valor.

El índice de velocidad de emergencia (IVE) fue mayor en los dos testigos T1CPrecoz y T2Cafime, cuya población está constituida con materiales criollos y población mejorada respectivamente. Después de estos, los materiales con los mayores valores fueron la población criolla Jaguey y las combinaciones de ésta con la población mejorada (CMSelPre y CMSelTar), así como ProdSG2. El testigo T3Van210 obtuvo el menor índice de emergencia.

En el por ciento de emergencia (E), el testigo T1CPrecoz presentó el mayor valor y fue estadísticamente igual a los genotipos del grupo 2 y al testigo T2Cafime. El genotipo criollo ProdSG1 mostró la menor emergencia en un periodo de 8 días después de la siembra.

En el peso seco (PS), el testigo T1CPrecoz, produjo mayor materia seca por plántula, el grupo 1 mostró una tendencia de producir mayor materia seca que los materiales del grupo 2. El testigo T3Van210 fue el menor productor de materia seca del total de los genotipos.

En resumen, los materiales criollos tienen mayor longitud de plúmula y radícula, además de presentar mayor contenido de materia seca (Estrada *et al.*, 1999, en cruza de líneas  $S_2$  con diferente tipo de endospermo), comparado con los materiales mejorados, esto se debe a que estos últimos están adaptados a condiciones benéficas o de riego, en donde se aplican todos los insumos, mientras que los materiales criollos están adaptados a condiciones adversas como lo es el de temporal, en donde estos materiales son muy nobles,

ya que resisten estas condiciones y además son mas eficientes en la producción de materia seca; esto se respalda con los resultados obtenidos en la medición de la actividad fotosintética, en donde los materiales criollos tuvieron un mesófilo muy eficiente en la fijación de CO<sub>2</sub>.

Cuadro 4.12. Comparación de medias de los genotipos evaluados para la medición del IVE.

GEN	GPO	LP (cm)	LR (cm)	IVE	E (%)	PF (g/plántula)	PS (g/plántula)
T1CPrecoz	3	27.08 a <sup>†</sup>	18.86 a	3.13 a	100.00 a	2.56 a	0.20 a
Jaguey	1	26.97 a	16.44 ab	2.85 a	90.00 ab	2.27 ab	0.16 abc
ProdSG2	1	26.13 a	14.27 bcd	2.73 ab	90.00 ab	2.03 abc	0.14 abc
CMSelPre	2	25.35 ab	17.33 ab	2.85 a	98.33 a	2.08 abc	0.14 abc
ProdSG1	1	24.12 abc	11.10 d	2.13 bc	66.67 c	1.65 bcd	0.13 bcd
T2Cafime	3	24.12 abc	15.92 abc	2.88 a	96.67 a	2.11 abc	0.15 abc
CMSelTar	2	24.07 abc	17.80 ab	2.82 a	91.67 a	2.20 abc	0.17 ab
JagFHC	1	21.37 bcd	14.44 abcd	2.48 abc	86.67 abc	1.60 bcd	0.11 bcd
PobMej	2	21.28 cd	14.27 bcd	2.60 ab	95.00 a	1.48 cd	0.10 cd
T3Van210	3	17.36 d	11.52 cd	1.89 c	70.00 bc	0.92 d	0.07 d
Media		23.78	15.19	2.63	88.50	1.89	0.14
Tukey		4.02	4.51	0.69	20.81	0.76	0.06

<sup>†</sup> Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$  %). GEN = Genotipo; LP=Longitud de plúmula; LR=Longitud de radícula; IVE=Índice de velocidad de emergencia; E = Emergencia en el último conteo; PF = Peso fresco; PS = Peso seco.

## CONCLUSIONES

Con respecto a los objetivos y a las hipótesis planteadas en la presente investigación, se concluye lo siguiente:

De las estrategias de selección y manejo agronómico, la combinación de material criollo con mejorado (CMSelTar y CMSelPre) mostró un potencial de rendimiento sobresaliente en promedio, superando en un 32 por ciento la media de las poblaciones criollas. La combinación de criollo con mejorado selección precoz (CMSelPre) obtuvo un comportamiento similar a las poblaciones criollas en la altura de planta y días a madurez.

Las poblaciones criollas fueron más altas, y desarrollaron la mayor longitud de plúmula y por consiguiente, produjeron mayor contenido de materia seca. Las plantas criollas (Jaguey y ProdSG1) tienen la mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, es decir, fijan mayor cantidad de CO<sub>2</sub> del ambiente por metro cuadrado por segundo dentro de sus células para la realización de la fotosíntesis, pero no se refleja esta eficiencia en el rendimiento, debido posiblemente, a su altura y precocidad en su floración.

## LITERATURA CITADA

- Arias, M.D. y J.J. Sánchez, G. 1997. Diversidad genética y flujo genético entre especies de *Zea* en México. In: Memoria del Taller Sobre Maíz Transgénico. Del 13 al 16 de Octubre. Serratos, J.A. y López, H.A. (eds). México, DF. 31 p.
- Bänzinger, M. and M. Cooper. 2001. Breeding for low input conditions and consequences for participatory plant breeding examples from tropical maize and wheat. *Euphytica*. Vol. 122 (3): 503-519.
- Bellon, M. R. 2002. Métodos de investigación participativa para evaluar tecnologías: Manual para científicos que trabajan con agricultores. CIMMYT (pub). México. 96 p.
- Estrada, G. J.A., A. Hernández L., F. Hernández O., A. Carballo C. y F.V. González C. 1999. Tipos de endospermo en maíz y su relación con la calidad de semilla. *Fitotec. Mex.* Vol 22(1):99-109.
- García, B.L.E. y M. Goodman, 2004. Evaluación de los efectos biológicos en la agricultura en México. pp. 1-3. Comisión Para la Cooperación Ambiental de América del Norte. En línea:[http://www.cec.org/pubs\\_docs/documents/index.cfm?varlan=espanol&ID=1425](http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=espanol&ID=1425).
- Godoi, R.E., V. Barrientos y E. Paterniani. 1996. Tres ciclos de la metodología de selección recurrente entre y dentro de familias de medios hermanos con semillas remanentes en una variedad experimental de maíz (*Zea mays* L.). *Rev. Investig. Agric.* No. 1. Fundación para la Investigación Agrícola, DANAC, Yaracuy, Venezuela.
- Gui-Rui, Y., W. Qiu-Feng and J.I.E. Zhuang. 2004. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. *J. Plant Physiol.* Vol. 161(3): 303-318.

- Guillén, P. L.A., C. Sánchez Q., S. Mercado D. y H. Navarro G. 2000. Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia*. 36:377-387.
- Hernández C.J.M. 1999. La diversidad del maíz mexicano y su conservación. In: 2do. Taller Nacional de Especialidades del Maíz. Dr. Mario E. Castro Gil. Del 9 al 10 de septiembre de 1999. UAAAN (ed). Saltillo, Coahuila, México. pp. 1-15.
- Holland, J.B., M.M. Goodman y F. Castillo G. (1996). Identification of agronomically superior Latin american maize accessions via multi-stage evaluations. *Crop Sci*. 36:778-784.
- Instituto Nacional Para la Educación de los Adultos (INEA). 1982. Los libros del maíz. Origen, Tradición y leyendas. Fausto Palm y Jorge Westendarp. Ed. Arbol, S.A. de C.V. México. 105 p.
- López I., L.A. 2005. Programa Fundamental para el Desarrollo Económico del Estado de México hacia el 2005 y de Competitividad Visión 2020. (Cluster del Maíz). ITESM (ed). México. 108 p. En línea: [www.sag.gob.hn/pdf/maizMEXICO.pdf](http://www.sag.gob.hn/pdf/maizMEXICO.pdf)
- Luna, F.M. y J.R. Gutiérrez S. 2000. Investigación fisiotécnica de maíz de temporal en la región alta del norte de México. *Fitotec. Mex*. Vol. 23: 195-210.
- Márquez S., F. 1990. Backcross theory of maize. I. Homozigosis and heterosis. *Maydica* 35:17-22.
- Márquez S., F. 1997. Conservación y uso de la diversidad del maíz. In: Memoria del Taller Sobre Maíz Transgénico. Del 13 al 16 de Octubre. Serratos, J.A. y López, H.A. (eds). México, DF. pp. 32-41.
- Márquez S., F. J.A. Carrera V., E. Barrera G., L. Sahún C. y M. Sierra M. 1999. Influencia del ambiente de selección en el mejoramiento de razas de maíz por retrocruza limitada. *Fitotec. Mex*. Vol. 22(1): 1-15.

- Márquez S., F., A. Carrera V., L. Sahagún C, E. Barrera (2000). Retrocruza limitada para el mejoramiento genético de maíces criollos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. 51 p.
- Márquez, S.F. 2002. Mejoramiento de tres razas de maíz para la Península de Yucatán bajo retrocruza limitada. In: Simposium IPGRI: Manejo de la diversidad cultivada en los agroecosistemas tradicionales. 13 al 16 de febrero del 2002. Mérida, Yuc. México. 47 p.
- Pérez, C. A., J. D. Molina G. y A. Martínez G. 2002. Selección masal para adaptación en razas de maíz en los Valles Altos de México: Cambios en el rendimiento y caracteres agronómicos. Investigación Agric. No. 7. Fundación para la Investigación Agrícola, DANAC, Yaracuy, Venezuela.
- Ramírez M., C.A., F. Márquez S., S.A. Rodríguez H. y J. Ron P. 2003. Comportamiento de retrocruzas divergentes y cruza entre retrocruzas de maíces criollos y mejorados. Fitotec. Mex. Vol. 26 (4) : 215-221.
- Rincón, S.F., H. De León C., N.A. Ruiz T. y J.L. Herrera A. 2002. Avances en el aprovechamiento de germoplasma de maíz bajo el enfoque de mejoramiento participativo. In: Simposium IPGRI: Manejo de la diversidad cultivada en los agroecosistemas tradicionales. 13 al 16 de febrero del 2002. Mérida, Yuc. México. 53 p.
- Rincón S,F. y N.A. Ruiz T. 2004. Comparación de estrategias de selección y manejo aplicadas a una población criolla de maíz. Fitotec. Mex. Vol. 27(1): 33 -37.
- Smith, M. E., F. Castillo G. and F. Gomez. 2001. Participatory plant breeding with maize in México and Honduras. Euphytica. Vol. 122 (3): 551-563.
- Tallury, S.P. and M.M. Goodman (1999). Experimental evaluation of the potencial of tropical germplasm for temperature maize improvement. Theor. Appl. Genet. 98:54-61.

## **Fotosíntesis y Calidad Fisiológica de Genotipos de Maíz Criollo Mejorado**

### **Photosynthesis and Physiological Quality of Maize Landraces Improvement Genotypes**

**Graciela Avila Uribe<sup>2</sup>, Norma Angélica Ruiz Torres<sup>1\*</sup>, Froylán Rincón Sanchez<sup>1</sup> y Adalberto Benavides Mendoza<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, C.P. 25315 Saltillo, Coahuila. México. Correo electrónico:nruiz@uaaan.mx. Tel: (01844) 4110236. <sup>2</sup>Maestría en Tecnología de Granos y Semillas. Departamento de Fitomejoramiento. <sup>3</sup>Departamento de Horticultura. \*Autor para correspondencia.

#### **Abstract**

The photosynthetic performance in plants and the physiological seed quality of seven improved maize landraces, generated by different selection and genetic improvement strategies were evaluated. The study was carried out in a greenhouse (25 °C of temperature) of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, in Buenavista, Saltillo, Coah. in summer of 2005, being used a determinador of portable photosynthesis system (LICOR-6400) with a flow of light calibrated to 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , the measurement was taken in the fifth leaf of the plants; the measured variables were: rate of assimilation of CO<sub>2</sub> (A), stomatal conductance (g<sub>s</sub>), intercellular CO<sub>2</sub> (ci), transpiration (Tr) and the relation of intercellular CO<sub>2</sub> and environmental CO<sub>2</sub> (ci/ca). For the physiological seeds quality test, the plumule and root length were determined (LP and LR respectively), the emergency speed index (IVE) as test of vigor, emergency percentage (E) as viability test, in addition to the fresh and dry weight (PF and PS respectively). In the photosynthesis study, significant differences were only found for A and Tr (P = 0,05). The landraces materials presented greater capacity in mesophillum to fix CO<sub>2</sub> that the improved ones. In the physiological quality test, significant differences were found in all the variables for all the genotypes. The landraces populations had greater LP and LR and greater dry matter content of

(PS) that the improved ones, due probably to the adaptation of the improved genotypes to beneficial conditions (irrigations and input application), whereas the landraces resist adverse environments like low rainfall conditions, besides the efficiency to produce dry matter and the capacity to fix more CO<sub>2</sub>.

*Key words: CO<sub>2</sub> assimilation, emergency speed index.*

## **Resumen**

Se evaluó el desempeño fotosintético y la calidad fisiológica de siete genotipos de maíz criollo mejorado, obtenidos bajo diferentes estrategias de selección y mejoramiento genético. El trabajo se llevó a cabo en invernaderos (25 °C de temperatura) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coah. en el verano del 2005, utilizando un determinador de fotosíntesis portátil marca LICOR-6400 con un flujo de luz calibrado a 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , y midiendo en la quinta hoja de las plantas durante 5 segundos; las variables medidas fueron: tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (A), conductancia estomática ( $g_s$ ), CO<sub>2</sub> intercelular (ci), transpiración (Tr) y Relación CO<sub>2</sub> intercelular y CO<sub>2</sub> ambiental (ci/ca). Para la calidad fisiológica de semillas de los genotipos, se determinó la longitud de plúmula y radícula (LP y LR respectivamente), el índice de velocidad de emergencia (IVE) como prueba de vigor, por ciento de emergencia (E) como ensayo de viabilidad, además del peso en fresco y seco (PF y PS respectivamente). En la medición de fotosíntesis se encontraron diferencias estadísticas para A y para Tr, no siendo así para el resto de las variables. Los materiales criollos presentaron mayor capacidad en el mesófilo para fijar CO<sub>2</sub> que los mejorados.

En la calidad fisiológica se encontraron diferencias significativas en todas las variables para todos los genotipos. Las poblaciones criollas tuvieron mayor LP y LR y mayor contenido de materia seca (PS) que los mejorados, debiéndose esto a que los genotipos mejorados están adaptados a

condiciones benéficas (riegos y aplicación de todos los insumos), mientras que los criollos resisten ambientes adversos como el temporal, además de ser eficientes en la producción de materia seca y en la fijación de CO<sub>2</sub>.

*Palabras clave: asimilación de CO<sub>2</sub>, índice de velocidad de emergencia.*

## **Introducción**

El mejoramiento genético del maíz ha sido una de las líneas de investigación agrícola de mayor consistencia y dinamismo en México (Guillén *et al.*, 2000); en el mejoramiento de maíces criollos se han utilizado métodos de mejoramiento genético como la hibridación, selección y la recombinación (Smith *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2002).

Sin embargo, el maíz criollo que se cultiva en México presenta bajo potencial productivo debido a las condiciones de temporal en el que es sembrado. A este respecto, Tallury y Godman (1999), indican que una buena opción para el mejoramiento de maíces criollos es el aprovechamiento de la heterosis para rendimiento, encontrándose por lo general en materiales de distinto origen.

Por su parte, Otegui *et al.*, (1995), mencionan que el rendimiento de los cultivos, está en función de la acumulación neta de CO<sub>2</sub> durante el ciclo de crecimiento.

Según Mooney *et al.*, (1991), en la producción de altos rendimientos en cualquier cultivo, no solo los factores intrínsecos de la planta, como lo es la cuestión genética, afecta al proceso fotosintético de la misma, también los factores ambientales (luz, humedad, CO<sub>2</sub>, entre otros) influyen en dicho proceso. En un estudio realizado por Singh y Singh (1995) en sorgo, maíz y mijo perlado, se encontró que el rendimiento de materia seca tiene una relación positiva lineal con la fotosíntesis, además de ser el mejor parámetro para asegurar la producción de materia seca en las tres especies evaluadas.

Una opción que permite maximizar también el rendimiento y/o calidad de la producción en los cultivos es el conocimiento del vigor, como componente de la calidad fisiológica de la semilla (Hampton y Coolbear, 1990). La calidad fisiológica de la semilla se puede evaluar mediante variables como son la velocidad de emergencia, los porcentajes de viabilidad y germinación (Hernández *et al.*, 2000) Sin embargo, dicha calidad se puede ver alterada por la constitución genética de las plantas (Estrada *et al.*, 1999).

Debido al efecto de la genética en la fotosíntesis de la planta y en la calidad fisiológica de sus semillas, los objetivos de esta investigación fueron evaluar el desempeño fotosintético y la calidad fisiológica de siete genotipos de maíz criollo mejorado, como efecto de diferentes estrategias de selección y mejoramiento genético.

### **Materiales y Métodos**

El experimento fue establecido en el mayo del 2005, en un invernadero a 25 °C de temperatura y 75 % de humedad relativa, ubicado en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en Buenavista, Saltillo, Coahuila. El material genético estuvo conformado por 10 genotipos de maíz criollo, de los cuales tres representan variantes de un material criollo adaptado a Jagüey de Ferniza, Saltillo, Coah. (Jaguey); dos de ellas obtenidas por métodos de producción de semilla (ProdSG1 y ProdSG2, primer y segundo ciclo de producción, respectivamente) y una por selección de familias de hermanos completos (JagFHC) y el material criollo; dos genotipos resultado de combinaciones entre una población mejorada experimental (PobMej) y el criollo, seleccionados para madurez precoz (CMSelPre) y tardía (CMSelTar), y tres testigos constituidos por dos variedades mejoradas (T2Cafime y T3Van-210) y uno compuesto (T1CPrecoz).

Se utilizó como sustrato Pro-mix PGX Premier mezclado con Vermiculita en una proporción de 1: 3, sembrándose dos semillas por maceta y 5 repeticiones por material. Se realizaron aplicaciones de fertilizante foliar de fórmula 20-20-20 en una dosis de 49 g en cinco litros de agua, aplicándose aproximadamente 10 ml de la solución por maceta, una vez por semana a partir de la segunda semana de sembradas. Para el control de plagas, específicamente de mosquita blanca, se aplicó insecticida, en una dosis de 2 ml/litro de agua, rociándose con un atomizador en las hojas y a chorro en el sustrato una vez por semana a partir de la tercer semana de nacidas las plantas, esto con la finalidad de controlar el ataque de esta plaga alojada en un cultivo de orégano vecino y que estaba atacando también las unidades experimentales.

La medición de fotosíntesis fue realizada en la quinta hoja de las plantas con el determinador portátil marca LICOR-6400, previamente calibrado, con el tubo de la soda en posición “full scrub” y el tubo del desecante en “full bypass” y con el flujo de luz calibrado a  $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; la lectura fue tomada una vez que el valor permaneció constante en la pantalla en un lapso de cinco segundos. Las variables medidas fueron: tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  (A) , expresado en  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; conductancia estomática ( $g_s$ ), expresada en  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $\text{CO}_2$  intercelular (ci) en  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ; transpiración (Tr) expresada en  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y relación entre el  $\text{CO}_2$  intercelular y  $\text{CO}_2$  en el ambiente (ci/ca).

En cuanto a la determinación de calidad fisiológica, el estudio se realizó en un invernadero en las mismas condiciones de temperatura y humedad que el anterior, y ubicado también dentro de la universidad, con riego aplicado cada tercer día en forma manual. La siembra se realizó en una cama de concreto forrada con plástico de 0.85 m de ancho por 3.20 m de largo y como sustrato se empleó Pro-mix PGX Premier. Se sembraron cuatro repeticiones de 15 semillas por cada material

a una profundidad uniforme de 3 cm y distancia de planta a planta de 5 cm, con humedad a capacidad de campo. Se realizaron conteos diarios del número de plántulas emergidas, para mayor precisión de la prueba, los conteos se realizaron a la misma hora. El índice de velocidad de emergencia es una prueba de vigor, y fue determinada por el conteo de las plántulas emergidas, empleándose la siguiente fórmula:

$$\text{I.V.E.} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{No. de plántulas normales al conteo } i\text{-ésimo}}{\text{No. de días desde la siembra al conteo } i\text{-ésimo}}$$

La determinación del por ciento de emergencia (ensayo de viabilidad) se realizó tomando en cuenta el número de plantas totales emergidas en el último conteo, empleándose la siguiente fórmula:

$$\% E = \frac{\text{Plántulas emergidas en el último conteo} \times 100}{\text{No. semillas sembradas en la repetición } n\text{-ésima}}$$

Una vez determinada esta variable, se sacaron, con sumo cuidado, tres repeticiones de cinco plántulas con su raíz completa, de cada material, se les midió la longitud de plúmula y radícula (LP y LR, respectivamente) a cada plántula individualmente, y posteriormente se determinó el peso fresco de las cinco plántulas por repetición. Seguido, se utilizó una estufa a una temperatura de 75 °C durante 24 horas para secar las muestras pesadas de las plántulas y finalmente se pesaron en una balanza analítica previamente calibrada.

### **Análisis estadístico**

Los datos de de todas las variables evaluadas se procesaron bajo el paquete de computación Statistical Analysis System (SAS, 1999), de acuerdo al diseño experimental completamente al azar. Se realizaron los análisis de varianza respectivos y para las fuentes de variación que

resultaron significativas estadísticamente, se efectuó la correspondiente comparación de medias de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

## **Resultados y Discusión**

Con el fin de interpretar los resultados de una manera clara, se clasificaron los genotipos en tres grupos: Grupo 1: Jaguey, JagFHC, ProdSG1 y ProdSG2; grupo 2: PobMej, CMSelPre y CMSelTar y grupo 3: T1CPrecoz, T2Cafime y T3Van210.

### **Fotosíntesis**

Se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ , Cuadro 1) entre genotipos para la variable A y Tr. Lo anterior indica que los genotipos evaluados difieren en la capacidad del mesófilo para fijar CO<sub>2</sub> sin ser afectados en gran medida por limitaciones estomáticas.

El cuadro de comparación de medias para A (Cuadro 2) indica que los materiales criollos Jaguey y ProdSG1 presentaron mayor capacidad fotosintética, ya que la tasa de asimilación superó numéricamente a los testigos y a los materiales del grupo 2, y estadísticamente a JagFHC y ProdSG2. Este resultado es apoyado por Gui-Rui *et al.* (2004) en donde indica que el mesófilo de la planta es el que controla la asimilación de CO<sub>2</sub>, lo que marca la variabilidad entre las plantas. Con relación a  $g_s$ , de acuerdo al análisis de varianza, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre genotipos, pero sí las hubo numéricas; el genotipo ProdSG1 fue superado numéricamente por el testigo Cafime, quien obtuvo el mayor valor del resto. El genotipo Jaguey y el testigo CPrecoz obtuvieron el mismo valor numérico, siendo superados por el testigo Van210 y PobMej; los genotipos CMSelPre y JagFHC presentaron también los mismos valores, superando al genotipo CMSelTar. El genotipo ProdSG2 presentó el menor valor, difiriendo del

testigo T2 Cafime en un 57.7 por ciento. Lo anterior permite definir que el genotipo en mención presenta limitaciones estomáticas, ya que el valor obtenido es reducido, lo cual indica una resistencia a la entrada de CO<sub>2</sub> a la planta a través de los estomas. La concentración de CO<sub>2</sub> intercelular (C<sub>i</sub>), al relacionarlo con A y g<sub>s</sub>, nos proporciona información sobre las limitaciones impuestas por la misma planta a nivel del mesófilo o por el cierre de los estomas. De acuerdo a los resultados, no se presentaron diferencias significativas entre genotipos para C<sub>i</sub>; numéricamente los genotipos Jagüey y ProdSG2 presentaron los menores valores. Sin embargo, A fue menor en ProdSG2 en comparación con Jagüey. La diferencia en A fue de 23.4 %, lo que indica que Jagüey presenta un mesófilo más eficiente que ProdSG2. Lo anterior se puede confirmar con los valores de g<sub>s</sub>, ya que son estadísticamente iguales y difieren en 0.04 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Esto nos indica que no se presentó limitación estomática en ambos genotipos, sino que la diferencia se debió, como se mencionó anteriormente, a la capacidad del mesófilo. El testigo T2Cafime presentó un valor alto de C<sub>i</sub> y de g<sub>s</sub>, en comparación con los materiales criollos y los mejorados; lo anterior indica que presenta limitación en el mesófilo y no estomática. Con relación a Tr, se observó el más alto valor en el testigo T2Cafime, y la menor transpiración en ProdSG2. El resto de los genotipos mantuvo valores intermedios, sin tendencias entre grupos genéticos. La variable C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> no presentó diferencias significativas entre genotipos, sin embargo, los hubo numéricos; el valor que obtuvo Jagüey, se relaciona con su capacidad para fijar CO<sub>2</sub> en el proceso fotosintético.

### **Calidad fisiológica**

Los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables relacionadas con la velocidad de emergencia, se muestran en el Cuadro 3. Se observó diferencia significativa en todas las variables en la fuente de variación genotipos, indicando que los materiales estudiados difieren en el

desarrollo de plúmula y radícula, repercutiendo en la producción de materia seca y velocidad de emergencia. El análisis de comparación de medias (Cuadro 4), para la variable LP, no encontró diferencia notoria entre los dos grupos, sin embargo, el grupo 1 (Jagüey y ProdSG2) mostró mayor longitud de plúmula después del testigo T1CPrecoz. El mismo resultado se presenta en la variable LR, en donde no se observó una diferencia marcada entre los dos grupos, el testigo T1CPrecoz mostró nuevamente el mayor valor. El IVE fue mayor en los dos testigos T1CPrecoz y T2Cafime, cuya población está constituida con materiales criollos y población mejorada respectivamente. Después de estos, los materiales con los mayores valores fueron la población criolla Jagüey y las combinaciones de ésta con la población mejorada (CMSelPre y CMSelTar), así como ProdSG2. El testigo T3Van210 obtuvo el menor índice de emergencia. En la variable E, el testigo T1CPrecoz presentó el mayor valor y fue estadísticamente igual a los genotipos del grupo 2 y al testigo T2Cafime. El genotipo criollo ProdSG1 mostró la menor viabilidad en un periodo de 8 días después de la siembra. En cuanto a PS, el testigo T1CPrecoz, produjo mayor materia seca por plántula, el grupo 1 mostró una tendencia de producir mayor materia seca que los materiales del grupo 2. El testigo T3Van210 fue el menor productor de materia seca del total de los genotipos.

## **Conclusiones**

Los materiales criollos tienen mayor longitud de plúmula y radícula, además de presentar mayor contenido de materia seca (Estrada *et al.*, 1999, en cruzas de líneas S<sub>2</sub> con diferente tipo de endospermo), comparado con los materiales mejorados, esto se debe a que estos últimos están adaptados a condiciones benéficas o de riego, en donde se aplican todos los insumos, mientras que los materiales criollos están adaptados a condiciones adversas como lo es el de temporal, en

donde estos materiales son muy nobles, ya que resisten estas condiciones y además son mas eficientes en la producción de materia seca; esto se respalda con los resultados obtenidos en la medición de fotosíntesis, en donde los materiales criollos tuvieron un mesófilo muy eficiente en la fijación de CO<sub>2</sub>.

### **Literatura citada**

1. Estrada, G. J.A., A. Hernández L., F. Hernández O., A. Carballo C. y F.V. González C. 1999. Tipos de endospermo en maíz y su relación con la calidad de semilla. *Fitotec. Mex.* Vol 22(1):99-109.
2. Gui-Rui, Y., W. Qiu-Feng and J.I.E. Zhuang. 2004. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. *J. Plant Physiol.* Vol. 161(3): 303-318.
3. Guillén, P. L.A., C. Sánchez Q., S. Mercado D. y H. Navarro G. 2000. Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia.* 36:377-387.
4. Hampton, J. G and P. Coolbear. 1990. Potential versus actual seed performance –can vigour testing provide an answer?. *Seed Sci. And Technol.* 18 (1): 215-228.
5. Hernández, G. J.A., A. Carballo C., A. Hernández L. y F. V. González C. 2000. Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición del vigor en semilla de maíz. *Fitotec. Mex.* Vol. 23: 239-250.
6. Mooney, A. H., W. E. Winnor, and E. J. Pell. 1991. Response of plants to multiple stress. Academic Press. Inc. CA. USA. 257 p.
7. Otegui, M. E., M. G. Nicolini, R. A. Ruiz, and P. A. Dodds. 1995. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. *Agron. J.* 87: 29-33.
8. Pérez, C. A., J. D. Molina G. y A. Martínez G. 2002. Selección masal para adaptación en razas de maíz en los Valles Altos de México: Cambios en el rendimiento y caracteres agronómicos. *Investigación Agric. No. 7.* Fundación para la Investigación Agrícola, DANAC, Yaracuy, Venezuela.
9. SAS (1999) SAS OnlineDoc®, Versión 8, Cary, NC. SAS Institute Inc.

10. Singh, B. R., and D. P. Singh. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Research*. Vol. 42: 57-67.
11. Smith, M. E., F. Castillo G. and F. Gómez. 2001. Participatory plant breeding with maize in México and Honduras. *Euphytica*. Vol. 122 (3): 551-563.
12. Tallury, S. P. and M. M. Goodman. 1999. Experimental evaluation of the potencial of tropical germplasm for temperature maize improvement. *Theor. Appl. Genet.* 98:54-61.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para la medición de fotosíntesis.

FV	gl	A ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	ci ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ )	Tr ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	ci/ca
Gen	9	6.76 **	0.004 ns	1062.90 ns	2.12 *	0.0074 ns
Error	37	154	0.002	624.28	0.94	0.0044
C.V. %		8.76	24.18	10.73	15.44	10.86

\*, \* = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05 respectivamente. ns = no significativo. FV = Fuentes de Variación; gl = Grados de libertad; A = Tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>;  $g_s$  = Conductancia estomática; ci = CO<sub>2</sub> intercelular; Tr = Transpiración; ci/ca = relación entre el CO<sub>2</sub> intercelular y asimilación de CO<sub>2</sub>. Gen = Genotipo.

Cuadro 2. Comparación de medias de los genotipos evaluados para fotosíntesis.

GEN	GPO	A ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	$g_s$ ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Ci ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ )	Tr ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Ci/Ca
Jaguey	1	16.15 a <sup>†</sup>	0.19 ab	219.00	6.43 ab	0.58
ProdSG1	1	16.08 a	0.22 ab	231.75	7.21 ab	0.61
T3 Van210	3	15.40 ab	0.21 ab	229.25	6.61 ab	0.61
T2Cafime	3	14.12 abc	0.26 a	265.40	7.47 a	0.70
CMSelTar	2	14.10 abc	0.17 ab	220.40	5.70 ab	0.58
PobMej	2	14.10 abc	0.20 ab	239.40	6.17 ab	0.63
CMSelPre	2	13.94 abc	0.18 ab	226.40	6.20 ab	0.60
T1CPrecoz	3	13.68 abc	0.19 ab	241.80	6.12 ab	0.64
JagFHC	1	13.04 bc	0.18 ab	236.60	5.94 ab	0.62
ProdSG2	1	12.34 c	0.15 b	214.00	5.23 b	0.56
Media		14.19	0.19	232.77	6.28	0.61
Tukey		2.74	0.10	55.10	2.14	0.15

<sup>†</sup>Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$  %).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza para la medición de Índice de Velocidad de Emergencia (IVE).

FV	gl	LP (cm)	LR (cm)	gl	IVE	E (%)	PF (g/plántula)	PS (g/plántula)
GENOTIPOS	9	183.51 **	132.00 **	9	0.57 **	522.17 **	0.91 **	0.005 **
ERROR	190	15.73	19.80	30	0.08	74.44	0.10	0.001
C.V. %		16.67	29.29		10.79	9.75	16.61	18.54

\*, \* = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente. ns = no significativo. FV = Fuentes de variación; gl = Grados de libertad; LP = Longitud de plúmula; LR = Longitud de radícula; IVE = Índice de velocidad de emergencia; E = Emergencia en el último conteo; PF = Peso fresco; PS = Peso seco; C.V. = Coeficiente de variación.

Cuadro 4. Comparación de medias de los genotipos evaluados para la medición del IVE.

GEN	GPO	LP (cm)	LR (cm)	IVE	E (%)	PF (g/plántula)	PS (g/plántula)
T1CPrecoz	3	27.08 a†	18.86 a	3.13 a	100.00 a	2.56 a	0.20 a
Jaguey	1	26.97 a	16.44 ab	2.85 a	90.00 ab	2.27 ab	0.16 abc
ProdSG2	1	26.13 a	14.27 bcd	2.73 ab	90.00 ab	2.03 abc	0.14 abc
CMSelPre	2	25.35 ab	17.33 ab	2.85 a	98.33 a	2.08 abc	0.14 abc
ProdSG1	1	24.12 abc	11.10 d	2.13 bc	66.67 c	1.65 bcd	0.13 bcd
T2Cafime	3	24.12 abc	15.92 abc	2.88 a	96.67 a	2.11 abc	0.15 abc
CMSelTar	2	24.07 abc	17.80 ab	2.82 a	91.67 a	2.20 abc	0.17 ab
JagFHC	1	21.37 bcd	14.44 abcd	2.48 abc	86.67 abc	1.60 bcd	0.11 bcd
PobMej	2	21.28 cd	14.27 bcd	2.60 ab	95.00 a	1.48 cd	0.10 cd
T3Van210	3	17.36 d	11.52 cd	1.89 c	70.00 bc	0.92 d	0.07 d
Media		23.78	15.19	2.63	88.50	1.89	0.14
Tukey		4.02	4.51	0.69	20.81	0.76	0.06

Valores con la misma letra son iguales estadísticamente (Tukey  $\alpha = 0.05$  %). GEN = Genotipo.