

**APTITUD COMBINATORIA PARA VIGOR DE SEMILLA
Y CARACTERES AGRONÓMICOS DE MAÍZ
DE VALLES ALTOS**

MIGUEL ANGEL AVILA PERCHES

TESIS

Presentada como requisito parcial
para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro
PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coahuila
Junio de 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIRECCIÓN DE POSTGRADO

**APTITUD COMBINATORIA PARA VIGOR DE SEMILLA Y CARACTERES
AGRONÓMICOS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS**

TESIS

POR

MIGUEL ANGEL AVILA PERCHES

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal _____
Dr. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera

Asesor: _____
Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Asesor: _____
Dr. Fernando Borrego Escalante

Asesor: _____
Dr. Alejandro Javier Lozano del Río

Asesor: _____
Dr. Alfonso López Benítez

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado.

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio de 2008

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, que con sus aportaciones y recursos, ha hecho posible la creación y funcionamiento de instituciones públicas de educación e investigación agrícola.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por aceptarme entre sus filas y por el apoyo económico para la realización de los estudios de postgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para efectuar mis estudios de doctorado.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y en especial a todo el personal del Departamento de Fitomejoramiento

Al Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera por sus enseñanzas durante los estudios de doctorado, así como por su colaboración en la planeación, desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Mario E. Vázquez Badillo, por su apoyo durante la planeación y desarrollo de las pruebas realizadas en laboratorio.

A los demás miembros del comité particular de asesoría, Dr. Fernando Borrego Escalante, Dr. A. Javier Lozano del Río y Dr. Alfonso López Benítez, por sus enseñanzas y por su participación en la conformación del plan de estudios y de la investigación doctoral, así como, en la revisión de la presente tesis.

A todo el personal del Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la UAAAN, en especial al C. Jesús Zavala Betancourt, C. Manuel Villa Álvarez, T. A. Martha Alicia Arriaga García y T. A. Ana María Meza Riojas por su colaboración en el desarrollo de la presente investigación.

Al Dr. Alfredo de la Rosa Loera por sus aportaciones en el análisis estadístico de los resultados.

A la TLQ Sandra Luz García V. y a todo el personal del Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas (CCDTS) de la UAAAN por su colaboración.

A mis amigos y compañeros del postgrado: A. Josué Gámez V., J. Roberto A. Dorantes G. y Francisco Cárdenas por todo su apoyo y aportaciones.

DEDICATORIA

Con amor y respeto, a la memoria de mis padres:

Alfonso Avila Medina (†)

María Luisa Perches de Avila (†)

Por su amor, comprensión, apoyo y compañía, a mi esposa:

Rosa María Mexicano Reyes

Por ser mi alegría y razón de ser, a mis hijos:

Luis Mario y Rosa Marcela

Por su afecto y unión, a mis hermanos:

Guadalupe Alfonso y Antonio

COMPENDIO

**APTITUD COMBINATORIA PARA VIGOR DE SEMILLA Y CARACTERES
AGRONÓMICOS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS**

Miguel Angel Avila Perches

DOCTORADO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Junio de 2008.

Dr. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera -Asesor-

Palabras clave: *Zea mays* L., rendimiento de grano, calidad fisiológica de semilla, líneas endogámicas, cruzas simples, efectos recíprocos y maternos.

El objetivo de la presente investigación fue definir el tipo de acción génica involucrada, así como la influencia de los efectos recíprocos en la manifestación del vigor de semilla, rendimiento de grano y características agronómicas. En Metepec, Estado de México, en 2004 se realizaron cruzamientos dialélicos directos y recíprocos entre ocho líneas endogámicas de Valles Altos. Durante 2005, se evaluaron 56 híbridos simples y sus progenitores en dos ambientes (fechas de siembra). Además, se realizaron pruebas de laboratorio para estudiar la calidad fisiológica de la semilla. Se efectuaron análisis de varianza con los datos de las variables agronómicas y de vigor, asimismo, para el análisis genético se utilizó el método I modelo I de Griffing (1956a).

El análisis de varianza combinado de las dos fechas de siembra, detectó diferencias significativas para ambientes, genotipos y para la interacción genotipo por ambiente, además, los valores más altos en rendimiento de grano, días a floración masculina y en caracteres de mazorca y grano se presentaron en la fecha de siembra del 2 de abril, mientras que, la altura de planta y mazorca fueron mayores en la siembra establecida el 6 de mayo. En promedio de los dos ambientes de evaluación, la cruz 2 X 4 presentó la mayor producción de grano, con un rendimiento superior a 11 t ha^{-1} , además, este híbrido se situó en los materiales de menor altura de planta y mazorca y presentó buenas características de mazorca y grano, asimismo, hubo cuatro genotipos (4 X 1, 4 X 2, 1 X 2 y 3 X 1) quienes mostraron un rendimiento superior a las 10 t ha^{-1} . Los mayores valores en rendimiento de grano y caracteres agronómicos se

detectaron en las líneas endogámicas 3, 6, 7 y 1; además, estos progenitores sobresalieron por su comportamiento en las pruebas de vigor efectuadas.

En la mayoría de los caracteres agronómicos, los efectos genéticos no aditivos fueron de mayor importancia, no obstante, en las variables de calidad fisiológica de semilla se estimó la manifestación de estos y de los efectos aditivos, donde fueron relevantes en una proporción similar. Los mayores efectos positivos de ACG en la mayoría de los parámetros agronómicos se presentaron en los progenitores 1, 2 y 4, asimismo, las dos últimas líneas tuvieron valores negativos altos en altura de planta y mazorca.

Las cruzas 2 x 8, 8 X 4 y 4 X 1, que se ubicaron dentro de los híbridos de mayor rendimiento, presentaron valores altos de ACE para la mayoría de las variables agronómicas, además, el último genotipo mostró efectos negativos en porte de mazorca. En los caracteres agronómicos no fueron relevantes los efectos recíprocos, sin embargo, en todos los parámetros de calidad fisiológica de semilla fueron altamente significativos y dentro de estos, son importantes los factores maternos y no maternos.

ABSTRACT

**COMBINING ABILITY FOR SEED VIGOR AND AGRONOMIC TRAITS OF
MAIZE HIGHLANDS**

Miguel Angel Avila Perches

DOCTORAL OF SCIENCE IN PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila. June 2008.

Ph. D. Sergio Alfredo Rodríguez Herrera -Advisor-

Key words: *Zea mays* L., grain yield, seed physiological quality, inbred lines, simple crosses, reciprocal and maternal effects.

The objective of this research was to define the type of involved gene action and the influence of the reciprocal effects, in the expression of the seed vigor, grain yield and agronomic traits. At Metepec, State of México, at 2004 was carried out diallel crosses direct and reciprocals among eight maize inbred lines from highlands. Were evaluated 56 simple hybrids and their parents under two environments (two planting dates) during 2005. Also, in order to determine the physiological quality of the seed were made vigor test at the laboratory. Analysis of variance were carried out with the dates of agronomic characteristics and seed vigor, likewise, for the genetic analysis was used the method I and model I of Griffing (1956a).

Significant differences were detected at the combined analysis of variance of the two planting dates, for environments, genotypes and for the interaction between genotype and environment, moreover, at seeding date of April 2 were presented the highest values in grain yield, days to anthesis and ear and grain traits, whereas, the tall of plant and ear were bigger at seeding that was established at May 6. On the average of the two environment of evaluation, the cross 2 X 4 presented the highest grain production with a superior yield to 11 t ha^{-1} , moreover, this hybrid was ranked among the genotypes of smaller tall of plant and ear and was presented good characteristics of ear and grain, also, there were crosses (4 X 1, 4 X 2, 1 X 2 y 3 X 1) that showed a superior yield to 10 t. At inbred lines 3, 6, 7 and 1 were detected the highest values in grain yield and agronomic traits, also, these parents, stood out for their behaviour at vigor tests that were made.

In most of agronomic traits, the non additive genetic effects were of more importance, nevertheless, at the characteristics of physiological quality of seed was estimated that the manifestation of these and the additive effects are important in a similar proportion. The biggest positive effects of GCA in most of the parameters of agronomic performance were presented at the parents 1, 2 y 4, also, the last two inbred lines showed high negative values in plant height and ear.

The crosses 2 X 8, 8 X 4 and 4 X 1 that were located inside of the hybrids of more yield, it presented high values of SCA for most of the agronomic variables, moreover, the last genotype, it showed negative effects in plant height. Reciprocal effects were not important in agronomic characters, nevertheless, in all parameters of physiological quality of seed they were highly significant, and inside these, they are important the maternal and non maternal factors.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	v
COMPENDIO.....	vi
ABSTRACT.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	xii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Aptitud Combinatoria.....	5
Diseños Dialélicos.....	6
Influencia de los Efectos Genéticos en los Caracteres Agronómicos.....	8
Calidad de Semilla.....	17
Calidad Fisiológica de Semilla.....	18
Evaluación del Vigor de Semilla.....	19
Aptitud Combinatoria Relacionada con la Calidad Fisiológica de Semilla.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
Evaluación en Campo.....	34

Descripción del Área de Estudio.....	34
Material Genético.....	36
Siembra y Manejo Agronómico.....	37
Diseño Experimental y Tamaño de Parcela.....	38
Caracteres Cuantificados.....	38
Evaluación de la Calidad Fisiológica de Semilla.....	40
Análisis Estadísticos de los Resultados.....	43
Análisis Dialélico.....	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
Comportamiento del Clima.....	49
Análisis de Varianza.....	50
Comportamiento Agronómico.....	50
Variables de la Calidad Fisiológica de Semilla.....	59
Análisis Dialélico.....	65
Características Agronómicas.....	65
Parámetros de la Calidad Fisiológica de Semilla.....	79
CONCLUSIONES.....	99
RESUMEN.....	101
LITERATURA CITADA.....	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Líneas endogámicas de maíz de Valles Altos utilizadas como progenitores.	36
2	Cuadrados medios y su significancia de los análisis de varianza combinado de las características agronómicas estimadas en las evaluaciones en campo.	51
3	Promedios obtenidos en las dos fechas de siembra establecidas.	52
4	Valores promedio de las características agronómicas de 20 híbridos de mayor y tres cruzas de menor rendimiento de grano, incluidos en las cruzas dialélicas evaluadas en dos ambientes.	56
5	Valores promedio de las características agronómicas de las ocho líneas endogámicas progenitoras de las cruzas dialélicas evaluadas en dos ambientes.	58
6	Cuadrados medios y su significancia de los análisis de varianza de los caracteres de calidad fisiológica de semilla.	59
7	Promedios de las características de calidad fisiológica de semilla.	63
8	Suma de cuadrados (SC) y significancia del análisis dialélico combinado para características agronómicas.	68
9	Estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las ocho líneas endogámicas progenitoras de las cruzas dialélicas.	72
10	Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 20 híbridos de mayor y cuatro cruzas de menor rendimiento de grano incluidos en las cruzas dialélicas evaluadas en dos ambientes.	75
11	Efectos maternos para la variable rendimiento de grano (RG) de las ocho líneas endogámicas progenitoras de las cruzas dialélicas.	76

Cuadro	Descripción	Página
12	Estimación de los efectos recíprocos (arriba de la diagonal) y no maternos (debajo de la diagonal) para altura de planta (AP).	76
13	Estimación de los efectos recíprocos (arriba de la diagonal) y no maternos (debajo de la diagonal) para longitud de mazorca (LM).	77
14	Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica (arriba de la diagonal) y recíprocos (debajo de la diagonal) para peso volumétrico (PV).	78
15	Suma de cuadrados (SC) y significancia del análisis dialéctico combinado para calidad fisiológica de semilla.	82
16	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para germinación estándar (GE).	83
17	Estimación de los efectos no maternos (NMAT) y maternos (MAT) para germinación estándar (GE).	83
18	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para longitud de plúmula de germinación estándar (LPGE).	85
19	Estimación de los efectos no maternos y maternos para longitud de plúmula de germinación estándar (LPGE).	85
20	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para peso seco de plántula de germinación estándar (PSPGE).	86
21	Estimación de los efectos no maternos y maternos para peso seco de plántula de germinación estándar (PSPGE).	86
22	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para germinación después de envejecimiento acelerado (GEA).	88

Cuadro	Descripción	Página
23	Estimación de los efectos no maternos y maternos para germinación después de envejecimiento acelerado (GEA).	88
24	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para longitud de plúmula de germinación después de envejecimiento acelerado (LPGEA).	89
25	Estimación de los efectos no maternos y maternos para longitud de plúmula de germinación después de envejecimiento acelerado (LPGEA).	89
26	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para peso seco de plántula de envejecimiento acelerado (PSPEA).	91
27	Estimación de los efectos no maternos y maternos para peso seco de plántula de envejecimiento acelerado (PSPEA).	91
28	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para germinación después de prueba fría (GPF).	92
29	Estimación de los efectos no maternos y maternos para germinación después de prueba fría (GPF).	92
30	Estimación de efectos de aptitud ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para longitud de plúmula de germinación después de prueba fría (LPGPF).	94
31	Estimación de los efectos no maternos y maternos para longitud de plúmula de germinación después de prueba fría (LPGPF).	94
32	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para peso seco de plántula de prueba fría (PSPPF).	95
33	Estimación de los efectos no maternos y maternos para peso seco de plántula de prueba fría (PSPPF).	95

Cuadro	Descripción	Página
34	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para emergencia total en campo (ETC).	97
35	Estimación de los efectos no maternos y maternos para emergencia total en campo (ETC).	97
36	Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para índice de velocidad de emergencia (IVE).	98
37	Estimación de los efectos no maternos y maternos para índice de velocidad de emergencia (IVE).	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Condiciones climáticas en Metepec, México durante 2005.	35

INTRODUCCIÓN

En los Valles Altos (VA) de la Mesa Central de nuestro país, ubicados en los estados de México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro, Michoacán, Morelos y el Distrito Federal, con una altitud mayor a 2,200 metros sobre el nivel del mar (msnm), se siembran alrededor de 1.5 millones de hectáreas con maíz, lo cual representa cerca del 20 % de la superficie nacional establecida con este cultivo.

En dicha zona, sobresale por su importancia el Estado de México, ya que anualmente se cultivan cerca de 600,000 ha con maíz, el 80 % se establecen bajo condiciones de temporal y el resto en punta de riego, con un rendimiento medio estatal de 3.7 t ha^{-1} , por lo que, en la entidad se producen alrededor de 2.1 millones de toneladas de este cereal.

En el Estado de México, la zona más importante para maíz es el Valle de Toluca-Atlacomulco, ya que aquí se establece cerca del 50 % (300,000 ha) de la superficie estatal y se obtiene alrededor del 60% de la producción de la entidad; gran parte (70 %) de las tierras sembradas con esta especie se ubican en áreas de muy buena y buena productividad; no obstante, que se presentan condiciones agroclimáticas favorables para el desarrollo del cultivo, el

rendimiento medio en esta región no rebasa las 4.5 t ha^{-1} , por lo que la adopción de semilla mejorada se presenta como una alternativa para elevar el rendimiento y la rentabilidad del cultivo en un corto plazo. Sin embargo, en la actualidad el uso de simiente certificada no rebasa el 15 % y el resto (85 %) se establece con materiales criollos, que presentan características desventajosas como son: ciclo vegetativo largo, porte alto y susceptibilidad al acame, entre otras; por lo que resulta de gran importancia la formación de nuevos genotipos que aprovechen mejor el ambiente favorable que prevalece.

En los VA de la Mesa Central de nuestro país, la siembra de maíz para grano, se inicia a partir del 15 de marzo, principalmente en zonas de punta de riego y áreas de temporal con humedad residual, estas últimas son regiones en las que no se dispone de riego, sin embargo, mediante una preparación oportuna del terreno después de terminar la cosecha del ciclo inmediato anterior, se aprovecha la humedad existente en el suelo. Además, se captan las lluvias que llegan a presentarse durante el invierno, todo lo anterior con la finalidad de disponer de humedad para realizar el establecimiento del cultivo, hasta dos meses antes del inicio del temporal. No obstante, en estas condiciones es ventajoso depositar la semilla a una profundidad de hasta 15 ó 20 cm, para que el sistema radicular seminal quede ubicado a mayor profundidad y aproveche más el agua del suelo.

Asimismo, durante la etapa de germinación de la simiente y emergencia de plántulas en el suelo, que ocurre a finales del mes de marzo y principios de abril, se presentan temperaturas bajas, incluso como sucede en el Valle de Toluca-Atlacomulco menores a 8 °C, lo cual puede afectar el desarrollo del cultivo. Bajo estas restricciones, es importante disponer de materiales mejorados con rápido crecimiento inicial, no obstante, particularmente en nuestro país, poco se conoce sobre el vigor de la semilla y la implicación que tiene sobre el establecimiento de plántulas en el campo y en su comportamiento agronómico.

El desarrollo de líneas endogámicas así como la identificación de las combinaciones híbridas más sobresalientes son uno de los objetivos de un programa de mejoramiento genético, la evaluación de los progenitores y sus respectivas cruzas permite estimar la aptitud combinatoria de las mismas, por lo que es posible detectar los mejores genotipos; en maíz, el mejoramiento por hibridación ha alcanzado particular importancia.

Por lo anterior, los objetivos del presente estudio son los siguientes:

Objetivo General

Definir el tipo de acción génica involucrada, así como la influencia de los efectos recíprocos en la manifestación del vigor de semilla, rendimiento de grano y características agronómicas.

Objetivos Específicos

Estimar los efectos de aptitud combinatoria general de las líneas y aptitud combinatoria específica de las cruzas simples para calidad fisiológica de semilla y variables agronómicas.

Detectar la importancia de los efectos recíprocos en la manifestación de los parámetros evaluados.

Identificar cruzas simples con alto potencial de rendimiento y caracteres agronómicos sobresalientes como son: porte bajo, uniformidad, resistencia al acame y ciclo vegetativo intermedio.

Hipótesis:

Existe variabilidad en el tipo de acción génica que gobierna el vigor de semilla, las características agronómicas y el rendimiento de maíz.

Los efectos recíprocos son importantes en la expresión de los caracteres evaluados.

Es posible detectar combinaciones híbridas con características agronómicas sobresalientes y que además presenten excelente calidad fisiológica de semilla.

REVISIÓN DE LITERATURA

Aptitud Combinatoria

Márquez (1988) define la aptitud combinatoria (AC) como la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, lo que es evaluado por medio de su progenie, sin embargo, para que la AC se ubique en contexto genotécnico, no debe determinarse en un solo individuo de la población sino en varios, con el objetivo de poder realizar selección de aquellos que presenten la más alta AC.

De acuerdo con Rojas y Sprague (1952) el valor de una línea en la producción comercial de híbridos de maíz puede definirse por medio de los dos aspectos que se indican a continuación:

- 1) Las características *per se* de las líneas, donde se considera el rendimiento, vigor, uniformidad, cantidad de polen liberado, desarrollo de la mazorca, calidad de semilla y tolerancia a acame, plagas y enfermedades.
- 2) La aptitud combinatoria, es decir, su desempeño en combinaciones híbridas.

Sprague y Tatum (1942) establecieron los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE); estos

autores emplearon el término ACG para designar el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, y el de ACE, para señalar las desviaciones que ciertas combinaciones presentan con respecto a lo que podría esperarse al considerar el comportamiento promedio de las líneas involucradas. Por lo que Márquez (1988) indica que la ACE es el rendimiento relativo de cada cruce específica.

Con relación al tipo de acción génica que determina la AC de las líneas, se considera que la ACG evalúa la porción aditiva de los efectos genéticos, en tanto que la ACE, incluye los efectos no aditivos, esto es, la acción génica de dominancia y epistasis (Poehlman y Allen, 2003).

Diseños Dialélicos

De los diseños de apareamiento, el más utilizado en maíz y otras especies vegetales y animales, se encuentra el diseño dialélico, que se define como el conjunto de cruzamientos simples entre un grupo de n progenitores (Hallauer y Miranda, 1981).

El método de apareamiento de cruces dialélicas fue presentado inicialmente por Schmidt en 1919, se utilizan en la estimación de los componentes genéticos y para evaluar la aptitud rendidora de las cruces. En general, los cruzamientos dialélicos han demostrado ser una herramienta de gran valor en el estudio de poblaciones biológicas, tanto en la obtención de

información necesaria para el entendimiento de la acción génica en caracteres cuantitativos de importancia agrícola, así como en el desarrollo de esquemas de mejoramiento para la selección de genotipos superiores (Martínez, 1983).

De los estudios más relevantes que han contribuido al uso más frecuente de los diseños dialélicos en investigaciones genéticas, especialmente las concernientes al maíz híbrido, se encuentra el de Griffing (1956a) quien sistematizó el análisis estadístico para la estimación de componentes de varianza cuando se utiliza un diseño dialélico de apareamiento, y lo definió como un procedimiento en el cual de un conjunto de p líneas progenitoras se obtiene un máximo de p^2 combinaciones, las cuales se dividen en tres grupos: 1) los p progenitores; 2) las $p(p-1) / 2$ cruzas F1 directas; y 3) las $p(p-1) / 2$ cruzas F1 recíprocas; considerando lo anterior, el autor desarrolló cuatro métodos de análisis dialélico en los cuales participan:

-Método 1: Las líneas progenitoras, las cruzas F1 directas y recíprocas (total, p^2 combinaciones).

-Método 2: Las líneas progenitoras y las cruzas F1 directas [total, $p(p+1) / 2$ combinaciones].

-Método 3: Las cruzas F1 directas y recíprocas [total, $p(p-1)$ combinaciones].

-Método 4: Las cruzas F1 directas [total, $p(p-1) / 2$ combinaciones].

El mismo autor (1956b) propone el término dialélico modificado para designar la tabla dialélica donde los progenitores no son incluidos y presenta el análisis para los cuatro métodos, en el que se distinguen dos aspectos:

a) La situación en que las líneas progenitoras se toman al azar de alguna población acerca de la cual van a ser hechas las inferencias (modelo aleatorio)

b) Cuando las líneas son elegidas en forma deliberada y no pueden considerarse como muestra aleatoria, sino que el material experimental está constituido por la población completa acerca de la cual pueden hacerse inferencias válidas (modelo fijo).

Influencia de los Efectos Genéticos en los Caracteres Agronómicos

El éxito de un programa de mejoramiento es una consecuencia directa de la acción génica que interviene en las poblaciones evaluadas, la importancia de los efectos aditivos y no aditivos para rendimiento de grano y variables agronómicas en cruzas dialélicas es un indicativo del tipo de acción génica (Baker, 1978).

Es difícil obtener líneas endogámicas a partir de germoplasma de VA, ya que las variedades de dicha región tienen una fuerte "carga genética" y problemas de asincronía floral, por lo que no toleran niveles de homocigosis superiores a 0.875 (S_3). Por lo que para el mejoramiento de cultivares de maíz que se cultivan en alturas superiores a 2,000 metros sobre el nivel del mar en la zona central de México, es importante la incorporación de germoplasma de

regiones tropicales de altitud más baja, con el objetivo de incorporar algunas características como son: incremento del rendimiento de grano, resistencia al acame de raíz y tallo, ausencia de hijos, tolerancia a la endogamia, adaptación a sistemas de labranza mínima y un nivel de secado más rápido en el campo, para lo cual se debe mantener la tolerancia al frío y la resistencia a enfermedades de los maíces de VA (Eagles y Lothrop, 1994).

Rivera (1977) en un estudio realizado en maíz en VA, reportó que la heterosis más alta para rendimiento de grano y otros caracteres ocurrió en las cruzas del tipo Trópico por Mesa Central, en tanto que, las combinaciones de Mesa Central por Mesa Central mostraron los efectos de heterosis más bajo, asimismo, encontró que a medida que la diversidad genética de los progenitores se incrementa, aumenta también la diferencia para los valores de aptitud combinatoria, ya sea para ACG o para ACE, o bien para los dos tipos de acción génica. En este entorno, Moll *et al.* (1965) detectaron que la heterosis se incrementó al aumentar la divergencia genética dentro de un rango restringido, sin embargo, señalan que en las cruzas extremadamente divergentes hubo un decremento de la heterosis, debido a que la expresión de esta puede estar limitada por combinaciones génicas no armónicas en el híbrido F1. Al respecto, en este mismo cultivo, Pérez *et al.* (2002) después de ocho a nueve ciclos de selección masal visual, mencionaron que la raza subtropical Celaya y la tropical Zapalote Chico presentaron alta adaptabilidad al clima templado de VA Centrales de México, por lo que representan una opción muy valiosa para ampliar la variabilidad genética en los programas de mejoramiento genético.

Para el éxito de un programa de mejoramiento de plantas es esencial disponer de germoplasma élite y una adecuada variación genética. Al respecto, Beck *et al.* (1991) señalan que la mayoría de los materiales subtropicales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) de madurez intermedia no benefician directamente a los programas de mejoramiento de maíz de clima templado en un corto plazo, sin embargo, a mediano y largo plazo pueden tener un gran potencial para introducir germoplasma exótico. Al respecto, Whitehead *et al.* (2006) mencionan que poblaciones con 75 % de germoplasma templado de la faja maicera de los Estados Unidos a las cuales se les ha incorporado un 25 % de materiales tropicales o subtropicales, presentan madurez y características agronómicas similares al germoplasma original de clima templado. Del mismo modo, Mayorquín *et al.* (1986) indican que un 25 % de germoplasma de maíz tropical Tuxpeño mejoró la capacidad de combinación para rendimiento de la raza Cónico que se cultiva en VA.

Vasal *et al.* (1995) evaluaron la heterosis y AC de doce poblaciones de maíz en VA Centrales de México, concluyeron que en tres de los cuatro ambientes de evaluación, los efectos aditivos fueron más importantes en la determinación de las variables evaluadas; además, indican que en rendimiento de grano, la heterosis con respecto al mejor progenitor osciló de -8.7 a 55.7 %. Similares resultados son reportados por Pérez *et al.* (1991) al ensayar las cruas dialélicas entre cinco variedades criollas precoces en tres localidades en la región antes indicada.

En esta misma zona, Balderrama *et al.* (1997) señalan que los mayores efectos de ACG para la variable rendimiento de grano y otros caracteres evaluados fueron observados en VS-22, Mich-21, Méx-38, Tlax-151, Méx-581 y Pue-502. Asimismo, mencionan que si se considera la capacidad productiva de las cruzas Tlax-151 x VS-22 y Méx-581 x VS-22 y los valores de heterosis mostrados por éstas, atribuidos principalmente a efectos de heterosis específica, estas combinaciones representan patrones heteróticos de interés.

En la región ecológica señalada anteriormente, Arellano (1998) evaluó cruzamientos dialélicos de maíz que se sembraron en dos niveles de nitrógeno durante dos años en VA de México, señala que las líneas de mayor rendimiento de grano fueron de la fuente de Mich. 21 y de Tlax. 151, mientras que las combinaciones de progenitores de estas fuentes con las líneas subtropicales del CIMMYT: CML 241, 242, 243 y 246 presentaron la mayor magnitud de los efectos de ACE para la variable anteriormente señalada. Al respecto, Arellano *et al.* (1992) reportaron un buen potencial de rendimiento en híbridos integrados con materiales de INIFAP de VA y poblaciones del CIMMYT.

En este aspecto, Vacaro *et al.* (2002) ensayaron en dos localidades de Brasil, cruzas dialélicas realizadas con 12 poblaciones, concluyeron, que la ACG fue más importante que la ACE, lo que indica el predominio de los efectos aditivos en todas las variables estudiadas y sugieren progresos genéticos a

través de la selección; similares resultados son reportados por Melani y Carena (2005) al estudiar híbridos que se obtuvieron con 10 poblaciones en el norte de la Faja Maicera de Estados Unidos de Norteamérica.

Gutiérrez *et al.* (2002) evaluaron una serie de cruzamientos dialélicos realizados entre seis líneas endogámicas de maíz en dos localidades de la Comarca Lagunera, señalan que para el carácter rendimiento se observaron diferencias altamente significativas para ACE, más no para ACG, además, indica que en las cruzas estudiadas predominó la varianza de dominancia, por lo que es factible explotar los efectos de dominancia de estos progenitores para la producción de híbridos; asimismo, reportan que el grado de heterosis con respecto al progenitor medio fluctuó entre 38.9 y 274.4 %, mientras que la del mejor progenitor osciló de 19.3 a 231.0 %. En esta misma región, De la Cruz *et al.* (2003) ensayaron híbridos simples realizados con seis líneas endogámicas de maíz, señalan que la varianza genética de tipo no aditivo fue mayor que la del tipo aditivo para las variables de días a floración (DF), altura de planta (AP), rendimiento de grano (RG) e índice de cosecha.

Un aspecto relevante a considerar en los esquemas de mejoramiento, sobre todo en aquellos basados en la hibridación, es la definición de la presencia o ausencia de efectos citoplásmicos; es decir, si existe o no diferencia en el comportamiento de cruzas directas y recíprocas. Un enfoque general en maíz, sobre el orden de los progenitores en la integración de cruzas, se ha basado principalmente en la capacidad productiva de la línea parental

hembra (Hallauer *et al.*, 1988). Un supuesto común en el análisis de cruzas dialélicas, es considerar ausencia de efectos maternos (EM), debido probablemente a que en algunos estudios (Hunter y Gamble, 1968; Fleming, 1975) éstos han sido valores inconsistentes sobre ambientes y más pequeños que los obtenidos para ACG o ACE. No obstante, en algunos casos, el EM ha demostrado ser una característica importante, por lo que se debe considerar como un aspecto práctico en la formación de híbridos (Hallauer y Martinson, 1975).

En este aspecto, Hansen y Bagget (1977) señalan que diferencias recíprocas fueron detectadas en nueve de las diez características evaluadas en cruzas dialélicas de 7 líneas endogámicas de maíz dulce, e indican que los efectos recíprocos (ER) fueron suficientemente grandes en algunos híbridos, por lo que tienen importantes implicaciones en el mejoramiento del cultivo. Resultados similares son reportados en maíz por Baynes y Brawn (1973).

Asimismo, la diversidad genética es importante para la expresión de efectos citoplásmicos de varios caracteres de maíz. En este entorno, Kalsy y Sharma (1972) al estudiar cruzas realizadas con progenitores de diferente origen geográfico, señalan que los efectos recíprocos de las cruzas (ERC) fueron significativos para días a floración, altura de planta y mazorca, longitud de mazorca y peso de 100 granos en los dos ambientes de evaluación, mientras que rendimiento por planta y diámetro de mazorca sólo fueron significativos en una localidad de estudio. Resultados semejantes fueron

detectados por Khehra y Bhalla (1976) al estudiar cruzas realizadas con progenitores de India, Argentina y el Caribe. .

No obstante lo anterior, Velázquez *et al.* (1992) en maíz, reportan que es notable que los EM y ER fueron de poca importancia y sólo los EM fueron significativos para días a floración femenina. Además, indican que con respecto a la magnitud de los cuadrados medios de los efectos, se encontró que en general los obtenidos para EM y ER fueron considerablemente inferiores a los obtenidos para ACE y ACG.

En este mismo aspecto, Zhang y Kang (1997) señalan que la descomposición de los ER en efectos maternos (EM) y no maternos (ENM) en un análisis dialélico, es útil para determinar si factores maternos o extranucleares están involucrados en la expresión de un carácter. Al respecto, Dhliwayo *et al.* (2005) detectaron diferencias altamente significativas en ER, EM y ENM, por lo que indican que para lograr resistencia al gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*) sería de gran ventaja utilizar un genotipo resistente como progenitor femenino.

Del mismo modo, Borges (1987) detectó en maíz diferencias altamente significativas en EM y ER, por lo que sugiere que la variación observada en el experimento fue debida no sólo a efectos genéticos directos, sino que la herencia materna y/o citoplásmica está involucrada en la reacción a la enfermedad de downy mildew (*Peronosclerospora sorghi*). No obstante, Kang *et*

al. (1999) indican que el ER, EM y ENM no fueron significativos en el análisis dialélico realizado para evaluar la resistencia al acame de tallo en maíz; sin embargo, en la interacción de estos tres factores genéticos con el año de evaluación, sí hubo significancia estadística.

La utilización práctica de la endogamia en los programas de hibridación, es la obtención de líneas para su uso posterior en combinaciones híbridas. Durante el proceso de derivación de líneas es frecuente que los fitomejoradores realicen algún tipo de selección a través del avance de la endogamia, ya sea en características agronómicas como de sanidad; situación que ha motivado el desarrollo de algunos estudios para evaluar el efecto de dicha selección y avance generacional sobre la aptitud combinatoria (Jugenheimer, 1981).

En este entorno, en un estudio realizado en Valles Altos de México, Rodríguez (1992) señala que líneas de bajo nivel utilizadas como testigos, fueron superadas por algunos progenitores de mayor nivel de endogamia (S_4 y S_5), además, dichos materiales presentan características agronómicas deseables para la producción de semilla certificada. Al respecto, Sprague y Miller (1952) al evaluar seis líneas de maíz que fueron cruzadas en todas las combinaciones posibles dentro de cada generación de endogamia desde S_1 a S_5 , señalan que no obstante que no se modificó la aptitud combinatoria, la selección visual fue efectiva para resistencia al acame. Por otro lado, Wellhausen y Wortman (1954) mediante dos generaciones adicionales de autofecundación y selección visual, pretendieron incrementar el rendimiento de

mestizos de líneas S_1 elegidas con base a su ACG, sin embargo, únicamente detectaron muy pequeñas ganancias en aptitud combinatoria para líneas S_3 cuando sus híbridos fueron evaluados en el mismo ambiente en que se había realizado la selección; no obstante, sucedió lo contrario cuando se ensayaron en ambientes diferentes, por lo que destacan que la selección visual fue ineficiente para mejorar la aptitud combinatoria.

Contrario a lo anterior, Velázquez *et al.* (1992) señalan que el comportamiento promedio del conjunto de cruzas formadas con líneas avanzadas (mayor endogamia) fue similar al de sus correspondientes cruzas originales (menor endogamia), aunque las cruzas de líneas avanzadas presentaron un mejor aspecto de planta y mazorca. Además, indican que el incremento de la endogamia produce cambios en la ACE de las cruzas de líneas originales. Al respecto, Claire *et al.* (1993) mencionan que líneas S_3 tienen mayor ACG y ACE que sus líneas progenitoras S_1 , asimismo, reportan que la selección visual en altas densidades de población durante el avance generacional, probablemente juega un papel importante en el aumento de la aptitud combinatoria. En este entorno, Crossa *et al.* (1990) señalan que los efectos no aditivos son de mayor relevancia conforme se incrementa la endogamia de los padres involucrados, debido a que existe un mayor número de loci en estado homocigótico.

Calidad de Semilla

La calidad de la semilla está determinada por un conjunto de atributos que colaboran en el establecimiento y desarrollo de las plantas en el campo, en donde la calidad genética, física, sanitaria y fisiológica juegan un papel importante (Copeland y McDonald, 1995)

El aspecto genético se refiere a la calidad que obtiene el fitomejorador, es decir, un material genético de características sobresalientes, la cual está determinada por el genotipo de la variedad o híbrido (Bustamante, 1982).

La calidad física incluye aspectos tales como: pureza analítica, contenido de humedad, tamaño, peso y color. La pureza analítica nos indica el grado de contaminación con semillas extrañas y materia inerte. El tamaño y peso son indicadores de la excelencia de la simiente, ya que un cultivo sujeto a condiciones ambientales adversas presentará una disminución en su peso volumétrico o de 1000 semillas. El color de la semilla es una característica propia de cada genotipo y en ocasiones es un indicativo de la presencia de microorganismos (Thomson, 1979).

El componente sanitario es la condición de la semilla en cuanto a la presencia o ausencia de hongos, virus, bacterias y nemátodos, ya que los patógenos llevados en la simiente afectan en forma directa e indirecta, la

calidad de las semillas y son capaces de reducir la productividad de los cultivos (Moreno, 1996).

Calidad Fisiológica de Semilla

En la actualidad, las pruebas de germinación han sido aceptadas y se utilizan universalmente para determinar la calidad fisiológica de un lote de semillas; la prueba de germinación se diseñó para medir el máximo potencial de viabilidad de las semillas (Copeland y McDonald, 1995).

La International Seed Testing Association (ISTA, 2004) señala que la germinación de una semilla en una prueba de laboratorio, es la emergencia y desarrollo de la plántula a un estado tal que sus estructuras esenciales son indicativas de su capacidad para originar una planta bajo condiciones favorables de suelo.

Por otro lado, la Association of Official Seed Analysts (AOSA, 1983) define que la germinación en el laboratorio es la emergencia y desarrollo a partir del embrión de aquellas estructuras esenciales, que por la clase de semilla en estudio, son indicadoras de su capacidad para producir una planta normal bajo condiciones favorables.

La filosofía general de la evaluación de germinación es inadecuada para evaluar el potencial de emergencia, debido a que las semillas son germinadas en condiciones óptimas, pero desafortunadamente, pocas veces se encuentran dichas condiciones en el campo y no es extraño que la emergencia es a

menudo menor que la germinación obtenida en el laboratorio. Por otro lado, la prueba de germinación falla en tomar en cuenta la naturaleza progresiva del deterioro, por lo que, se ha dado mucho interés en desarrollar otro, o un parámetro suplementario de calidad, conocido ahora como vigor de semilla (McDonald, 1980).

La ISTA (2004) define el vigor como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y capacidad de la semilla o lote de semillas de germinación aceptable en un amplio rango de ambientes. En este aspecto, la AOSA (1983) propone la siguiente definición: el vigor de la semilla comprende aquellas propiedades que determinan el potencial para una rápida y uniforme emergencia y desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones de campo.

Copeland y McDonald (1995) señala que las principales causas que influyen en el nivel de vigor de la semilla, son: composición genética, condiciones ambientales durante el desarrollo, factores ecológicos en la etapa de madurez a cosecha, densidad, tamaño y peso de la simiente, integridad mecánica y sanidad, entre otros.

Evaluación del Vigor de Semilla.

Desde hace más de 50 años, se han tratado de detectar técnicas que permitan determinar de una manera más integral la calidad de semillas, los diversos métodos que se han desarrollado se conocen bajo la designación de

pruebas de vigor. El vigor se puede definir como la habilidad de la semilla para producir plántulas normales, sanas y fuertes, tanto en condiciones óptimas como desfavorables, no obstante, aunque no existe una definición unánime, hay un consenso de que el vigor es el factor más importante de la calidad fisiológica de las semillas (Popinigis, 1985).

Las desigualdades en la velocidad de germinación y de emergencia, en longitud de plúmula y en acumulación de peso seco de plántula, fueron de las primeras variables que se utilizaron para estimar el vigor de la semilla (TeKrony y Egli, 1991). Sin embargo, dichas pruebas evalúan la actividad de la simiente sometidas a condiciones favorables, por lo que se delinearon otras metodologías en las que se trata de simular las condiciones de campo, como la prueba fría para maíz (Copeland y McDonald, 1995). Existen otras pruebas que de manera indirecta han sido utilizadas para evaluar el vigor de la semilla, como el envejecimiento acelerado (McDonald, 1980).

Los ensayos de vigor pueden ser clasificadas en: Evaluación del crecimiento de plántulas, pruebas de estrés y bioquímicas. Dentro de la primera categoría se ubican la clasificación del vigor de plántula, longitud de plúmula, velocidad de germinación y de emergencia, así como peso seco de plántula. En el segundo grupo están la germinación después de envejecimiento acelerado y la prueba fría. Mientras que en las bioquímicas se incluyen tetrazolio, conductividad eléctrica, respiración y otras metodologías de actividad metabólica (TeKrony y Egli, 1991).

El peso seco de plántula es una prueba de vigor que se basa en el concepto de que las semillas vigorosas son capaces de sintetizar eficientemente nuevos materiales nutritivos y transferirlos rápidamente al eje embrionario en crecimiento (Popinigis, 1985). Al respecto, Villaseñor (1984) señala que esta variable se consideró como la mejor indicadora del vigor de la semilla y detectó que el tamaño de semilla de maíz fue determinante en la expresión de este parámetro. En este mismo cultivo, Magaña (1992) indica que es factible utilizar las pruebas fisiológicas de velocidad de emergencia y peso seco de plántula como parámetros adicionales de selección de líneas endogámicas.

Perry (1977) propuso la medición del crecimiento de la plúmula en cebada como un ensayo de vigor y detectó que esta característica está muy correlacionada con la emergencia en campo, principalmente cuando las condiciones del suelo son desfavorables.

La prueba de envejecimiento acelerado fue propuesta inicialmente para estimar la capacidad de almacenamiento de la semilla (Delouche y Baskin, 1973) sin embargo, tiempo después se detectó que también muestra correlación con emergencia en campo (AOSA, 1983). Específicamente en maíz, la metodología consiste en someter las simientes a condiciones de alta temperatura (42 °C) y humedad relativa (100%) por un período de 96 horas, posteriormente, las semillas son removidas del estrés impuesto y germinadas

bajo condiciones óptimas (Popinigis, 1985). No obstante, con la combinación de 45 °C por 72 horas es posible separar lotes de calidad fisiológica superior e inferior, independientemente del genotipo (Mudrovitsch y Vieira, 2006).

Dicha prueba posee los siguientes requerimientos importantes de un ensayo de vigor: rápida, de bajo costo, simple, universal para todas las semillas, capacidad para evaluación de semillas individuales y no requiere entrenamiento adicional para la correcta evaluación de las plántulas, sin embargo, no se ha logrado reproducibilidad de los resultados dentro y entre laboratorios (McDonald, 1980) Se han realizado diversos trabajos para evaluar esta técnica, en maíz, Azuara (2002) señala que ayuda a detectar genotipos superiores. Del mismo modo, Molina *et al* (1992) indican que las condiciones bajo las cuales se realizó la prueba fueron adecuadas para separar niveles de calidad.

La prueba fría es uno de los métodos más antiguos de someter las semillas a estrés, y es con mucha frecuencia utilizada para evaluaciones del vigor en maíz. Surgió por el hecho de que en muchos países de Europa y Norteamérica se siembra al principio de la primavera cuando aún se tienen bajas temperaturas, y entonces la germinación estándar, por realizarse bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad, no predice satisfactoriamente la emergencia en campo (McDonald, 1980). Bajo estas circunstancias se propone realizar una prueba de frío que se efectúa bajo condiciones no tan óptimas, ya que la simiente se siembra en suelo con presencia de patógenos y

en un lugar frío (10 °C) por siete días, para posteriormente colocarla en condiciones favorables para germinar (Popinigis, 1985).

No obstante, la prueba de frío ha enfrentado inconsistencias en sus resultados, por los diversos suelos que se han utilizado, por lo que se ha planteado una metodología alterna que incorpora únicamente el factor temperatura (10 °C) por siete días para semilla en rollos de papel estéril, ya que además de ser más estables los resultados se ha detectado una correlación positiva de esta modalidad con la emergencia en campo (Burris y Navratil, 1979). Al utilizar esta alternativa, en Brasil, Molina *et al.* (1992) señala que la prueba de frío modificada en maíz, es confiable para pronosticar la emergencia de plántulas en el campo, similares resultados son reportados por Barros (1998).

En la especie mencionada anteriormente, Lovato *et al.* (2005) señalan que probablemente para variedades tolerantes a temperaturas bajas, la prueba fría en 7.5 o 5 °C puede ser necesaria para detectar diferencias de vigor entre lotes de semilla. Al respecto, Molina *et al.* (2003) en este mismo cultivo, con genotipos de VA de México, utilizaron una temperatura de estrés de 7 °C, reportan que esta evaluación no fue útil para detectar las semillas con mayor vigor para establecerse en campo, no obstante, que se registraron diferencias entre variedades, además, mencionan que existen evidencias de que las bajas temperaturas no imponen una restricción, sino una condición promotora de la germinación. En este aspecto, Gámez (2007) detectó que al realizar ensayos en

frío con temperaturas de estrés de 8 y 12 °C, hubo un aumento de la longitud y peso seco de plúmula y raíz, en comparación con plántulas evaluadas en pruebas de germinación efectuadas a 25 °C, lo cual atribuye a la acumulación activa de compuestos antioxidantes.

Aptitud Combinatoria Relacionada con la Calidad Fisiológica de Semilla

Delouche (1985) recomienda que en programas de mejoramiento genético se incluyan características relacionadas con la calidad de la semilla, ya que lo anterior aumentaría la resistencia al deterioro de campo, la longevidad durante su almacenamiento, además de su capacidad de germinación y emergencia en condiciones desfavorables.

En estudios sobre vigor de semillas se han reportado diversos niveles de heterosis, al respecto, Fakorede y Agbana (1983) reportan que plántulas de híbridos emergieron más rápido que aquellas de sus progenitores, por lo que indican, que la velocidad de emergencia está controlada en forma genética y está muy influenciada por el ambiente. Por otro lado, De Souza *et al.* (2000) detectaron que los híbridos presentan mayores valores de germinación estándar, velocidad de emergencia, germinación después de envejecimiento acelerado y después de prueba fría, con respecto a sus líneas parentales.

Antuna *et al.* (2003) analizaron la relación entre los valores medios y los efectos de aptitud combinatoria y exploraron el tipo de acción génica de los

caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semilla de seis líneas endogámicas de maíz y sus combinaciones híbridas en tres localidades de la Comarca Lagunera, señalan que los resultados mostraron amplia variación entre los genotipos en todas las características estudiadas, además, indican que las mejores cruzas con buen potencial de rendimiento, mayor altura de planta y mazorca, mostraron asociación inconsistente con los diferentes atributos de calidad fisiológica. Asimismo, mencionan que los progenitores que manifestaron buenos índices de calidad fisiológica fueron más tardíos, de reducida altura de planta y mazorca y bajo rendimiento de grano, por lo que la expresión fenotípica y los efectos genéticos apoyados por un análisis de correlación detectaron que no existe asociación directa y significativa entre los caracteres agronómicos y de calidad de semilla. Por último, expresan que la altura de planta y mazorca, así como las variables de calidad fisiológica estuvieron determinadas por efectos aditivos, en tanto que los efectos no aditivos fueron el componente principal en la expresión de los días a floración y el rendimiento de grano.

Cano *et al.* (2000) efectuaron una serie de cruzamientos dialélicos entre seis líneas endogámicas de melón, detectaron que los efectos génicos aditivos y no aditivos fueron importantes en la expresión del peso de 100 semillas, el índice de velocidad de emergencia, germinación y peso seco de plántula después de envejecimiento acelerado, en tanto que, en la longitud radicular y de hipocótilo después de envejecimiento acelerado están involucrados principalmente genes aditivos. Además, señalan que los efectos génicos

maternos fueron importantes en el peso seco de plántula después de envejecimiento acelerado y en peso de 100 semillas.

Burris (1977) al evaluar cruzas dialélicas realizadas entre cinco líneas endogámicas de maíz efectuadas en tres localidades del estado norteamericano de Iowa, detectó que la localidad de producción y el progenitor femenino tuvieron un efecto altamente significativo en germinación y en peso seco de raíz y vástago. En este mismo cultivo, Bdllya y Burris (1988) estudiaron la tolerancia al daño por secado con altas temperaturas (50°C) en cruzas dialélicas realizadas entre seis líneas autofecundadas, indican que la influencia de una línea como progenitor masculino fue no significativa, además, señalan que en germinación estándar, los cuadrados medios de efectos maternos fueron 1.5 y 3.3 veces más grandes que los de la ACG y ACE, respectivamente, mientras que para prueba fría los cuadrados medios de ACG fueron 1.5 y 8 veces más grandes que los EM y ACE respectivamente. Por lo que concluyeron que los efectos aditivos y maternos fueron más importantes que los efectos no aditivos y recíprocos, asimismo, mencionan que la mayor variabilidad observada entre semillas para tolerancia al daño por secado fue asociada con herencia materna y/o citoplásmica. En esta especie, Ajala y Fakorede (1988) reportan que análisis dialélicos en progenitores con diferente nivel de endogamia, revelaron que vigor de plántula y rendimiento presentan herencia de forma cuantitativa, además, mencionan que los efectos aditivos y no aditivos son importantes.

En Inglaterra, Smith *et al.* (1990) realizaron cruzas dialélicas entre cinco familias de remolacha dulce, reportan efectos recíprocos en primer conteo de germinación, germinación estándar, tasa de germinación y número de semillas germinadas, además, expresan que la herencia materna pudiera ser responsable de dichas diferencias. En este mismo cultivo, Sadeghian y Khodaii (1998) señalan que los efectos genéticos aditivos fueron altamente significativos para porcentaje de germinación, establecimiento de plántula, peso de 100 semillas, vigor de plántula y velocidad de emergencia, asimismo, mencionan que los efectos de dominancia fueron significativos para porcentaje de germinación, establecimiento de plántula y peso de 100 semillas. Por otro lado, concluyeron que los efectos recíprocos fueron significativos para la mayoría de las variables evaluadas, lo que indica que la herencia materna puede influir en los caracteres que intervienen en el vigor de plántula.

Barla-Szabo *et al.* (1990) analizaron un dialélico completo formado con seis líneas endogámicas de maíz durante dos años en Hungría, señalan que los efectos génicos aditivos son más importantes para las características de longitud de vástago, así como para peso fresco y seco de plántula, sin embargo, aclaran que los factores no aditivos deberán de considerarse e incluir los efectos epistáticos, por otro lado, concluyeron que la ACG y los ER son significativos.

En la India, Gupta y Basak (1983) realizaron cruzamientos dialélicos entre seis progenitores de lino, detectaron que longitud de la radícula e

hipocótilo, velocidad y porcentaje de germinación, así como peso seco de plántula, están controlados principalmente por efectos de dominancia y que la heterosis fue el mayor factor de dominancia para todas las características, además, señalan que la heredabilidad en sentido estrecho presentó valores bajos. En soya, Cho y Scott (2000) realizaron cruzas dialélicas entre once genotipos, cinco de alto (AV) y seis de bajo vigor (BV) de semilla. En peso de semilla, detectaron significancia para ACG y ACE, lo que indica que los efectos genéticos aditivos y no aditivos están involucrados en la determinación de este carácter, asimismo, señalan que en cruzas de AV X AV, fueron más altos los rendimientos medios de simiente y la germinación después de envejecimiento acelerado, y que ésta última característica se relacionó significativamente con el vigor y tamaño de semilla del progenitor medio. Por otro lado, reportan la predominancia de los efectos de ACG en vigor y rendimiento de simiente.

Vázquez (1999) realizó cruzamientos entre 7 líneas endogámicas de maíz que fueron evaluados en el laboratorio para medir la calidad fisiológica de la semilla, detectó que el comportamiento promedio de los efectos genéticos indican que los factores aditivos, de dominancia y epistáticos no detectaron significancia para las pruebas de germinación y envejecimiento artificial de la simiente, mientras que, los efectos de dominancia son más importantes que los factores aditivos y epistáticos en longitud de plúmula antes y después del envejecimiento artificial, así como en la prueba fría. En este mismo cultivo, Azuara (2002) evaluó un dialélico que se efectuó con seis progenitores, señala

que con respecto a las características agronómicas, así como a germinación y vigor de semilla, la varianza no aditiva fue más importante, ya que los cuadrados medios de aptitud combinatoria específica fueron superiores a los correspondientes a aptitud combinatoria general, por lo que concluyó, que los efectos de dominancia y epistáticos son más relevantes.

Al realizar cruzamientos directos y recíprocos entre cuatro líneas endogámicas de maíz de VA, Villaseñor (1984) detectó que el tipo de acción génica que determina el vigor de plántulas está gobernada por efectos aditivos y no aditivos en similar proporción. En este entorno, Manjarrez (2006) hizo cruza con líneas endogámicas de grano normal y de alta calidad de proteína. Reportó que los análisis individuales y combinado mostraron que el tipo de acción génica aditiva fue la que predominó en los caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semilla.

En el Trópico de México se evaluaron cruzamientos dialélicos realizados con seis líneas endogámicas de maíz. Los cuadrados medios de los efectos de aptitud combinatoria general fueron mayores que los de aptitud combinatoria específica para porcentaje de emergencia, índice de vigor, altura de plántula, días a floración femenina y masculina, número total de hojas y debajo de la mazorca, así como en altura de planta, lo que resalta la importancia de los efectos aditivos en los caracteres de plántula y planta adulta, en tanto que los efectos no aditivos fueron el componente más relevante para el vigor inicial de plántula. Además, la varianza de dominancia predominó en caracteres de

plántula, y no en caracteres de planta adulta, donde la varianza aditiva fue mayor (Cervantes *et al.*, 2007)

Revilla *et al.* (1999) utilizaron 10 líneas endogámicas de maíz de diferentes partes del mundo, para realizar cruzamientos dialélicos en la costa noroccidental de España. Señalan que el vigor de plántula está determinado principalmente por los efectos de ACG, no obstante, indica que la ACE y ER también son significativos, por lo que destaca que el progenitor femenino es muy importante en la formación de semilla.

En Pakistán se realizaron cruzamientos dialélicos con siete progenitores de arroz, los resultados indican que los efectos aditivos y no aditivos son importantes en la herencia de la mayoría de las variables evaluadas. Sin embargo, en términos comparativos la aditividad fue de mayor magnitud en forma relativa, en lo que respecta a índice de la tasa de germinación (ITG), longitud del vástago de la plántula (LVP) y macollos por planta (MP), mientras que, los factores no aditivos son más importantes en el caso de longitud radicular de la plántula (LRP), peso seco de plántula (PSP), longitud de panícula (LP), esterilidad de la panícula (EP), rendimiento de grano por planta (RGP) y peso de 100 semillas (PCS). En otro tipo de análisis, se detectó sobredominancia para LRP, PSP y PCS. Asimismo, detectó dominancia parcial para ITG en bajas temperaturas, LVP, MP, LP y RGP, en tanto que interacciones génicas no alélicas parecen jugar un papel importante en EP (Akram, 2004).

En lo que respecta al potencial de almacenamiento de la simiente se han efectuado diversos trabajos, Kueneman (1983) realizó cruzas directas y recíprocas entre cinco progenitores de soya, detectó que la herencia materna juega un papel mayor en la expresión de la longevidad de semilla, además, señala que la acción de genes citoplásmicos pueden también estar involucrados pero sus efectos probablemente son pequeños. En este aspecto, Medina (1989) en maíz, determinó la existencia de ER en la longevidad de simiente híbrida, lo que atribuyó principalmente a EM y en menor grado a efectos no maternos. En este mismo cultivo, Lindstrom (1942) reportó que líneas endogámicas difieren considerablemente en porcentaje de germinación después de 5 a 12 años de almacenamiento, además, indica que las diferencias en longevidad en la semilla de los híbridos directos con respecto a sus recíprocos se deben preferentemente a factores maternos.

El vigor de semilla está relacionado con la germinación y emergencia de plántulas bajo diversas condiciones ambientales, con respecto a la habilidad de la planta de maíz para emerger y desarrollarse en bajas temperaturas, Revilla *et al.* (2000) realizaron cruzamientos dialélicos con cinco líneas endogámicas en España, evaluó en cámaras de crecimiento por un período de 14 horas (h) con luz en 14 °C y 10 h sin luz en 8 °C, reportan que ACG fue significativa para días a emergencia, calificación de emergencia, porcentaje de emergencia, color de plántula, calificación de vigor y días a presencia de lígula en la primera hoja, en tanto que la ACE fue significativa sólo para porcentaje y calificación de

emergencia, asimismo, sugieren que la tolerancia a bajas temperaturas en los híbridos puede ser predicha por el comportamiento de las líneas progenitoras, y que dicha tolerancia no está relacionada con rendimiento de grano. Al respecto, en este mismo cultivo, Eagles y Hardacre (1979) estudiaron la variación genética para germinación y emergencia en 10 °C, señalan que los EM son de gran importancia en el porcentaje de germinación y peso de semilla, mientras que, las varianzas debidas a machos fueron significativas para porcentaje y tiempo de emergencia.

En Yugoslavia, se analizaron los factores genéticos que afectan la tolerancia del maíz a bajas temperaturas (6 a 8 °C), se detectó que las características del progenitor femenino fueron importantes en determinar no sólo el porcentaje de plántulas emergidas, sino también la velocidad de germinación y el nivel de crecimiento en las primeras etapas de desarrollo del cultivo (Pesev, 1970). No obstante, Kollipara *et al.* (2002) detectaron efectos insignificantes de los factores citoplásmicos en la germinación en frío, después de realizar la prueba a una temperatura de 12.5 °C durante 11 días

En un estudio realizado con maíz dulce, Revilla *et al.* (2003) utilizaron seis cultivares para formar cruzamientos dialélicos, detectaron que hubo variación entre cruza y progenitores para la tolerancia a bajas temperaturas (10 a 14 °C), y que ésta fue originada principalmente por ACG, no obstante, ACE y ER fueron significativos para materia seca de plántula. Al respecto, Eagles (1982) señala que la mayor variación en el tiempo de emergencia de

semilla de maíz en bajas temperaturas (5 a 15 °C) puede ser atribuida a la ACG, con pequeños pero significativos efectos de ACE y ER.

MATERIALES Y MÉTODOS

Evaluación en Campo

Descripción del Área de Estudio

Los ensayos se establecieron en Metepec, Estado de México, en terrenos del Campo Experimental Valle de Toluca (CEVATOL) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) que se localiza a los 19°17' de latitud norte y 99°39' de longitud oeste y altitud de 2,650 metros sobre el nivel del mar (msnm). De acuerdo con García (1987), Metepec presenta un tipo de clima C(w2)(w) es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos, con una precipitación media anual de 805.4 mm y una temperatura media anual de 14.4 °C; cerca del 80% de las lluvias se distribuyen de abril a octubre y durante este mismo período, el promedio de temperatura es de 16.3 °C. En la Figura 1 se presentan las condiciones climáticas que se observaron en 2005, durante el desarrollo de los experimentos en campo.

Los suelos de la región son de tipo Feozem, con color café claro, acidez ligera, profundidad adecuada y retención de humedad alta (Albarrán *et al.*, 1990). De acuerdo con el análisis que se realizó, el suelo donde se

establecieron los experimentos presenta textura franco-arenosa, moderadamente ácido, con un porcentaje medio de materia orgánica y medianamente pobre en nitrógeno, así como un alto contenido de fósforo y moderadamente alto de potasio.

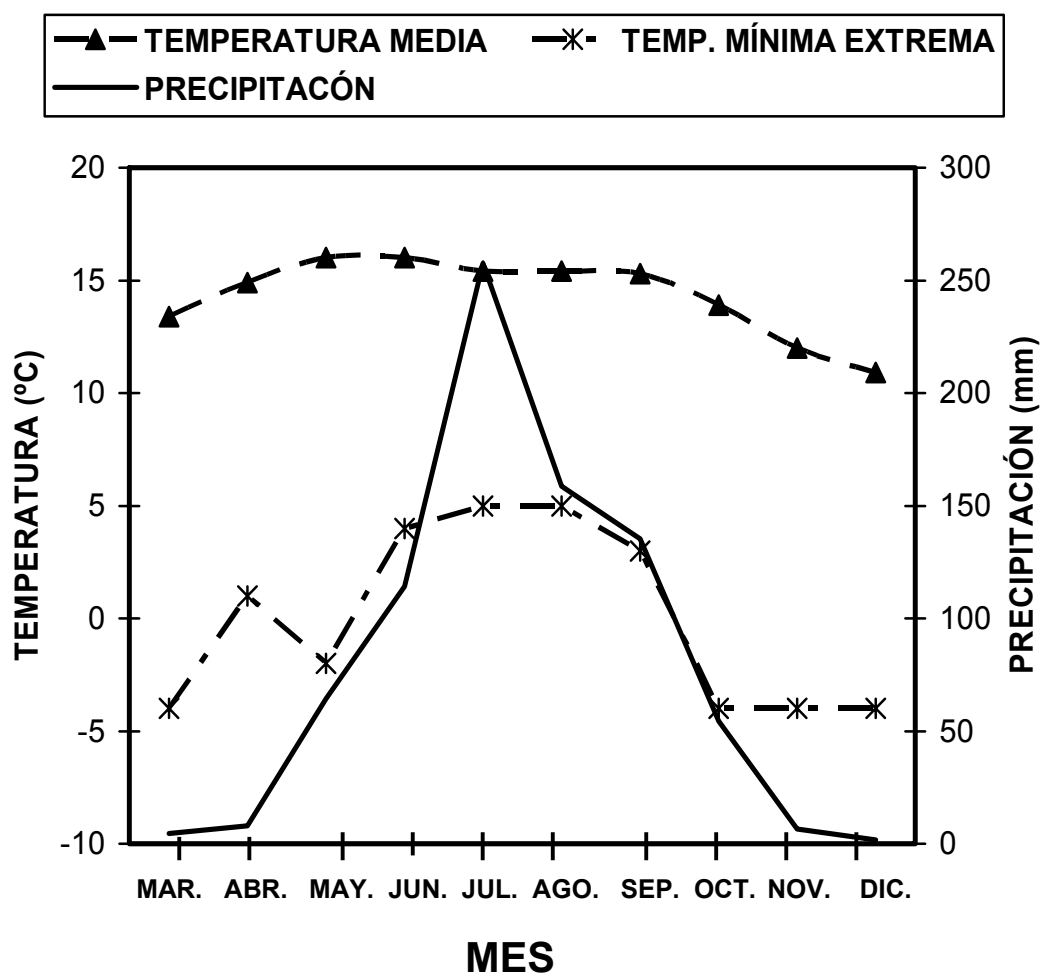


Figura 1. Condiciones climáticas en Metepec, México durante 2005.

Material Genético

Se incluyeron ocho líneas endogámicas (Cuadro 1), siete de estas fueron obtenidas por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz para Valles Altos (VA) de INIFAP, que se derivaron de variedades criollas selectas y poseen entre tres y cinco generaciones de autofecundación, además se utilizó una línea del CIMMYT con un nivel de endogamia de S₇. La composición de las poblaciones 85 y 87 (Pob 85 y Pob 87) de CIMMYT incluye 60 % de germoplasma de VA, 20 % de templado y 20 % de subtropical-tropical (Eagles y Lothrop, 1994). Mientras que, el sintético intermedio "B" (SIB) de INIFAP está formado con líneas selectas de VA.

Cuadro 1. Líneas endogámicas de maíz de Valles Altos utilizadas como progenitores.

No. de Línea (L)	Genealogía	Días Flor. Masc.	Altura Planta (m)	Peso 100 Semillas (g)	Color de tallo
L1	Mich21-181-14-1-16-5*	103	2.39	37.6	Morado
L2	Mich21CI-7-2-14-5-2*	103	1.63	29.3	Morado
L3	VS102-81-4-4-3-2*	97	2.35	34.5	Morado
L4	Pob87SIB/1-4-3-3*	101	1.55	20.8	Mo-Ve ¹
L5	Pob85SIB/1-8-3-2*	101	1.87	23.5	Mo-Ve ¹
L6	Tlax151SFC2-77-2-1-2*	97	2.25	28.6	Morado
L7	Tlax151SFC2-11-2-2-3*	97	2.21	30.3	Morado
L8	B8785MH10-1-1-2TL-1-3TL-3-1T** (CML-242)	105	1.31	30.8	Verde

* Línea de INIFAP

**Línea de CIMMYT

¹Morado-Verde.

Con las ocho líneas citadas anteriormente, durante el ciclo primavera-verano de 2004 se realizaron en Metepec, Estado de México los cruzamientos dialélicos directos y recíprocos, por lo que resultaron $p(p-1)$, es decir, 56 cruza F1 que se evaluaron en 2005 junto con los progenitores, por lo que se estudiaron un total de 64 tratamientos o genotipos (GEN).

Siembra y Manejo Agronómico

Se sembraron dos ensayos, el 2 de abril y el 6 de mayo de 2005, en la misma localidad; antes de establecer el primero de ellos se realizó un riego ligero de presembrado, con el propósito de disponer de humedad para la germinación de semillas y emergencia de plántulas, posteriormente se manejó con las lluvias que se presentaron. La segunda evaluación se sembró bajo condiciones de temporal. Cabe señalar que cada experimento o fecha de siembra (FS) se consideró como un ambiente (AMB) de evaluación. En ambos casos, la siembra se realizó en forma manual, se depositaron dos semillas cada 20 cm, para posteriormente aclarar a una planta y mantener una densidad de población de 65,000 plantas ha⁻¹.

En los dos experimentos se utilizó la fórmula de fertilización 140-70-30 de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente, se aplicó un tercio del nitrógeno y todo el fósforo y el potasio en la siembra, mientras que el resto del nitrógeno se incorporó en la segunda escarda. El manejo agronómico de los ensayos se realizó de acuerdo a las recomendaciones del INIFAP para la zona.

Diseño Experimental y Tamaño de Parcela

En los dos experimentos, los 64 genotipos se evaluaron bajo un diseño experimental de látice triple 8 x 8 y una repetición para cada uno de los grupos (X, Y, Z), en ambos ambientes la parcela experimental y útil fue de dos surcos de 5 m de longitud y 0.80 m entre surco.

Caracteres Cuantificados

Días a floración masculina (DFM). Expresado en número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas en cada parcela se encontraban en la etapa de liberación de polen en la rama principal de la espiga.

Altura de planta (AP). Distancia promedio en centímetros (cm) de la superficie del suelo hasta la base de la espiga, con base en una muestra de 5 plantas tomadas al azar en cada parcela experimental.

Altura de mazorca (AM). Distancia promedio en cm desde la superficie del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior, con base en una muestra de 5 plantas tomadas al azar en cada parcela experimental.

Rendimiento de grano (RG). Se determinó mediante el peso de todas las mazorcas sanas por parcela útil, se corrigió por los porcentajes de desgrane y humedad (14%) y se multiplicó por el factor de conversión correspondiente para obtener finalmente el rendimiento de grano en $t\ ha^{-1}$.

Longitud de mazorca (LM). Se evaluó la longitud total en cm, de una muestra de 5 mazorcas de tamaño medio de cada unidad experimental y se obtuvo el valor promedio.

Diámetro de la mazorca (DM). En cada una de las 5 mazorcas se determinó su diámetro en la parte central y se obtuvo el valor promedio en cm.

Número de hileras por mazorca (NHM). Número promedio de hileras por mazorca en la muestra de 5 mazorcas.

Número de granos por hilera de la mazorca (NGHM). Número promedio de granos por hilera en la muestra de 5 mazorcas.

Número de granos por mazorca (NGM). Se determinó al multiplicar el NHM por el NGHM.

Profundidad de grano (PG). Se determinó en cm., y se obtuvo al restar, del diámetro de mazorca, el valor del diámetro de olote

Peso de cien granos (PCG). Del grano cosechado, se pesaron tres repeticiones de cien semillas de cada parcela experimental, se obtuvo el promedio y se reporta en gramos (g).

Peso volumétrico (PV). Peso en gramos, del grano que ocupa un volumen de un litro y se reporta en kilogramos por hectolitro (kg hL^{-1}).

Evaluación de la Calidad Fisiológica de Semilla

En el laboratorio de Ensayos de Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila, se realizaron durante 2005, diversas pruebas con el objetivo de determinar la calidad fisiológica de la semilla, las cuales se describen a continuación.

Germinación estándar (GE). Para determinar la capacidad germinativa se aplicó la metodología propuesta por ISTA (2004), a excepción del número de semillas, ya que se utilizaron cuatro repeticiones de 25 semillas cada una por genotipo evaluado, que se colocaron con el eje embrionario en posición vertical y la radícula hacia abajo sobre una línea trazada en la parte central de una toalla de papel húmedo utilizado como sustrato que fue cubierto con otro similar, que se enrollaron en forma de “taco” y se cubrieron con polietileno, para después colocarse en posición vertical dentro de una cámara germinadora a 25 ± 1 °C de temperatura durante cinco días. Después de este período se

evaluaron las plántulas normales, anormales y semillas muertas. La determinación del porcentaje de germinación se realizó en base al promedio de plántulas normales.

Longitud de plúmula de germinación estándar (LPGE). Se evaluó la longitud total de las plúmulas de las plántulas normales provenientes de la prueba de germinación estándar, se registró el promedio de las mediciones que se reportó en centímetros.

Peso seco de plántula de germinación estándar (PSPGE). Después de la evaluación de la germinación estándar y longitud de plúmula, las plántulas normales se separaron del resto de la semilla y se sometieron a secado en estufa a 80 °C por 24 horas, luego se pesaron en una balanza analítica de precisión (0.0001g). El peso seco total se dividió entre el número total de plántulas normales, registrándose el peso seco en miligramos por plántula.

Envejecimiento acelerado. Para efectuar el ensayo de envejecimiento artificial o precoz como también se le llama, se utilizaron cuatro repeticiones de 25 semillas cada una por genotipo estudiado, que se sometieron a una temperatura de 42 ± 1 °C y alrededor de 100% de humedad relativa durante 144 horas, para lo cual se utilizaron cajas de plástico de 13 X 13 X 4 cm con 100 ml de agua y una malla de alambre de 0.5 X 0.5 cm colocada en la parte media de la caja, sobre la que se pusieron las simientes a evaluar, con el propósito de que estas no estuvieran en contacto con el agua. Las cajas se taparon y se colocaron en una cámara. Al término del período de estrés, se sacaron las semillas y se realizó una prueba para estimar la capacidad germinativa de acuerdo con ISTA (2004), donde se determinaron las siguientes

características: germinación (GEA), longitud de plúmula (LPGEA) y peso seco de plántula después de envejecimiento acelerado (PSPEA), para lo cual se siguió la metodología descrita anteriormente.

Prueba fría. Se aplicó la modificación propuesta por Burris y Navratil (1979), se incluyeron cuatro repeticiones de 25 semillas cada una, que se colocaron con el eje embrionario en posición vertical y la radícula hacia abajo sobre una línea trazada en la parte central de una toalla de papel húmedo utilizado como sustrato que fue cubierto con otra similar, que se enrollaron en forma de “taco” y se cubrieron con polietileno, después se colocaron en posición vertical dentro de un refrigerador a una temperatura de 7 ± 1 °C por 7 días, posteriormente se cambiaron a una germinadora a 25 ± 1 °C por 5 días, al término de dicho período se procedió a la evaluación de la germinación (GPF), longitud de plúmula (LPGPF) y peso seco de plántula de germinación después de prueba fría (PSPPF), para lo cual se siguió la metodología antes mencionada.

Emergencia Total en Campo (ETC). Este ensayo se efectuó en las instalaciones de la UAAAN en Buenavista, Saltillo, Coahuila, en el área denominada “Los Pinos” cercana a los laboratorios del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) que se localiza a los $25^{\circ}22'$ de latitud norte y $101^{\circ}01'$ de longitud oeste y una altitud de 1,789 msnm. La prueba se realizó en las primeras semanas de marzo de 2005, con el fin de simular las condiciones de clima templado que se presentan durante el establecimiento del cultivo en

Valles Altos, durante el período en que se hizo la evaluación se observó un promedio de temperatura máxima, media y mínima de 21.0, 15.1 y 8.0 °C, respectivamente. Se usaron tres repeticiones de 25 semillas cada una por genotipo, las cuales se sembraron bajo un diseño completamente al azar en una cama de siembra de 1.5 m de ancho por 15 m de longitud y se utilizó tierra como sustrato. Las semillas fueron colocadas a una distancia de 1.0 cm entre ellas y 10 cm entre surcos, así como a 3 cm de profundidad, además, se aplicaron riegos diariamente con el fin de proporcionar humedad adecuada para la germinación. Se consideró como emergidas aquellas plántulas que presentaron un desarrollo normal a los días en que se obtuvo la máxima emergencia, y el resultado se reporta en porcentaje.

Índice de Velocidad de Emergencia (IVE). Esta variable se determinó en el ensayo de emergencia en campo, para lo cual al iniciar la emergencia se realizaron conteos diarios del número de plántulas emergidas y se consideró el límite de la prueba una vez que alcanzó el máximo de germinación o bien cuando se estabilizaron los conteos. Se aplicó la fórmula propuesta por Maguire en 1962, en donde el genotipo con mayor índice se considera el más vigoroso.

$$IVE = \sum \frac{\text{Número de plántulas normales al conteo } i\text{-ésimo}}{\text{Número de días de la siembra al conteo } i\text{-ésimo}}$$

Análisis Estadístico de los Resultados

Cabe señalar que los 64 genotipos, es decir, 8 progenitores y 56 cruas posibles directas y recíprocas, estudiados en campo, se evaluaron en un diseño

experimental de látice triple 8 x 8 y una repetición para cada uno de los grupos (X,Y,Z), sin embargo, al comparar la eficiencia del diseño en látice con respecto al de bloques completos al azar, se detectó que para todas las variables analizadas, ésta fue menor al 7%; por tal motivo, los experimentos se analizaron en forma individual y combinada entre ambientes (fechas de siembra, FS) como bloques completos al azar. Con las variables registradas se realizaron análisis de varianza (ANVA) individuales bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + R_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Efecto del i -ésimo genotipo en la j -ésima repetición

μ = Media general

G_i = Efecto del i -ésimo genotipo

R_j = Efecto de la j -ésima repetición

E_{ij} = Efecto del error experimental

El modelo utilizado para el análisis estadístico combinado de los dos ambientes (FS) establecidos, fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_k + (R/A)_{jk} + G_i + (G \times A)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Efecto del i -ésimo Genotipo en la j -ésima repetición del k -ésimo ambiente

μ = Media general.

A_k = Efecto del k -ésimo ambiente.

$(R/A)_{jk}$ = Efecto de la j -ésima repetición, dentro del k -ésimo ambiente

G_i = Efecto del i -ésimo genotipo

$(G \times A)_{ik}$ = Efecto de la interacción entre el i -ésimo genotipo y el k -ésimo ambiente

E_{ijk} = Efecto del error experimental

Además, los resultados obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio para determinar la calidad fisiológica de la semilla, se analizaron en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor fenotípico observado

μ = media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento (genotipo)

E_{ij} = Error experimental al efectuar la j -ésima observación del i -ésimo tratamiento

Debido a que las variables expresadas en porciento (GE, GEA, GPF y ETC) se ubicaron dentro del intervalo en el cual la transformación de arco seno no produce cambios importantes en los resultados (Little y Hills, 1976) se decidió trabajar con los datos sin transformar.

Además, para la comparación de medias se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 0.05 de probabilidad.

Análisis Dialélico

El comportamiento de los híbridos y progenitores estudiados en los dos experimentos establecidos en campo fue evaluado para aptitud combinatoria mediante el análisis dialélico propuesto por Griffing (1956a) para lo cual se utilizó el método 1 modelo 1, en el que se examinan las líneas parentales, las cruzas F1 directas y recíprocas. De acuerdo con Zhang y Kang (1997), el modelo estadístico se describe a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_l + B(a)_{k(l)} + g_i + g_j + s_{ij} + m_i + m_j + n_{ij} + r_{ij} + ag_{il} + ag_{jl} + as_{ijl} + ma_{il} + ma_{jl} + an_{ijl} + ar_{ijl} + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor fenotípico

μ = Media general de la población.

A_l = Efecto del l -ésimo ambiente

$B(a)_{k(l)}$ = Efecto de la k -ésima repetición dentro del l -ésimo ambiente

g_i = Efecto de la ACG del progenitor i

g_j = Efecto de la ACG del progenitor j

s_{ij} = Efecto de ACE de la craza de los progenitores i, j

m_i = Efecto materno del progenitor i

m_j = Efecto materno del progenitor j

n_{ij} = Efecto no materno de la craza de los progenitores i, j

r_{ij} = Efecto recíproco de la craza de los progenitores i, j

ag_{il} = Efecto de la interacción entre el l -ésimo ambiente y la ACG del progenitor i

- ag_{jl} = Efecto de la interacción entre el l -ésimo ambiente y la ACG del progenitor j
- as_{ij} = Efecto de la interacción entre el l -ésimo ambiente y la ACE de la craza de los progenitores i, j
- ma_{il} = Influencia de la interacción del efecto materno del progenitor i con el l -ésimo ambiente.
- ma_{jl} = Influencia de la interacción del efecto materno del progenitor j con el l -ésimo ambiente.
- an_{ij} = Influencia de la interacción del efecto no materno de la craza de los progenitores i, j con el l -ésimo ambiente.
- ar_{ij} = Influencia de la interacción del efecto recíproco de la craza (i, j) con el l -ésimo ambiente.
- e_{ijkl} = Efecto del error experimental

De acuerdo con Kang *et al.* (1999) y Dhliwayo *et al.* (2005), para la significancia estadística, se comparó el cuadrado medio (CM) de Cruzas, ACG, ACE, REC, MAT y NMAT con el CM de la interacción Cruzas X AMB, ACG X AMB, ACE X AMB, REC X AMB, MAT X AMB y NMAT X AMB respectivamente, mientras que, el CM de cada interacción se comparó con el error experimental.

Además, el comportamiento de las cruzas y progenitores en las pruebas realizadas para evaluar la calidad fisiológica de la semilla, fue analizado para aptitud combinatoria, con la utilización del método 1 modelo 1 propuesto por Griffing (1956 a) mediante el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + m_i + m_j + n_{ij} + r_{ij} + e_{ijk}$$

donde:

- Y_{ijk} = Valor fenotípico
- μ = Media general de la población.
- g_i = Efecto de la ACG del progenitor i
- g_j = Efecto de la ACG del progenitor j
- s_{ij} = Efecto de ACE de la cruce de los progenitores i, j
- m_i = Efecto materno del progenitor i
- m_j = Efecto materno del progenitor j
- n_{ij} = Efecto no materno de la cruce de los progenitores i, j
- r_{ij} = Efecto recíproco de la cruce (i, j)
- e_{ijk} = Efecto del error experimental

Para realizar los análisis dialélicos se utilizó el programa DIALLEL-SAS05 propuesto por Zhang *et al.* (2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento del Clima

Las condiciones climáticas que imperaron durante el desarrollo de los experimentos en campo se presentan en la Figura 1, la precipitación total de marzo a diciembre de 2005 fue de 805.3 mm, la cual es un poco superior a la media histórica para el mismo período, que es de 773.7 mm; sin embargo la distribución de las lluvias fue irregular, ya que durante marzo y abril estuvieron muy por debajo de lo normal y las primeras lluvias importantes (24.2 mm) ocurrieron hasta la última semana de mayo, esta fase de cerca de 40 días con deficiencia de humedad, afectó levemente el desarrollo de las primeras etapas del ciclo de cultivo en la primera fecha de siembra. Por otro lado, las primeras heladas (-4.0 °C) se presentaron en la tercera semana de octubre, cuando la segunda fecha tenía 160 días de sembrada, es decir, antes de que la mayoría de los genotipos alcanzaran la madurez fisiológica, lo cual afectó ligeramente la etapa final del llenado de grano en esta última fecha de siembra.

Análisis de Varianza

Comportamiento Agronómico

El análisis de varianza (ANVA) combinado de los dos experimentos (Cuadro 2) reportó diferencias altamente significativas para ambientes (AMB) en todas las variables evaluadas, a excepción de PV, lo cual significa que la fecha de siembra (FS) tuvo un gran impacto en la manifestación de dichas características, además, el factor genotipo (GEN) también fue altamente significativo para todos los parámetros estudiados, lo cual significa que las variedades presentaron un comportamiento diferencial, es decir, que los materiales utilizados en este estudio presentan variación para los caracteres estimados.

Por otro lado, la interacción GEN X AMB (Cuadro 2) fue no significativa para DM, NHM, PG, y PV, en tanto que, para AM y PCG fue significativa y en RG, DFM, AP, LM, NGHM y NGM dicha fuente de variación fue altamente significativa, lo cual significa que para estas variables los genotipos muestran un comportamiento diferente al cambiarlos de ambiente.

Asimismo, los coeficientes de variación (Cuadro 2) se ubicaron en un rango aceptable, ya que mostraron valores entre 1.82 % para DFM, hasta 10.55 % para NGM, lo cual es un indicativo de la confiabilidad de los datos obtenidos.

Cuadro 2. Cuadrados medios y su significancia de los análisis de varianza combinado de las características agronómicas estimadas en las evaluaciones en campo.

VARIABLE	FUENTE DE VARIACIÓN			C. V. ² (%)
	AMBIENTE (AMB) FS ¹	GENOTIPO (GEN)	GEN X AMB	
RG	152701682.00**	24893432 .00**	2050367.00**	10.14
DFM	71.76**	68.21**	30.18**	1.82
AP	75488.16**	4343.76**	372.01**	6.34
AM	76190.38**	2911.71**	163.10*	6.34
LM	60.16**	11.76**	3.12**	8.10
DM	1.48 **	0.54 **	0.05	4.22
NHM	98.41**	6.97**	2.68	6.49
NGHM	442.10**	57.17 **	14.34 **	8.68
NGM	372490.46**	21553.10**	4746.07**	10.55
PG	7.09**	0.24**	0.06	10.27
PCG	436.45**	83.46**	5.65*	6.46
PV	0.01	27.01**	2.30	1.83

¹ FS: Fecha de Siembra.

² C. V.: Coeficiente de Variación.

* Significativo al 0.05.

** Altamente significativo al 0.01.

En la mayoría de las variables evaluadas, los valores más altos se observaron en la FS 1 (Cuadro 3), a excepción de AP y AM, ya que estas características mostraron los mayores promedios en la siembra establecida el 6 de mayo, dicha situación probablemente fue ocasionada por la deficiencia de humedad que se presentó durante las primeras etapas de crecimiento de la siembra que se realizó a principios de abril, lo cual afectó el porte de la planta, situación que también es reportada por Márquez (1988), quien además señala

que la altura de los genotipos probablemente se reduce porque la sequía aplicada en la fase vegetativa, afecta parcialmente todas aquellas funciones que se encuentran en su fase de desarrollo, como el alargamiento de los entrenudos.

Cabe destacar que el mayor efecto de la fecha de siembra se detectó en RG y NGM, ya que en la primera característica, el ambiente 1 superó por más de 1.2 t al ambiente 2, mientras que, en la segunda variable, hubo una disminución de 12.5 % al sembrar el 6 de mayo (Cuadro 3), además, el mayor RG en la FS 1 podría ser atribuido a que en dicho ambiente, los componentes del rendimiento tuvieron valores más altos, situación que también fue detectada por Pérez *et al.* (1991).

Cuadro 3. Promedios obtenidos en las dos fechas de siembra establecidas.

VARIABLE	AMBIENTE	
	FS 1	FS 2
RG	8.47 a*	7.21 b
DFM	95.6 a	94.2 b
AP	221.9 b	251.1 a
AM	123.8 b	151.4 a
LM	12.8 a	12.1 b
DM	4.7 a	4.6 b
NHM	17.6 a	16.5 b
NGHM	28.6 a	26.5 b
NGM	504.1 a	441.2 b
PG	2.5 a	2.2 b
PCG	31.9 a	29.8 b
PV	74.9	74.8

*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS 0.05).

En promedio de los dos ambientes de evaluación, la cruce 2 X 4 presentó la mayor producción de grano con un rendimiento superior a 11 t ha^{-1} , además, hubo cuatro genotipos (4 X 1, 4 X 2, 1 X 2 y 3 X 1) que mostraron un RG por arriba de las 10 t (Cuadro 4). En general, los mayores RG se obtuvieron, al intervenir la L4 como progenitor femenino, con un promedio que superó las 9.3 t, similares resultados reporta Arellano *et al.* (1992) y Vasal *et al.* (1995) en el sentido de que al combinar materiales de INIFAP de VA y poblaciones del CIMMYT se obtienen altos rendimientos. Asimismo, en orden de importancia, las líneas que intervinieron mayor número de veces como progenitor hembra o macho en las cruces de más alto RG son la 4, 2, 1 y 8.

En lo que respecta al ciclo vegetativo, a nivel general, en los híbridos los DFM variaron desde 90.5 (4 X 3) hasta 97 (2 X 5) con una media de 91.7 días. De las cruces de mayor RG, el más precoz fue 8 X 4 con cerca de 92 DFM, mientras que los más tardíos presentaron 97 DFM. Las líneas progenitoras fueron un poco más tardías, ya que florecieron desde los 96 hasta cerca de los 104 días Siendo las más precoces L3, L6 y L7, mientras que las más tardías fueron L1, L2 y L8 (Cuadro 4 y 5). Lo anterior coincide con lo reportado por De la Cruz *et al* (2003) en el sentido de que el desarrollo fenológico de los híbridos es más rápido que el de sus progenitores.

En los híbridos, el mayor porte de planta y mazorca fue para el genotipo 7 X 1 con 279.1 y 188.1 cm respectivamente, mientras que 8 X 4 presentó el menor con 204 y 100 cm respectivamente. Por otro lado, la cruce 2 X 4 mostró

un valor bajo en AP y AM (Cuadro 4) con respecto a los demás genotipos que presentaron un alto RG, situación que es favorable, ya que es una característica que podría contribuir en la tolerancia al acame, lo cual también es reportado por Jugenheimer (1981) y Hallauer *et al.* (1988).

En los híbridos, la LM varió desde 10.87 cm (5 x 6) hasta 14.40 cm (2 X 8), esta última cruza junto con 4 X 2 se ubican dentro de las de mayor RG y que presentan un valor mayor a 14 cm en LM. El menor DM fue para 4 X 7 con 4.38 cm y el mayor fue en 1 x 2 con 5.43 cm, dentro de los híbridos de mayor rendimiento, 1 X 2 y 2 X 8 así como sus respectivas recíprocas mostraron los mayores promedios con más de 5.0 cm (Cuadro 4).

El mayor valor en NHM fue para la cruza 3 X 5 (18.96) en tanto que, el menor fue para 1 X 4 (15.40). Dentro de los híbridos de más alto RG, 3 X 1 y 4 X 1 tuvieron las mayores medias en NHM, con un rango cercano a 18 (Cuadro 4). El NGHM, varió desde 25.21 (3 X 5) hasta 32.40 (4 X 8), en los híbridos de mayor RG, las cruzas de 8 X 4, 3 X 2, 8 X 2 y 4 X 1 presentaron más de 30 granos por hilera de la mazorca.

El mayor NGM fue para 5 X 3 con 571.2 y el menor para 2 X 6 con 400.5, dentro de los híbridos de más alto RG, 4 X 1 y 3 X 1 tuvieron más de 536 granos por mazorca. En PG, las medias variaron desde 2.16 cm (3 X 6) hasta 2.90 cm (1 X 2), además, es necesario recordar que este híbrido se ubicó dentro de los de cuatro de mayor RG con más de 10 t ha⁻¹ (Cuadro 4).

Asimismo, la cruza 8 X 5 presentó el PCG más bajo con 26.66 g, además, este genotipo mostró uno de los menores rendimientos, por otro lado, el híbrido 1 X 2 obtuvo el mayor PCG con 38.58 g y fue estadísticamente diferente a todos los demás materiales de mayor rendimiento (Cuadro 4).

El PV varió desde 71.66 (7 X 2) hasta 78.63 kg hL⁻¹ (5 X 3), cabe señalar que los genotipos que presentaron el mayor PV, mostraron el menor PCG (Cuadros 4 y 5). En lo que respecta a las cruzas de mayor RG, los más altos valores en PV fueron para 4 X 6 y 8 X 4 con un valor superior a 76 kg hL⁻¹ (Cuadro 4).

En lo que se refiere a los progenitores (Cuadro 5), sobresalen L3, L6 y L7 y L1 que presentaron un RG superior a 3.5 t, lo anterior coincide parcialmente con Rodríguez (1992) quien también reportó buen rendimiento de líneas derivadas de Tlax. 151, VS-102 y Mich. 21. Por otro lado, L8 mostró el menor RG, con 1.13 t ha⁻¹ (Cuadro 5), lo cual es análogo a lo reportado por Arellano (1998) en el sentido de que CML 242, presenta bajos rendimientos en comparación con los materiales de INIFAP de VA.

La mayor altura de planta y mazorca (Cuadro 5) se observó en L1 con 243.6 y 154.8 cm respectivamente, mientras que el menor porte fue para L8 con 129.8 y 53.5 cm respectivamente. Por otro lado, la más alta LM se detectó en L3 (12.73

Cuadro 4. Valores promedio de las características agronómicas de 20 híbridos de mayor y tres cruzas de menor rendimiento de grano, incluidos en las cruzas dialélicas evaluadas en dos ambientes.

GENOTIPO	RG	DFM	AP	AM	LM	DM	NHM	NGHM	NGM	PG	PCG	PV
2 X 4	11.11	96.5	220.1	135.3	13.03	4.85	16.65	29.15	485.2	2.60	36.21	74.43
4 X 1	10.89	94.5	255.5	155.1	13.86	4.91	17.98	30.05	538.6	2.56	34.96	73.88
4 X 2	10.84	94.5	224.3	137.5	14.05	4.81	16.86	29.50	500.4	2.51	36.26	73.98
1 X 2	10.23	96.8	261.5	161.0	12.35	5.43	17.30	26.58	459.0	2.90	38.58	71.89
3 X 1	10.08	97.0	267.0	166.3	13.75	4.88	17.96	29.76	536.6	2.51	31.94	73.65
1 X 4	9.73	95.5	226.0	135.3	12.91	4.83	15.40	27.75	428.4	2.50	33.14	73.83
6 X 4	9.64	93.0	234.1	140.6	12.45	4.51	17.20	29.17	504.6	2.35	30.35	75.85
8 X 4	9.58	91.8	204.0	100.0	13.46	4.71	16.53	31.63	525.2	2.40	31.05	76.05
4 X 7	9.56	94.5	234.5	142.1	13.26	4.38	16.66	28.48	476.2	2.21	31.07	75.91
2 X 1	9.55	97.0	274.3	168.3	13.51	5.06	16.30	29.20	480.3	2.51	34.44	71.93
3 X 2	9.37	94.5	250.0	145.3	13.73	4.83	16.96	30.35	515.1	2.43	33.89	73.10
8 X 7	9.33	94.3	244.1	132.3	13.86	4.75	16.86	29.48	496.6	2.28	33.44	75.95
4 X 6	9.30	94.3	227.6	128.8	12.00	4.38	16.75	26.83	451.0	2.23	29.54	76.50
2 X 8	9.17	97.0	229.3	124.8	14.40	5.20	17.08	29.80	511.2	2.56	34.86	75.46
8 X 2	9.13	96.1	226.6	117.1	13.31	5.26	16.20	30.20	491.5	2.63	36.11	75.58
5 X 2	8.99	95.5	231.5	132.0	12.51	4.86	17.20	29.51	507.8	2.38	29.76	75.95
7 X 4	8.95	93.0	239.1	147.3	13.01	4.48	16.85	27.31	459.4	2.35	32.66	75.83
2 X 3	8.75	96.0	246.1	142.0	12.40	5.00	17.60	27.10	477.4	2.55	32.93	73.65
3 X 4	8.74	90.6	236.6	142.8	13.11	4.51	17.51	28.98	508.0	2.41	32.89	74.58
1 X 3	8.69	96.5	278	176.6	14.00	4.91	17.96	29.41	528.6	2.53	31.42	74.18
....
8 X 5	7.05	90.5	221.0	106.3	11.02	4.76	17.40	26.82	462.7	2.26	26.66	77.91
6 X 5	6.83	93.0	248.6	141.6	11.56	4.66	18.31	25.88	474.3	2.18	26.94	77.86
7 X 6	6.64	94.0	241.5	148.0	13.06	4.46	17.51	27.73	486.4	2.28	29.34	75.91
MEDIA	8.50	94.1	242.0	140.6	12.79	4.77	17.28	28.37	489.5	2.40	31.83	75.24
DMS (0.05)	0.90	0.8	11.5	9.9	1.51	0.22	1.26	2.72	56.72	0.27	2.26	1.56

cm) y la más baja fue para L2 (7.61 cm), asimismo, las mayores LM se presentaron en las líneas de más alto RG.

El menor DM de mazorca fue para las líneas 4 y 8 con una media de 3.61 y 3.66 cm que fueron estadísticamente iguales y diferentes a los demás progenitores, mientras que el valor más alto fue para L3 con 4.55 cm. Mientras que, L5 y L1 presentaron el más alto número de hileras por mazorca con 17.96 y 17.30, asimismo, L8 tuvo el promedio más bajo en esta última característica (Cuadro 5).

En NGHМ las líneas 3 y 6 mostraron los valores más altos, en tanto que, estos mismos progenitores y L1 presentaron más de 400 granos por mazorca (Cuadro 5), en tanto que, L8 mostró los promedios menores en las características antes mencionadas.

Mientras que, los promedios más elevados en PG se detectaron en las líneas de RG más alto. En PCG, la mayor media se detectó en las líneas 6 y 2, además L8 mostró el valor más pequeño con 22.35 gr (Cuadro 5). En tanto que el PV varió desde 66.63 (L2) hasta 75.43 kg hL⁻¹ (L6).

En general, en los progenitores, las medias más altas en características agronómicas (RG, AP y AM), así como en parámetros de mazorca y grano se presentaron en las líneas 1, 3, 6 y 7, mientras que en estos mismos caracteres, los valores más bajos se observaron en L8 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores promedio de las características agronómicas de las ocho líneas endogámicas progenitoras de las cruzas dialélicas evaluadas en dos ambientes.

LÍNEA	RG	DFM	AP	AM	LM	DM	NHM	NGHM	NGM	PG	PCG	PV
3	4.50	96.5	236.8	137.3	12.73	4.55	16.35	26.13	427.6	2.43	25.50	75.03
6	4.40	96.5	232.0	135.5	12.43	4.38	15.75	26.56	412.4	2.46	25.96	75.43
7	4.22	96.5	229.6	139.3	12.21	4.40	15.60	25.45	397.8	2.15	25.89	74.93
1	3.69	103.5	243.6	154.8	11.88	4.48	17.30	25.30	441.2	2.28	23.29	69.85
4	2.95	100	156.3	90.3	9.61	3.61	15.41	22.35	348.5	1.65	20.48	74.13
5	2.41	100	185.3	98.8	7.70	4.33	17.96	18.35	331.4	1.95	22.82	75.20
2	2.39	103.5	164.1	104.6	7.61	4.50	15.18	15.65	239.8	1.96	25.95	66.63
8	1.13	103.5	129.8	53.5	8.43	3.66	14.40	15.56	225.2	1.66	22.35	72.51
MEDIA	3.21	100	197.2	114.2	10.32	4.24	15.99	21.92	352.9	2.07	24.03	72.96
DMS (0.05)	0.90	0.8	11.5	9.9	1.51	0.22	1.26	2.72	56.72	0.27	2.26	1.56

VARIABLES DE LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLA

Los análisis de varianza efectuados en las pruebas que se realizaron para estimar la calidad fisiológica de semilla (Cuadro 6) detectaron diferencias altamente significativas en todas las variables estudiadas en la fuente de variación tratamientos (genotipos) lo que indica la existencia de una gran variabilidad genética en los materiales evaluados, por lo que se podría explotar su potencial, lo anterior coincide con lo reportado por Manjarrez (2006) quien al evaluar diversas características relacionadas con vigor, encontró un comportamiento diferencial de variedades de maíz.

Los coeficientes de variación se ubicaron en un rango aceptable, ya que en la mayoría de las variables no rebaso el 20 %, a excepción de LPPF y LPGEA que fueron de 21.3 y 20.1 %, respectivamente.

Cuadro 6. Cuadrados medios y su significancia de los análisis de varianza de los caracteres de calidad fisiológica de semilla.

VARIABLE	FUENTE DE VARIACIÓN:	
	TRAT. (GENOTIPOS)	C. V. ¹ (%)
GE	96.4**	5.4
LPGE	6.2**	11.6
PSPGE	195.7**	11.1
GEA	400.0**	15.3
LPGEA	6.4**	20.1
PSPEA	172.8**	19.3
GPF	139.0**	5.4
LPPF	10.9**	21.3
PSPPF	247.1**	11.1
ETC	83.1**	4.8
IVE	1.9**	17.7

**Altamente significativo al 0.01.

¹C. V.: Coeficiente de Variación

En GE, el mayor promedio se observó en 3 X 4, 6 X 3, 3 X 1 y 4 X 3 con cerca de 100 %, además, cabe señalar que al intervenir L3 como progenitor femenino se detectaron los más altos valores con 95.8 %, en cuanto a los progenitores, las menores medias fueron para las líneas 2, 4 y 8, mientras que, L1 tuvo el porcentaje más alto (Cuadro 7).

En LPGE, las cruzas con más altos valores se obtuvieron al intervenir L5 como progenitor hembra y cruzarse con L3, L8, L6 y L4 con más de 11 cm, mientras que, en 3 X 4 se tuvo el valor más bajo con 7.27 cm. En esta variable, el mejor progenitor fue L6 con 10.0 cm y el menor promedio fue para L2 y L8 con menos de 7 cm. (Cuadro 7). Lo anterior coincide con lo reportado por Magaña (1992) en el sentido de que líneas endogámicas derivadas de Tlax.151 presentan un notable crecimiento de plántula.

Las cruzas de mayor PSPGE fueron 5 X 8 y 6 X 3 con un promedio mayor a 59 mg, lo cual es de mucha ventaja, ya que estos híbridos también se ubicaron dentro de los más altos en LPGE, en tanto que, 8 X 6 y 2 X 7 fueron los más bajos con menos de 38 mg. En este parámetro, L3 presentó el mayor valor, mientras que L2 tuvo la menor media (Cuadro 7).

En lo que respecta a los parámetros evaluados en la prueba de envejecimiento acelerado, destaca el comportamiento de la craza de 7 X 1 que en GEA fue el mejor con 87 % y en LPGEA se ubicó en segundo lugar en importancia con 11.49 cm, mientras que, en PSPEA se encontró en sexto lugar,

así mismo, cabe resaltar que los híbridos 8 X 6 y su recíproco, se situaron en los primeros lugares en GEA, mientras que, en LPGEA y PSPEA están dentro de los 15 genotipos más sobresalientes. En este aspecto, el mejor progenitor fue L3, en tanto que, en promedio L2 presentó los más bajos valores (Cuadro 7). Los anteriores resultados, coinciden con lo reportado por Molina *et al.* (1992) y por De Souza *et al.* (2000), en el sentido de que los materiales genéticos responden de manera diferencial al envejecimiento acelerado.

En GPF, las cruzas con mejor comportamiento fueron 5 X 6, 6 X 3, 5 X 8, 6 X 1, 5 X 1 y 5 X 4 con cerca del 100 %, cabe recordar que estos mismos híbridos presentaron valores altos en LPGE, además, es necesario resaltar que en el caso de 5 X 1 también exhibe un promedio sobresaliente en LPPF, en esta última variable, los genotipos 7 X 8 y 6 X 8 mostraron las medias más altas, asimismo, el primer material fue notable en PSPPF, en donde las mejores cruzas fueron 8 X 4, 3 X 1 y 8 X 1 con más de 70 mg. En general, en las variables evaluadas en la prueba fría, los mejores progenitores fueron L1, L3, L6 y L7, mientras que L2, L4 y L8 mostraron un pobre comportamiento (Cuadro 7).

Es importante señalar que al realizar una comparación general de los resultados del envejecimiento acelerado y la prueba fría, se puede notar (Cuadro 7) que la primera ocasionó una reducción de la capacidad germinativa de las semillas, lo que resalta la sensibilidad de la metodología para detectar niveles de vigor, tal y como lo señala Mudrovitsch y Vieira (2006). Sin embargo,

el tratamiento en frío, en lugar de provocar una reducción de la germinación, originó un ligero aumento de ésta, así como de la longitud de plúmula y el peso seco de plántula, en la mayoría de los genotipos evaluados, lo cual muestra que en este caso, la técnica no fue útil para determinar semillas con diferente vigor. Estos resultados son similares a los presentados por Gámez (2007) y Molina *et al.* (2003) quien además indica que las bajas temperaturas no imponen una situación adversa, sino una condición promotora de la capacidad germinativa, además, también sería aconsejable seguir la recomendación reportada por Lovato *et al.* (2005) en el sentido de que para variedades tolerantes a temperaturas bajas, la prueba fría en 5 °C puede ser necesaria para detectar diferencias de calidad fisiológica entre lotes de semilla.

En ETC se distinguen por su comportamiento las cruzas 3 X 4, 1 X 7, 5 X 8, 6 X 1, 5 X 1, 3 X 2 y 5 X 6 con un promedio superior a 97 %, además, estos mismos híbridos se ubicaron dentro de los 20 genotipos más destacados en IVE con un valor mayor a 4.0, el cual de acuerdo con Magaña (1992) se considera de alto vigor. En cuanto a las líneas progenitoras destacan L3, L5, y L7 con una ETC arriba a 90% e IVE que sobrepasa 3.5, caso contrario sucede con L2 y L8 que muestran los menores valores en las dos variables mencionadas anteriormente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Promedios de las características de calidad fisiológica de semilla.

GENOTIPO	GE	LPGE	PSPGE	GEA	LPGEA	PSPEA	GPF	LPPF	PSPPF	ETC	IVE
1 X 2	87.0	9.21	44.27	66.3	7.21	23.35	94.0	13.92	65.73	90.0	2.72
1 X 3	86.0	8.83	49.93	63.0	8.41	29.81	87.0	10.61	62.33	86.7	3.86
1 X 4	83.0	9.58	45.80	72.8	9.16	33.58	88.0	10.95	50.56	85.3	2.90
1 X 5	85.0	8.70	48.87	83.0	8.42	32.26	97.0	13.41	66.24	85.3	4.39
1 X 6	92.0	7.88	50.73	67.0	8.81	30.33	97.0	9.15	58.58	93.3	3.45
1 X 7	95.0	9.77	52.21	74.0	7.95	28.69	96.0	7.84	57.14	97.3	4.71
1 X 8	96.0	7.40	43.66	78.0	6.46	44.60	87.0	10.09	69.38	96.0	3.02
2 X 1	89.0	10.76	49.19	67.0	9.65	30.10	88.0	9.90	54.44	88.0	3.23
2 X 3	85.5	9.60	41.10	73.0	9.50	35.99	85.0	12.18	54.28	85.3	3.20
2 X 4	86.0	8.83	42.94	74.0	8.27	42.02	82.0	11.47	54.59	88.0	3.57
2 X 5	86.0	10.71	44.35	69.0	10.52	33.04	85.0	12.35	53.37	86.7	3.26
2 X 6	86.5	10.28	46.38	68.0	8.62	29.13	80.0	11.06	51.04	80.0	2.05
2 X 7	84.0	9.43	37.26	55.0	9.52	36.43	81.0	13.69	50.02	80.0	2.42
2 X 8	89.0	7.78	39.53	84.0	7.70	38.72	85.0	10.97	65.64	88.0	2.86
3 X 1	99.0	10.82	56.24	68.0	8.45	33.56	96.0	12.14	72.36	94.7	4.20
3 X 2	97.0	10.38	44.44	60.0	7.91	27.85	96.0	10.26	49.85	97.3	4.19
3 X 4	99.0	7.27	52.30	78.0	9.05	36.74	97.0	9.65	60.85	98.7	4.36
3 X 5	98.0	9.75	57.76	82.0	8.83	34.62	97.0	10.83	68.77	96.0	4.18
3 X 6	95.0	9.52	52.83	72.0	7.73	29.59	96.0	10.80	65.83	98.7	3.50
3 X 7	97.0	10.24	56.47	61.0	9.27	37.75	94.0	10.04	60.54	96.7	3.66
3 X 8	86.0	7.81	43.22	82.0	9.45	42.80	91.0	9.44	65.43	88.0	3.09
4 X 1	87.0	10.66	43.22	64.0	8.96	28.70	94.0	11.90	53.93	86.7	4.20
4 X 2	94.0	10.70	42.45	63.0	7.40	25.74	98.0	11.66	50.53	96.0	4.40
4 X 3	99.0	9.06	40.93	59.0	6.99	20.29	97.0	12.05	51.33	96.0	4.20
4 X 5	89.0	8.86	41.53	58.0	7.08	23.43	89.0	9.55	48.07	89.3	3.96
4 X 6	86.0	9.03	41.03	62.0	8.38	26.23	91.0	11.51	54.81	89.3	4.29
4 X 7	96.0	9.81	42.00	63.0	8.60	30.17	94.0	13.44	56.60	94.7	4.21
4 X 8	87.0	9.24	47.57	56.0	9.16	33.31	92.0	10.39	52.41	89.3	3.89
5 X 1	98.0	11.04	47.34	52.0	9.91	23.61	99.0	14.38	58.44	97.3	5.15
5 X 2	94.0	10.31	48.39	61.0	8.35	22.75	96.0	12.24	51.86	94.7	4.04
5 X 3	96.0	12.97	49.31	59.0	9.64	26.32	97.0	13.34	56.76	94.7	4.81
5 X 4	95.0	11.44	51.99	60.0	8.15	23.78	99.0	12.34	58.79	95.3	3.76
5 X 6	98.0	11.87	50.71	62.0	11.51	28.36	99.0	13.13	57.56	97.3	4.90
5 X 7	92.0	10.81	48.36	61.0	9.63	21.76	93.0	12.86	53.07	84.0	4.09

Continuación.....

Cuadro 7. Continuación.....

GENOTIPO	GE	LPGE	PSPGE	GEA	LPGEA	PSPEA	GPF	LPPF	PSPPF	ETC	IVE
5 X 8	97.0	12.58	62.70	58.0	10.09	30.16	99.0	11.85	64.13	97.3	4.27
6 X 1	95.0	11.42	48.85	63.0	10.97	35.49	99.0	13.07	61.23	97.3	4.77
6 X 2	95.0	10.94	46.87	77.0	9.30	27.62	92.0	13.71	59.65	93.3	4.39
6 X 3	99.0	11.63	59.64	63.0	9.51	29.62	99.0	11.79	63.80	96.0	4.79
6 X 4	96.0	10.18	54.52	77.0	9.58	33.54	96.0	10.44	60.73	94.7	4.52
6 X 5	94.0	11.31	51.69	60.0	7.45	24.88	94.0	12.34	61.51	96.0	4.42
6 X 7	98.0	10.98	49.33	76.0	10.56	30.15	98.0	12.89	59.66	96.7	3.60
6 X 8	88.0	9.38	38.29	86.0	9.88	37.10	91.3	14.60	59.38	89.3	2.84
7 X 1	94.0	11.23	47.43	87.0	11.49	39.00	90.0	13.45	62.46	92.0	3.35
7 X 2	86.0	10.05	45.07	68.0	9.68	32.99	94.0	13.00	54.20	88.0	3.37
7 X 3	89.0	9.72	42.21	56.0	9.09	28.28	92.0	13.98	51.12	85.3	3.67
7 X 4	89.0	8.37	45.61	72.0	8.35	30.30	95.0	11.66	58.28	92.0	4.25
7 X 5	93.0	9.49	52.65	74.0	8.82	37.11	97.0	12.66	69.52	91.3	2.84
7 X 6	90.0	9.91	47.05	80.0	8.63	29.66	90.0	12.41	59.40	92.7	3.41
7 X 8	87.0	9.30	40.85	80.0	9.98	38.43	98.0	14.61	68.19	89.3	3.09
8 X 1	84.5	9.25	56.62	67.0	7.98	35.83	86.5	11.62	71.55	86.0	2.82
8 X 2	89.0	9.30	54.87	67.0	9.21	38.37	86.0	9.85	59.98	88.3	1.96
8 X 3	91.0	9.78	54.78	72.0	8.23	32.86	93.0	10.13	61.89	93.3	2.83
8 X 4	89.0	7.82	57.73	66.0	7.04	33.30	86.5	9.98	73.41	88.0	2.99
8 X 5	88.0	9.12	58.83	78.0	8.99	40.01	86.0	9.25	61.98	89.3	3.30
8 X 6	87.0	9.29	37.34	87.0	9.89	36.05	91.0	11.37	56.30	88.0	3.50
8 X 7	93.0	9.07	40.19	85.0	9.51	39.71	95.0	14.21	60.01	95.3	3.24
L1	98.0	9.49	43.62	59.0	8.93	28.87	97.0	10.69	55.91	94.7	3.12
L2	84.5	6.70	23.71	49.0	5.31	16.20	79.0	9.73	33.13	76.0	1.30
L3	87.0	7.17	48.64	69.0	7.97	28.76	88.0	10.56	58.78	93.3	3.74
L4	85.5	8.37	27.85	52.0	6.41	21.50	77.0	8.92	31.40	85.3	2.59
L5	90.0	9.72	45.01	71.0	7.71	23.82	88.0	11.40	49.56	90.7	3.53
L6	87.0	10.00	47.54	78.0	8.54	23.13	88.0	11.73	51.04	86.6	3.77
L7	94.0	9.91	43.45	84.0	8.92	29.25	94.0	11.01	50.61	93.3	3.61
L8	86.0	6.99	45.95	62.0	4.85	21.95	78.0	8.06	48.37	77.3	1.87
MEDIA	91.3	9.73	47.07	68.9	8.71	30.93	91.7	11.57	57.79	90.9	3.60
DMS (0.05)	6.9	1.58	7.34	14.7	2.45	8.42	6.9	3.46	8.91	7.1	1.03

Análisis Dialélico

Características Agronómicas

El análisis dialélico combinado (Cuadro 8) de las dos fechas de siembra (AMB) detectó diferencias significativas en ACG para RG y DFM, mientras que, este factor fue altamente significativa en AP, AM, DM, NHM, PG, PCG y PV, por lo que se puede señalar que para las características mencionadas, los progenitores tienen un comportamiento diferencial en su ACG, esto debido principalmente a efectos aditivos. Por otro lado, la ACE fue altamente significativa en todas las variables evaluadas a excepción de NHM, lo que indica que al menos una de las cruzas difiere de las demás en ACE para estas variables, esto a causa de los efectos no aditivos.

Asimismo, los efectos recíprocos (ER) fueron significativos en AP, LM y PV, lo que hace suponer que para estas variables, el valor expresado en la crucea (i, j) es diferente de aquel obtenido en el híbrido en dirección inversa (j, i), en este aspecto, Hansen y Bagget (1977) reportaron también diferencias recíprocas en AP y LM. Además, los efectos maternos (EM) por muy poco margen, fueron apenas significativos sólo en RG, en este sentido, Velázquez *et al.* (1992) reportaron EM para RG en una de las tres localidades estudiadas en Valles Altos de México. Por otro lado, los efectos no maternos (ENM) fueron significativos y altamente significativos en AP y LM respectivamente (Cuadro 8). Es importante recordar, que de acuerdo con Kang *et al.* (1999) el factor materno

(recíproco general) se refiere al efecto del genotipo o tejido materno sobre alguna característica de su descendencia, mientras que, el componente no materno (recíproco específico) es la interacción entre factores extranucleares y nucleares en las cruzas (Zhang y Kang, 1997).

Por otro lado, la interacción ACG X AMB fue significativa para AP y AM, y altamente significativa en RG, LM, DM, NGHM, NGM y PCG. Mientras que, ACE X AMB fue significativa en DFM y altamente significativa en RG, AP, AM y NGM, lo anterior resalta la importancia de repetir los experimentos en una serie de ambientes para obtener estimaciones más consistentes, lo que también es reportado en Valles Altos de México por Velázquez *et al.* (1992). Asimismo el factor REC X AMB fue significativo en DFM y en RG y NGHM fue altamente significativo. Mientras que el efecto MAT X AMB fue sólo significativo en DFM, AP y DM, además NMAT X AMB fue altamente significativo en RG y NGHM (Cuadro 8), lo que hace suponer que para estas características, la manifestación del efecto recíproco, materno y no materno dependen del ambiente, situación que de igual manera es reportada por Kang *et al.* (1999).

Al desglosar las cruzas en ACG y ACE y no obstante de haber obtenido las diferencias significativas mencionadas (Cuadro 8), se detectó que la ACE contribuyó con más del 80 % a la suma de cuadrados (SC) de genotipos (GEN) en RG, NGHM y NGM, mientras que en PG y PCG representó más del 65 %, además, en DFM, LM y DM participó con más del 58 %, esta importancia de los efectos no aditivos en dichas características coincide con lo reportado por

Gutiérrez *et al.* (2002) y De la Cruz *et al.* (2003), sin embargo, es contrario a lo detectado por Pérez *et al.* (1991) quizás porque en su estudio, estos autores utilizaron variedades criollas de Valles Altos.

Por otro lado, la ACG predominó en AM y PV ya que representó alrededor del 70 % de la SC de cruzas, mientras que en AP y NHM contribuyó con el 51 y 41 % respectivamente, esta relevancia de los efectos aditivos en AP y AM también fue detectada por Antuna *et al.* (2003).

En el Cuadro 8, se observa que los ER fueron significativos en tres caracteres (AP, LM y PV), en las dos primeras variables esto se debe a los efectos no maternos ya que estos fueron significativos en AP y altamente significativos en LM, no obstante lo anterior, los ER presentaron en general bajos valores y más pequeños que los obtenidos para ACG y ACE, ya que se detectó que sólo contribuyen en promedio con un 10 % en el desglose de la SC de genotipos del análisis dialélico en todas las variables evaluadas (Cuadro 8), lo anterior coincide con lo reportado por Hansen y Bagget (1977), además, Velázquez *et al.* (1992) señalan que dichos factores son inconsistentes a través de ambientes.

La estimación de los efectos de ACG de las líneas endogámicas progenitoras de las cruzas dialélicas (Cuadro 9), revelaron que en RG, los valores positivos mayores fueron para la línea 4, 1 y 2 con 0.766, 0.443 y 0.378

Cuadro 8. Suma de cuadrados (SC) y significancia del análisis dialélico combinado para características agronómicas.

F. V.¹	RG	DFM	AP	AM	LM	DM
GEN	1568286205.00**	4297.23**	273656.90**	183437.85**	741.11**	34.05**
ACG	166650969.00*	974.22*	138411.56**	129786.47**	209.35	12.16**
ACE	1365005524.70**	2498.84**	120973.59**	49449.96**	438.58**	19.96**
REC ²	36629711.10	824.16	14271.75*	4201.41	93.17*	1.93
MAT ³	11992193.70*	315.62	4150.87	1623.68	17.37	0.40
NMAT ⁴	24637517.30	508.54	10120.87*	2577.72	75.79**	1.52
GEN X AMB	129173100.00**	1901.90**	23437.16**	10275.33*	197.07**	3.46
ACG X AMB	38605811.8**	252.27	3385.20*	1844.80*	101.15**	0.93**
ACE X AMB	48001075.20**	819.46*	12220.87**	5885.10**	57.13	0.91
REC X AMB	42566212.60**	830.16*	7831.08	2545.41	38.78	1.62
MAT X AMB	2882371.50	311.75*	3265.41*	486.31	12.37	0.61*
NMAT X AMB	39683841.10**	518.41	4565.66	2059.10	26.41	1.00

¹F. V.: Fuentes de variación.

²REC: Recíproco

³MAT: Materno

⁴NMAT: No materno

**Altamente significativo al 0.01

*Significativo al 0.05

Continuación.....

Cuadro 8. Continuación.....

F. V.¹	NHM	NGHM	NGM	PG	PCG	PV
GEN	439.44**	3602.25**	1357845.79**	15.44**	5258.35**	1702.05**
ACG	179.16**	268.19	65911.60	3.33**	1625.26**	1187.87**
ACE	131.80	2986.2**	1155944.46**	10.17**	3454.33**	401.67**
REC ²	128.40	347.44	135989.72	1.93	178.7	112.51*
MAT ³	21.87	88.95	34589.84	0.34	34.59	57.15
NMAT ⁴	106.52	258.48	101399.88	1.58	144.15	55.35
GEN X AMB	169.10	903.99**	299002.80**	4.28	356.54*	145.43
ACG X AMB	19.27	265.43**	75242.09**	0.80	122.60**	24.09
ACE X AMB	73.92	245.58	121672.15**	1.48	87.13	65.29
REC X AMB	75.91	392.96**	102088.54	1.99	146.80	56.04
MAT X AMB	12.88	61.94	15071.28	0.81	46.21	16.83
NMAT X AMB	63.02	331.02**	87017.25*	1.17	100.58	39.21

¹F. V.: Fuentes de variación.

²REC: Recíproco

³MAT: Materno

⁴NMAT: No materno

**Altamente significativo al 0.01

*Significativo al 0.05

t ha⁻¹ respectivamente, esto sugiere que tales materiales presentan genes de efectos aditivos que se expresan favorablemente para rendimiento de grano. Por otro lado, L5, L6, L7 y L8 tuvieron valores negativos, lo anterior coincide con Velázquez *et al.* (1992) que también estimaron ACG positivas en líneas derivadas de Mich. 21 y Pérez *et al.* (1991) detectaron altos valores de ACG en la población Mich. 21, asimismo, Balderrama *et al.* (1997) indicaron mayores efectos de ACG para rendimiento de grano en la población citada y en Tlax. 151. Además, Arellano (1998) reportó efectos negativos en progenitores derivados de Tlax. 151, sin embargo, contrario a lo expuesto, este último investigador detectó valores positivos en CML 242 (L8), lo cual posiblemente se deba a que su estudio fue realizado en Chapingo, México, que si bien esta localizado en la zona de Valles Altos, presenta condiciones ambientales diferentes a la región de Toluca, como son: altitud, temperatura, precipitación y tipo de suelo, entre otras. Además, Vasal *et al.* (1995) señalan que existe interacción entre la ACG y el ambiente de evaluación

En DFM (Cuadro 9), L5 presentó el valor negativo más alto (-1.244 días) y L2 tuvo el mayor efecto positivo con 2.244 días. Por otro lado, en altura de planta y mazorca, la línea 1 tuvo los mayores valores positivos con 23.567 y 22.627 cm respectivamente, mientras que L8 presentó los efectos negativos más elevados en AP y AM con -16.734 y -22.153 cm respectivamente.

En diámetro de mazorca (DM) los progenitores 2 y 4 presentaron los valores positivos y negativos más altos con 0.209 y -0.204 cm respectivamente, mientras que esta última línea tuvo también el efecto negativo más elevado en

NHM, y en este carácter, L5 mostró la mayor cantidad positiva con 1.082 hileras (Cuadro 9).

En PG (Cuadro 9), el mayor valor positivo fue para L1 (0.109 cm), en tanto que, en PCG y PV, la línea 2 tuvo los efectos positivos y negativos más altos con 2.515 gr y -2.055 kg hL⁻¹ respectivamente, contrariamente, en estas mismas variables, L5 presentó las cantidades negativas y positivas más elevadas con -2.830 gr y 2.190 kg hL⁻¹.

La estimación de los efectos de ACE de las cruzas dialélicas (Cuadro 10) detectaron en RG el mayor efecto positivo en los híbridos 2 X 8 y 8 X 4 con 7.52 y 7.22 t ha⁻¹, asimismo, se observó que en los siete genotipos de más alto rendimiento, hubo un valor positivo y superior a 1.0 t ha⁻¹, lo anterior coincide parcialmente con lo reportado por Pérez *et al.* (1991) en el sentido de que una cruce simple será de alto rendimiento si sus dos líneas progenitoras son de alta ACG o si su efecto de ACE es alto y al menos una de sus líneas es de alta ACG, no obstante, en el caso de las cruzas 8 x 7 que mostró alto RG y ACE, pero que las dos líneas son de ACG negativa, o bien, el material 8 X 5 que mostró alto ACE, pero bajo RG y esta formado por dos progenitores con ACG

Cuadro 9. Estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las ocho líneas endogámicas progenitoras de las cruza dialélicas.

Línea	RG	DFM	AP	AM	DM	NHM	PG	PCG	PV
1	0.443**	0.984*	23.567**	22.627**	0.157**	0.082	0.109**	0.659**	-1.629**
2	0.378**	2.244**	-5.182*	-0.643	0.209**	-0.248	0.088**	2.515**	-2.055**
3	0.058	-1.151**	10.109**	5.325**	-0.016	0.291	0.0364	-0.214	0.211
4	0.766**	-0.901*	-17.630**	-10.997**	-0.204**	-0.545**	-0.056*	-0.130	0.423**
5	-0.708**	-1.244**	-8.151**	-8.955**	0.019	1.082**	-0.085**	-2.830**	2.190**
6	-0.295**	-0.307	7.932**	5.190**	-0.110**	-0.186	-0.017	-1.134**	0.368**
7	-0.260**	-0.192	6.088**	9.60**	-0.055**	-0.020	-0.034	0.852**	-0.083
8	-0.383**	0.567	-16.734**	-22.153**	0.001	-0.455**	-0.040	0.281	0.573**

*, ** Diferentes de cero al 0.05 y 0.01 respectivamente

negativa, pudo haber sido ocasionado por diferentes factores como son el bajo número de ambientes estudiados (dos), situación que puede influir en la cuantificación de la ACG y ACE, tal y como lo menciona De la Cruz *et al.* (2003). Por otro lado, Hallauer y Miranda (1981) señalan que los efectos no aditivos adquieren más importancia en las cruzas entre progenitores no emparentados por la mayor expresión de efectos heteróticos, como sucedió en 8 X 7, además, cabe recordar que los efectos no aditivos son de mayor relevancia conforme se incrementa la endogamia de los padres involucrados, y en este aspecto la línea 8 presenta un nivel de endogamia de S_7 . Por último, cabe señalar que Arellano (1998) también detectó efectos favorables de ACE para rendimiento en las cruzas realizadas con las líneas derivadas de Tlax. 151 y Mich. 21 por la subtropical CML 242.

En DFM, los valores negativos más elevados de ACE (Cuadro 10) fueron para 8 X 4 (-10.30) situación que resulta de mucha ventaja ya que sería un material que aportaría precocidad y aparte presentó un buen RG (superior a 9.5 t ha^{-1}), no obstante, esta misma craza mostró valores positivos altos en AP Y AM (47.35 y 21.48 cm respectivamente), asimismo, otros genotipos que presentan dicha situación en AP son 8 X 7 y 1 X 2, mientras que en AM el mayor valor positivo fue para 2 X 8 (37.84 cm), además en esta misma característica, se detectó que el material 4 X 1 tuvo valores negativos elevados con -13.24 cm, por lo que este genotipo podría contribuir en la reducción del porte de la mazorca.

En LM y DM (Cuadro 10), la cruce 2 x 8 tuvo los valores positivos de ACE más altos (5.383 y 0.941 cm respectivamente), mientras que en la primera variable, 8 X 4 (3.695 cm) mostró también dicha situación, además, de los genotipos de mayor RG, el híbrido 2 X 4 presentó efectos positivos de 1.189 y 0.112 cm para LM y DM respectivamente.

En NGHM (Cuadro 10), los valores positivos de ACE más altos fueron para: 2 X 8, 8 X 4, 8 X 5, 8 X 7, 5 X 2 y 2 X 4 con 13.66, 9.74, 8.02, 3.73, 2.78 y 1.77 cm, respectivamente, mientras que en NGM estos mismos genotipos presentaron igual orden con 255.14, 189.45, 165.83, 102.25, 39.36 y 35.74 cm.

En PG los valores positivos de ACE más importantes fueron para 2 X 8 (0.762 cm) y 8 x 4 (0.759 cm), mientras que en PCG las cruces 8 X 4 (10.73 cm), 8 X 7 (8.22 cm), 2 X 4 (2.98 cm), 4 X 1 (2.65 cm) y 1 X 2 (2.47 cm) presentaron los mayores efectos positivos (Cuadro 10).

No obstante que el análisis dialélico (Cuadro 8) reportó diferencias significativas en la fuente maternal para RG, al desglosar la estimación de dichos efectos en cada uno de los progenitores evaluados, no se detectaron diferencias estadísticas (Cuadro 11).

En AP, el análisis dialélico (Cuadro 8) indicó diferencias significativas en efectos recíprocos (ER), lo cual fue ocasionado principalmente por la significancia de los efectos no maternos (ENM) y al estimar dichos factores se

Cuadro 10. Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 20 híbridos de mayor y cuatro cruza de menor rendimiento de grano incluidos en las cruza dialélicas evaluadas en dos ambientes.

Cruza	RG	DFM	AP	AM	LM	DM	NGHM	NGM	PG	PCG
2 X 4	1.98**	-0.57	9.13	10.69*	1.189**	0.112*	1.77*	35.74*	0.161	2.98**
4 X 1	1.26**	0.18	-1.11	-13.24**	0.418	0.205**	0.39	-4.38	0.115	2.65**
4 X 2	1.98**	-0.57	9.13	10.69*	1.189**	0.112*	1.77*	35.74*	0.161	2.98**
1 X 2	1.23**	-1.04	13.59*	5.32	-0.060	0.166**	0.38	-2.26	0.145	2.47**
3 X 1	1.07**	2.18*	2.89	6.18	0.557	0.042	1.22	34.46*	0.014	0.37
1 X 4	1.26**	0.18	-1.11	-13.24*	0.418	0.205**	0.39	-4.38	0.115	2.65**
6 X 4	1.16**	0.22	4.68	3.19	-0.379	0.048	-0.15	8.44	0.001	0.33
8 X 4	7.22**	-10.30**	47.35**	21.48*	3.695**	0.885	9.74**	189.45**	0.759**	10.73**
4 X 7	0.91**	0.10	12.44*	8.77	0.319	-0.022	-0.12	-4.33	0.009	0.27
2 X 1	1.23**	-1.04	13.59*	5.32	-0.060	0.166	0.38	-2.26	0.145	2.47**
3 X 2	0.78**	0.57	7.22	1.62	0.361	0.007	1.32	28.94	0.002	0.24
8 X 7	4.59**	-2.84	14.90*	-2.09	1.628**	0.301	3.73**	102.25**	0.147	8.22**
4 X 6	1.16**	0.22	-3.25	3.19	-0.379	-0.066	-0.15	8.44	0.001	0.33
2 X 8	7.52**	-5.23*	1.33	37.84**	5.383**	0.941**	13.66**	255.14**	0.762**	-0.13
8 X 2	7.52**	-5.23*	1.33	37.84**	5.383**	0.941**	13.66**	255.14**	0.762**	-0.13
5 X 2	1.18**	0.51	1.33	7.07	1.358**	-0.061	2.78**	39.36*	-0.001	-0.40
7 X 4	0.91**	0.10	12.44*	8.77	0.319	-0.022	-0.12	-4.33	0.009	0.27
2 X 3	0.78**	0.57	7.22	1.62	0.361	0.007	1.32	28.94	0.002	0.24
3 X 4	0.09	-2.09	12.17*	12.55*	-0.008	0.004	0.17	11.73	0.055	1.02
1 X 3	1.07**	2.18	2.89	6.18	0.557	0.042	1.22	34.46*	0.014	0.37
....
5 X 7	0.80**	1.20	10.71	6.40	0.014	0.145*	0.50	15.66	0.090	0.52
8 X 5	4.50**	-9.31**	44.08**	20.36*	2.601**	0.420**	8.02**	165.83**	0.238	1.36
6 X 5	0.18	0.56	11.36*	7.40	-0.168	0.041	-0.39	9.46	0.030	1.00
7 X 6	-0.24	0.09	-6.70	-5.57	-0.361	-0.066	0.08	9.31	-0.004	-1.11

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

detectó que los híbridos 1 X 4 y 7 X 8 presentan ER negativos elevados de -14.7 y -22.4 cm, respectivamente (Cuadro 12), mientras que, estos dos genotipos presentan los mayores ENM negativos con -10.5 y -18.0 cm, respectivamente, por lo que utilizados en ese sentido, los dos híbridos contribuyen al menor porte de planta, de otro modo, si se emplean las cruzas recíprocas (4 X 1 y 8 X 7) de dichos materiales genéticos, sus valores de ER y ENM serían los mismos pero positivos y en este caso aportarían una mayor altura de planta.

Cuadro 11. Efectos maternos para la variable rendimiento de grano (RG) de las ocho líneas endogámicas progenitoras de las cruzas dialélicas.

Línea	Efecto materno
1	-154.06
2	-177.58
3	169.28
4	-22.46
5	21.76
6	132.55
7	-89.57
8	120.07

Cuadro 12. Estimación de los efectos recíprocos (arriba de la diagonal) y no maternos (debajo de la diagonal) para altura de planta (AP).

Línea	L í n e a							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-6.4	5.5	-14.7*	0.4	-7.1	-3.3	-1.5
2	-2.0		-1.9	-2.0	1.3	3.8	-1.5	1.3
3	6.3	-5.3		-3.9	-6.5	-6.9	-2.3	2.7
4	-10.5*	-2.1	-0.5		-9.3	-3.2	-2.3	0.5
5	6.1	2.7	-1.5	-7.7		-1.5	6.5	-0.1
6	-0.9	5.7	-1.5	-1.2	-1.1		1.7	5.7
7	-2.5	-5.1	-2.4	-5.7	1.5	-3.7		-22.4**
8	3.5	2.1	7.0	1.5	-0.8	4.6	-18.0**	

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Además, en LM el análisis dialélico (Cuadro 8) detectó diferencias significativas en ER, lo cual fue provocado por la alta significancia de los ENM, asimismo, en el Cuadro 13, se observa que los mayores ER y ENM positivos se presentaron en el genotipo 2 X 8 con 1.38 y 0.97 cm, respectivamente, además la cruce 3 X 5 mostró valores elevados negativos en estos dos factores con -1.03 y -0.68 cm, respectivamente, es decir, que al utilizar el híbrido 2 X 8 en ese sentido se tiene mayor LM, en caso contrario, si interviene la cruce recíproca (8 X 2), entonces, presentaría el mismo valor de ER y ENM pero negativo y aportaría un menor valor de LM.

El análisis dialélico (Cuadro 8) indicó diferencias altamente significativas en ACE y significativas en ER en peso volumétrico (PV), con respecto a la ACE, las cruces 2 X 8, 4 X 8, 5 X 8 y 1 X 8 con 5.38, 3.69, 2.60, 2.36 kg hL⁻¹ presentaron los mayores efectos positivos, en lo que se refiere a ER, el híbrido 2 X 8 (1.38 kg hL⁻¹) mostró elevados valores positivos (Cuadro 14).

Cuadro 13. Estimación de los efectos recíprocos (arriba de la diagonal) y no maternos (debajo de la diagonal) para longitud de mazorca (LM).

Línea	L í n e a							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-0.65	0.12	-0.48	-0.23	-0.09	0.53	0.36
2	-0.41		-0.66	-0.50	-0.01	0.59	0.03	1.38**
3	0.10	-0.92**		0.38	-1.03**	0.23	-1.02	0.33
4	-0.41	-0.67*	0.46		-0.24	-0.22	0.11	-0.15
5	0.10	0.08	-0.68*	0.02		-0.34	0.56	0.49
6	-0.12	0.31	0.21	-0.32	-0.71*		-0.40	-0.15
7	0.55	-0.18	-0.98**	0.06	0.25	-0.34		-0.45
8	0.19	0.97**	0.17	-0.39	-0.01	-0.28	-0.64	

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Cuadro 14. Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica (arriba de la diagonal) y recíprocos (debajo de la diagonal) para peso volumétrico (PV).

Línea	L í n e a							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-0.06	0.55	0.41	-0.28	0.16	0.16	2.36**
2	-0.65		0.36	1.18**	1.35**	0.57	0.59	5.38**
3	0.12	-0.66		-0.008	0.63	-0.47	-0.30	-0.04
4	-0.48	-0.50	0.38		0.31	0.37	0.31	3.69**
5	-0.23	-0.01	-1.03**	-0.24		-0.16	0.01	2.60**
6	-0.09	0.59	0.23	-0.22	-0.34		-0.36	1.41*
7	0.53	0.03	-1.02**	0.11	0.56	-0.40		1.62*
8	0.36	1.38**	0.33	-0.15	0.49	-0.15	-0.45	

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cabe señalar, que en los híbridos donde se detectaron valores positivos y/o negativos significativos de los ER y/o ENM de las tres variables (AP, LM y PV) en las que hubo significancia de dichos efectos, en la mayoría de las cruzas (1 X 4, 7 X 8, 2 X 8, 3 X 5, 4 X 8, 5 X 8 y 1 X 8) intervinieron como progenitores femeninos o masculinos las líneas 4, 5 y 8 las cuales fueron formadas con la integración de germoplasma de Valles Altos (VA), subtrópico y trópico, además, como contrapartes participan también los materiales de VA (L1, L2, L3 y L7), lo que coincide parcialmente con Kalsy y Sharma (1972) así como con Khehra y Bhalla (1976) en el sentido de que la diversidad genética y el diferente origen geográfico de los progenitores influyen en la manifestación de los efectos recíprocos y/o citoplásmicos.

Parámetros de la Calidad Fisiológica de Semilla

El análisis dialélico (Cuadro 15) detectó diferencias altamente significativas en todas las variables estudiadas para aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos recíprocos (REC) y maternos (MAT), además, los factores no maternos (NMAT) fueron significativos en GEA, LPGEA, GPF, LPGPF y altamente significativos en las restantes características determinadas, lo cual quiere decir que los genotipos evaluados presentaron un comportamiento diferencial en las parámetros de calidad fisiológica de semilla, es decir, que en la manifestación de dicha situación, están involucrados efectos genéticos aditivos y no aditivos, así como factores maternos y no maternos

Al realizar el desglose de la suma de cuadrados (SC) de genotipos (GEN), se detectó que la ACE tiene mayor relevancia en PSPGE, GEA y PSPPF ya que participa con el 44.5, 40.7 y 43.6 %, respectivamente, de la variación total de las cruzas (Cuadro 15), al respecto, Cano *et al.* (2000) y Azuara (2002) señalan mayor importancia de la acción génica no aditiva en la germinación después de envejecimiento acelerado de semilla de melón, similar situación, reportaron en lino (Gupta y Basak, 1983) y en arroz (Akram, 2004) para el peso seco de plántula de germinación estándar.

En este mismo aspecto, los efectos de ACE y REC muestran valores similares, ya que su diferencia no supera el 1.2 % y a su vez son superiores a

ACG en LPGEA, PSPEA y ETC (Cuadro 15), en semilla de melón también se detectaron factores REC en el peso seco de plántula después de envejecimiento acelerado (Cano *et al.*, 2000), mientras que, en maíz, Cervantes *et al.* (2007) señalaron la importancia de ACE y efectos REC en el porcentaje de emergencia total en campo.

Asimismo, los efectos de ACG son mayores a ACE en LPGE e IVE por una diferencia de 7.0 y 15.4 %, respectivamente (Cuadro, 15). La relevancia de los efectos génicos aditivos también fue reportada para longitud de plúmula en maíz (Barla-Szabo *et al.*, 1990, Manjarrez, 2006 y Gámez, 2007) y arroz (Akram, 2004), así como, en índice de velocidad de emergencia del primer cultivo mencionado (Antuna *et al.*, 2003, y Ajala y Fakorede, 1988). Cabe destacar, que en GE y PSPGE, la ACG fue ligeramente superior a ACE, pero sus valores son muy parecidos, en este aspecto, Villaseñor (1984) señala que el tipo de acción génica que determina el vigor de plántulas de maíz esta gobernada por efectos aditivos y no aditivos en similar proporción.

Por otro lado, en GPF los efectos de ACG, ACE y REC presentan valores que son muy similares en porcentaje (Cuadro 15). Al respecto, Revilla *et al.* (2003) detectaron efectos recíprocos (ER) en la germinación de maíz en bajas temperaturas.

Los efectos recíprocos (ER) presentaron mayores valores que ACG y ACE en GE, LPGE y LPGPF, al respecto, Smith *et al.* (1990) reportó ER en la germinación de semilla de remolacha.

Al efectuar un análisis de los ER se detectó (Cuadro 15) que los efectos maternos (EMAT) presentan mayores valores que los no maternos (ENMAT) en LPGE, GEA, PSPEA y GPF. Cabe recordar que la prueba de envejecimiento fue diseñada inicialmente para estimar el potencial de almacenamiento de la semilla (Delouche y Baskin, 1973). En este aspecto, Medina (1989) detectó ER en la longevidad de semilla híbrida de maíz, atribuyéndola principalmente a EM y en menor grado a ENM, similares resultados son reportados en soya (Kueneman, 1983). Asimismo se han reportado EMAT en la tolerancia a bajas temperaturas durante la germinación de semilla de maíz (Eagles y Hardacre, 1979, Pesev, 1970 y De Souza *et al.*, 2000). Por otro lado, Barla-Szabo *et al.* (1990) señalaron la importancia de los EMAT (recíprocos generales) en la longitud de plúmula de maíz.

En este mismo entorno, los ENMAT son de mayor relevancia que los EMAT (Cuadro 15) en LPEA, LPPF y PSPPF. Asimismo, estos dos factores (EMAT y ENMAT) presentan valores muy similares en GE, PSPGE, ETC e IVE, ya que presentaron diferencias menores al 5 %. Al respecto, Sadeghian y Khodaii (1998) reportan EMAT en la germinación de semilla de remolacha.

Cuadro 15. Suma de cuadrados (SC) y significancia del análisis dialélico combinado para calidad fisiológica de semilla.

VARIABLE	FUENTES DE VARIACIÓN					
	GEN	ACG	ACE	REC	MAT	NMAT
GE	6073.3**	1746.7**	1659.1**	2667.5**	1388.5**	1279.0**
LPGE	391.0**	124.6**	97.2**	169.1**	115.3**	53.8**
PSPGE	12344.0**	3608.5**	5497.1**	3238.2**	1667.8**	1570.4**
GEA	23749.2**	5306.9**	9676.9**	8765.3**	5271.4**	3493.9*
LPGEA	407.2**	90.6**	161.4**	155.1**	55.5**	99.6*
PSPEA	9389.6**	2371.8**	3519.0**	3498.7**	2122.4**	1376.2**
GPF	8512.4**	2623.7**	2957.5**	2931.1**	1941.4**	989.7*
LPGPF	669.6**	140.7**	245.7**	283.1**	128.7**	154.4*
PSPPF	15468.7**	5122.0**	6742.7**	3603.9**	1628.8**	1975.1**
ETC	5241.4**	1321.8**	1992.0**	1927.5**	1000.9**	926.5**
IVE	120.5**	52.9**	34.3**	33.2**	15.8**	17.4**

*, ** Significativo y altamente significativo al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En GE las mayores ACG positivas fueron para L3 con 3.17 %, en tanto que, L8 presentó los valores negativos más altos con -2.38 %. La más alta ACE fue para las cruzas 5 X 8 y 3 X 4 con 6.21 y 5.44 %, respectivamente, mientras que, 1 X 4 obtuvo los mayores valores negativos, asimismo, el híbrido 5 X 8 obtuvo el ER positivo mayor con 4.50 % (Cuadro 16), es decir, si se utiliza la craza recíproca (8 X 5) de este genotipo, se tendría un valor negativo de la misma magnitud y por lo tanto un decremento en la germinación estándar.

Los mayores EMAT positivos en GE (Cuadro 17) fueron para L5 con 2.31 %, mientras que L2 (-2.25 %) presentó valores altos negativos. La craza 1 X 8

(6.62 %) presentó el ENMAT (efecto recíproco específico) positivo más alto, en tanto que, 5 X 7 (-4.50 %) tuvo valores altos negativos.

Cuadro 16. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para germinación estándar (GE).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.30	-0.86	-2.33	-5.67**	-1.49	1.01	2.25	-5.06**
2	-1.00	-2.78**	-0.49	2.41	0.10	1.44	-4.14**	4.09**
3	-6.50	-5.75	3.17**	5.44**	1.13	1.72	-2.11	-3.93*
4	-2.00	-4.00*	0.01	-0.97	0.28	-0.11	1.53	3.90*
5	-6.50	-4.00*	1.00	-3.00	1.33*	2.57	-0.77	6.21**
6	-1.50	-4.25*	-2.00	-5.00**	2.00	0.74	1.32	3.62*
7	0.50	-1.00	4.00*	3.50*	-0.50	4.00*	0.58	-1.03
8	5.75**	0.01	-2.50	-1.00	4.50*	0.50	-3.00	-2.38**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 17. Estimación de los efectos no maternos (NMAT) y maternos (MAT) para germinación estándar (GE).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-1.84	-3.5*	-0.53	-2.78	1.81	0.21	6.62**
2			-1.90	-1.68	0.56	-0.09	-0.43	1.71
3				-1.53	1.71	-1.68	0.71	-4.62**
4					0.75	-3.15*	1.75	-1.59
5						1.59	-4.50**	1.65
6							0.40	-1.93
7								-1.84
8								
MAT	-1.40*	-2.25**	1.59**	0.06	2.31**	1.90**	-1.68**	-0.53

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En LPGE, la mayor ACG positiva fue para L5 (0.79 cm) y L4 (-0.38 cm) tuvo valores altos negativos, mientras que las cruzas 5 X 8 y 2 X 8 presentaron la mayor ACE positiva con 2.86 y 2.49 cm, respectivamente. Asimismo, los híbridos, 1 X 6 y 3 X 5 obtuvieron los EREC positivo y negativo más alto con 1.77 y -1.61 cm, respectivamente (Cuadro 18).

En la variable anterior (Cuadro 19), los mayores EMAT en sentido positivo y negativo fueron para L5 (0.81 cm) y L1 (-0.869. En tanto que, la cruz 2 X 5 tuvo el mayor ENMAT positivo con 1.23 cm, y 3 X 8 presentó un valor alto negativo de -0.73 cm.

En PSPGE, las líneas 5 y 2 presentaron los mayores efectos de ACG positivo y negativo con 3.20 y -4.91 mg, respectivamente. La mayor ACE positiva fue para la cruz 4 X 8 con 20.69 mg, en tanto que, 6 X 8 presentó un valor alto negativo de -9.56 mg. Asimismo, el híbrido 3 X 7 (7.17 mg) tuvo el mayor ER positivo y 2 X 8 (-7.66 mg) obtuvo un valor alto negativo (Cuadro 20).

En el cuadro 21, se observa que en PSPGE, L8 tuvo el mayor EMAT positivo con 2.75 mg, y L4 presentó un valor alto negativo con -3.23 mg, asimismo, 3 X 7 (5.26 mg) obtuvo el mayor ENMAT positivo, mientras que 3 X 8 (-4.60 mg) obtuvo un valor alto negativo.

Cuadro 18. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para longitud de plúmula de germinación estándar (LPGE).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.01	0.51	-0.02	0.78*	-0.65	-0.56	0.63	-0.26
2	-0.77	-0.25	0.38	0.66	0.23	0.63	0.11	2.49**
3	-0.99*	-0.39	0.12	-0.30	0.70*	0.22	-0.02	0.66
4	-0.54	-0.93*	0.10	-0.38**	0.01	0.23	0.40	0.68
5	-1.18**	0.20	-1.61**	-1.28**	0.79**	0.56	-0.52	2.86**
6	1.77**	-0.33	-1.05**	-0.57	0.28	0.49**	0.07	0.73*
7	-0.72	0.31	0.25	0.71	0.66	0.53	0.14	0.32
8	-0.92*	-0.75	-0.98*	0.71	1.70**	0.04	0.11	-0.90**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 19. Estimación de los efectos no maternos y maternos para longitud de plúmula de germinación estándar (LPGE).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-0.13	0.36	0.44	0.50	-0.40	0.01	-0.04
2			-0.41	-0.59	1.23**	0.39	-0.22	-0.52
3				0.45	-0.55	-0.31	0.36	-0.73*
4					-0.58	-0.18	0.47	0.60
5						-0.02	-0.28	0.90*
6							-0.09	-0.44
7								0.25
8								
MAT	-0.86**	-0.21	-0.23	0.11	0.81**	0.50**	-0.12	0.01

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 20. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para peso seco de plántula de germinación estándar (PSPGE).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.15	3.42*	2.03	-0.70	-3.32*	0.52	2.82	6.75**
2	-2.46	-4.91**	-2.21	3.55*	1.00	3.39*	0.23	17.66**
3	-3.15	-1.66	2.82**	-0.26	0.42	5.26**	0.63	2.28
4	1.28	0.24	5.68**	-3.01**	-0.50	2.64	0.97	20.69**
5	0.76	-2.02	4.22*	-5.23**	3.20**	-0.16	1.45	18.08**
6	0.98	-0.24	-3.40	-6.74**	-0.49	1.07	1.27	-9.56**
7	2.39	-3.90*	7.17**	-1.80	-2.14	1.14	-1.23	-5.07*
8	-6.48*	-7.66**	-5.76**	-4.89**	1.96	0.47	0.33	0.91

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 21. Estimación de los efectos no maternos y maternos para peso seco de plántula de germinación estándar (PSPGE).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-3.22*	-0.72	-1.11	1.79	3.25*	2.91	-2.89
2			1.52	-1.39	-0.22	2.79	-2.61	-3.31*
3				0.85	2.83	-3.55*	5.26**	-4.60**
4					-1.79	-2.06	1.11	1.09
5						0.74	-2.66	4.52**
6							-0.61	1.78
7								3.40*
8								
MAT	-0.83	-1.60*	1.59*	-3.23**	0.19	1.43*	-0.31	2.75**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En GEA (Cuadro 22), las líneas 8 y 4 presentaron la mayor ACG positiva y negativa con 4.38 y -4.45 %, respectivamente, mientras que, la más alta ACE fue para la cruce 2 X 8 (19.0 %) y 3 X 7 (-13.12 %) obtuvo un valor superior negativo. El mayor ER positivo fue para 1 x 5 con 15.5 %, en tanto que, 5 X 8 tuvo un valor alto negativo con -10.0 %.

En esta misma variable (Cuadro 23) el mayor EMAT positivo fue para L3 con 3.62 % y L5 tuvo un valor alto negativo con -5.68 %. El mayor ENMAT positivo y negativo fue para los híbridos 2 X 3 y 1 X 7 con 8.39 y -6.12 %, respectivamente.

En LPGEA (Cuadro 24), el mayor ACG fue para L7 (0.59 cm) y L4 tuvo un valor alto negativo, asimismo, las cruces 2 X 8 y 5 X 8 presentaron los mayores efectos positivos de ACE con 3.15 y 2.42 cm, respectivamente. Por otro lado, los híbridos 5 X 6 y 1 X 2 obtuvieron los mayores ER positivo y negativo con 2.03 y -1.22 cm, respectivamente.

En el Cuadro 25, se observa que para LPGEA, el más alto EMAT positivo y negativo fue para las líneas 5 y 1 con 0.44 y -0.68 cm, respectivamente, mientras que, la cruce 5 X 6 tuvo el mayor ENMAT positivo con 1.81 cm, y 2 X 8 presentó un valor alto negativo de -1.16 cm.

Cuadro 22. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para germinación después de envejecimiento acelerado (GEA).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.62	1.61	-1.73	4.70	1.94	-6.63*	8.62**	8.48**
2	-0.37	-3.11*	1.73	7.31*	1.92	3.34	-7.88*	19.00**
3	-2.50	6.50	-0.87	5.08	5.19	-3.88	-13.12**	2.7
4	4.37	5.50	9.50*	-4.45**	-2.73	1.69	-0.54	0.15
5	15.5**	4.00	11.50**	-1.00	2.56*	-8.69**	-2.43	-9.95**
6	2.00	-4.50	4.50	-7.50*	1.00	3.51**	1.98	7.75*
7	-6.50	-6.50	2.50	-4.50	-6.50	-2.00	3.74**	-2.14
8	5.50	8.50*	5.00	-5.00	-10.00	-0.37	-2.50	4.38**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 23. Estimación de los efectos no maternos y maternos para germinación después de envejecimiento acelerado (GEA).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-0.89	-1.125	-2.54	7.56	0.01	-6.12	3.10
2			8.39*	-0.90	-3.42	-5.96	-5.60	6.62*
3				1.20	2.18	1.14	1.50	1.23
4					-2.01	-2.56	2.79	-0.46
5						6.95*	1.81	-4.45
6							0.35	0.78
7								-5.26
8								
MAT	2.25	1.73	3.62**	-4.67**	-5.68**	0.26	2.62*	-0.14

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 24. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para longitud de plúmula de germinación después de envejecimiento acelerado (LPGEA).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.14	-0.05	0.33	0.85	0.09	0.50	0.26	-1.18
2	-1.22*	-0.37	0.44	0.14	0.88	0.08	0.66	3.15**
3	-0.01	0.79	-0.08	0.04	0.39	-0.54	-0.04	1.16
4	0.09	0.43	1.03	-0.64**	-0.66	0.38	-0.18	1.42
5	0.74	1.08	-0.40	-0.53	0.21	0.02	0.29	2.42*
6	-1.08	-0.33	-0.89	-0.60	2.03**	0.53*	-0.24	2.25*
7	1.77**	-0.08	0.09	0.12	0.40	0.96	0.59**	1.80
8	-0.75	-0.75	0.61	1.06	0.55	-0.01	0.23	-0.38

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 25. Estimación de los efectos no maternos y maternos para longitud de plúmula de germinación después de envejecimiento acelerado (LPGEA).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-0.23	0.62	0.59	0.38	-0.16	-1.02*	-0.18
2			0.45	-0.05	1.23*	-0.40	-0.31	-1.16*
3				0.88	0.08	-0.61	0.19	0.53
4					0.10	-0.18	0.37	1.13*
5						1.81**	0.01	-0.01
6							0.79	-0.35
7								0.05
8								
MAT	-0.68**	0.29	-0.04	-0.18	0.44*	0.23	0.06	-0.11

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En PSPEA (Cuadro 26), los mayores efectos positivo y negativo de ACG fueron para las líneas 8 y 5 con 4.39 y -2.81 mg, respectivamente, mientras que, la más alta ACE positiva fue para la cruce 2 X 8 (16.8 mg) y 1 X 2 (-3.79 mg) tuvo un valor alto negativo. El híbrido 2 X 4 presentó el mayor ER positivo con 8.14 mg, en tanto que, 5 X 7 obtuvo efectos altos negativos con -7.67 mg.

En la variable mencionada anteriormente (Cuadro 27) las líneas 2 y 5 tuvieron los mayores EMAT positivo y negativo con 2.92 y -3.03 mg, respectivamente, mientras que los híbridos 5 X 6 (5.34 mg) y 1 X 7 (-4.22 mg) presentaron los más altos ENMAT en sentido positivo y negativo, respectivamente.

En el Cuadro 28 se observa, que en GPF, el mayor efecto de ACG positivo y negativo fue para las líneas 5 y 2 con 2.15 y -4.28 %, respectivamente, asimismo, la más alta ACE positiva fue para la cruce 4 X 8 (14.07 %) y 1 X 8 tuvo un valor alto negativo de -5.92 %. Además, el híbrido 5 X 8 obtuvo ER positivos y superiores con 6.50 %, mientras que, 2 X 4 presentó valores altos negativos con -8.0 %.

Por otro lado, en GFF, las líneas 5 y 2 presentaron los mayores EMAT en sentido positivo y negativo con 2.31 y -4.37 %, respectivamente, mientras que las cruces 1 X 7 (3.71 %) y 5 X 7 (-4.0 %) presentaron valores de ENMAT altos en forma positiva y negativa, respectivamente (Cuadro 29).

Cuadro 26. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para peso seco de plántula de envejecimiento acelerado (PSPEA).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.73	-3.79*	-0.53	1.39	-0.90	2.54	0.67	7.68**
2	-3.37	-1.14	1.59	6.01**	0.93	-0.10	3.42	16.80**
3	-1.87	4.07	0.54	-1.04	1.81	-0.57	0.03	5.22*
4	2.44	8.14**	8.22**	-1.91**	-2.58	2.17	-0.28	5.50*
5	4.32*	5.14*	4.15	-0.17	-2.81**	-0.18	-0.17	4.04*
6	-2.58	0.75	-0.01	-3.65	1.73	-1.30	-1.22	7.75**
7	-5.15*	1.72	4.73*	-0.06	-7.67	0.24	1.50*	6.92**
8	4.38*	0.17	4.96*	0.05	-4.93	0.52	-0.63	4.39**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 27. Estimación de los efectos no maternos y maternos para peso seco de plántula de envejecimiento acelerado (PSPEA).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-0.22	0.83	-0.16	1.51	-1.78	-4.22*	4.05*
2			3.63	2.38	-0.81	-1.60	-0.50	-3.30
3				2.90	-1.37	-1.93	2.94	1.92
4					-0.37	-0.25	3.46	2.28
5						5.34**	-3.94*	-2.45
6							0.37	-0.60
7								
8								
MAT	-0.22	2.92**	2.48**	-2.83**	-3.03**	0.56	0.69	-0.56

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 28. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para germinación después de prueba fría (GPF).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.49*	2.00	-3.30*	-1.27	2.56	3.42*	-1.93	-5.92**
2	3.00	-4.28**	1.47	3.50*	0.84	-2.79	-1.65	5.04**
3	-4.50	-5.50**	1.52**	4.69**	1.53	2.89	-1.96	8.35**
4	-3.00	-8.00**	0.01	-1.00	1.06	1.42	2.06	14.07**
5	-1.00	-5.5**	0.01	-5.00**	2.15**	1.29	-0.58	9.48**
6	-1.00	-6.00**	-1.50	-2.50	2.50	1.29*	-0.73	7.25**
7	3.00	-6.50**	1.00	-0.50	-2.00	4.00*	1.65**	6.98**
8	0.25	-0.50	-1.00	2.75	6.50**	0.12	1.50	-2.83**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 29. Estimación de los efectos no maternos y maternos para germinación después de prueba fría (GPF).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-0.96	-3.03*	-1.87	1.71	0.98	3.71*	-0.54
2			-0.06	-2.90	1.18	-0.04	-1.81	2.67
3				-0.34	1.25	-0.98	0.25	-3.26*
4					-3.40*	-1.64	-0.90	0.82
5						1.76	-4.00**	2.98
6							2.73	-2.65
7								-0.01
8								
MAT	-0.40	-4.37**	1.06	0.71	2.31**	1.57**	0.31	-1.20

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En LPGPF (Cuadro 30), la mayor ACG positiva fue para L7 con 0.85 cm, mientras que L8 tuvo valores altos negativos con -0.66 cm; en ACE, las cruzas 7 X 8 y 1 X 7 tuvieron los valores positivo y negativo más altos con 4.92 y -1.69 cm, respectivamente, mientras que, la cruza 1 X 2 (2.01 cm) presentó el mayor ER positivo y el más alto negativo fue para 1 X 7 (-2.80 cm).

En el Cuadro 31, se observa que para LPGPF, el mayor EMAT positivo fue para L5 con 0.60 cm, y L1 (-0.65 cm) tuvo valores altos negativos, en tanto que, las cruzas 1 X 2 y 1 X 7 presentaron los más altos ENMAT de forma positiva y negativa con 2.47 y -1.72 cm, respectivamente.

En lo que respecta a PSPPF, en el Cuadro 32 se observa que L8 (3.74 mg) tuvo la mayor ACG positiva y la más alta negativa fue para L2 con -5.15 mg, en lo que se refiere a ACE los valores positivos y negativos superiores fueron para las cruzas 4 X 8 y 3 X 7 con 23.04 y -4.18 mg, respectivamente, mientras que, en ER, la mayor cantidad positiva fue para el híbrido 1 X 2 (5.64 mg) y 5 X 7 obtuvo valor alto negativo con -8.22 mg.

En PSPPF (Cuadro 33), el mayor EMAT positivo y negativo fue para L3 y L4 con 2.62 y -3.09 mg, respectivamente, en tanto que el más alto ENMAT positivo fue para 1 X 2 (5.39 mg) y 4 X 8 tuvo la mayor cantidad negativa con -7.23 mg.

Cuadro 30. Estimación de efectos de aptitud ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para longitud de plúmula de germinación después de prueba fría (LPGPF).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.08	0.38	0.31	0.58	1.89*	-0.79	-1.69*	0.75
2	2.01*	0.03	0.03	0.60	0.17	0.36	0.88	1.38
3	-0.76	0.96	-0.42	0.34	0.42	-0.26	0.01	-0.53
4	-0.47	-0.09	-1.19	-0.64*	-0.49	-0.36	0.77	1.28
5	-0.48	0.05	-1.25	-1.39	0.51	0.24	-0.17	0.32
6	-1.95*	-1.32	0.49	0.53	0.39	0.41	-0.18	2.33**
7	-2.80**	0.34	-1.97*	0.89	0.10	0.24	0.85**	4.92**
8	0.76	0.56	-0.34	0.20	1.29	1.61	0.19	-0.66*

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 31. Estimación de los efectos no maternos y maternos para longitud de plúmula de germinación después de prueba fría (LPGPF).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		2.47**	-0.79	0.43	0.78	-0.71	-1.72*	0.45
2			0.46	0.34	0.85	-0.54	0.95	0.40
3				-0.26	0.03	0.77	-0.6	-0.01
4					-1.03	0.87	1.06	-0.38
5						0.37	-0.08	0.34
6							0.07	0.68
7								-0.57
8								
MAT	-0.65*	-0.18	-0.68*	0.24	0.60*	0.58*	0.42	-0.34

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 32. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para peso seco de plántula de prueba fría (PSPPF).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3.26**	4.22*	3.90	-4.00*	1.16	-1.58	-1.05	14.07**
2	5.64*	-5.15**	-2.97	4.72*	-0.13	2.27	-0.32	20.78**
3	-5.01*	2.21	2.42**	0.65	2.44	4.17*	-4.18*	3.56
4	-1.68	2.02	4.73*	-4.70**	0.28	4.30*	4.61*	23.04**
5	3.90	0.75	6.00*	-5.35*	0.15	1.15	3.54	8.53*
6	-1.32	4.30	1.01	-2.96	-1.97	0.47	1.45	3.53
7	-2.65	-2.09	4.70*	-0.84	-8.22**	0.13	-0.15	9.59*
8	-1.08	-2.83	1.77	-10.54**	-0.30	1.54	4.08	3.74**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 33. Estimación de los efectos no maternos y maternos para peso seco de plántula de prueba fría (PSPPF).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		5.39**	-2.10	-4.50*	2.20	0.35	-0.74	-0.59
2			5.36**	-0.54	-0.69	-2.37	0.06	3.56
3				-0.98	1.40	-0.21	3.71	-0.64
4					-4.23*	1.54	3.88*	-7.23**
5						1.40	-4.61*	1.88
6							0.36	0.35
7								2.66
8								
MAT	-0.27	0.52	2.62**	-3.09**	-1.97**	1.40	1.63*	0.21

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

En lo que se refiere a ACG en la variable ETC (Cuadro 34), L3 (2.31 %) tuvo valores altos positivos y L8 (-2.16%) presentó efectos negativos superiores, mientras que, las cruzas 2 X 8 y 1 X 4 tuvieron las ACE más altas de forma positiva y negativa con 10 .62 y -5.52 %. En lo que respecta a ER, el híbrido 3 X 7 (5.66 %) y 2 X 3 (-6.0 %) obtuvieron las mayores cantidades de manera positiva y negativa, respectivamente.

Asimismo, en ETC (Cuadro 35), el mayor EMAT positivo fue para L3 (1.91 %) y L2 tuvo el efecto negativo más alto con -3.22 %, mientras que, las cruzas 1 X 8 y 3 X 8 presentaron el valor positivo y negativo mayor en ENMAT con 4.93 y -5.14 %, respectivamente.

En el Cuadro 36, se observa que para IVE, la mayor ACG positiva fue para L5 (0.40) y L8 tuvo valores altos negativos con -0.63, en lo que se refiere a ACE los híbridos 4 X 8 (1.67) y 5 X 7 (-0.50) presentaron la mayor cantidad positiva y negativa, respectivamente. Mientras que, el ER superior y positivo fue para 1 X 7 (0.68) y 2 X 6 obtuvo efectos negativos altos con -1.17.

En IVE (Cuadro 37), el mayor EMAT positivo fue para L5 (0.29) y L2 tuvo valores altos negativos con -0.27, mientras que las cruzas 1 X 7 y 6 X 8 presentaron los ENMAT mayores en forma positiva y negativa con 0.72 y -0.74, respectivamente.

Cuadro 34. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para emergencia total en campo (ETC).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.65	1.11	-3.23*	-5.52**	-1.56	2.55	2.64	-0.85
2	1.00	-3.70**	1.78	4.82**	2.11	-1.75	-3.67*	10.62**
3	-4.00*	-6.00**	2.31**	4.14*	0.76	1.89	-2.69	1.81
4	-0.66	-4.00*	1.33	-0.05	0.14	-0.06	2.01	5.43**
5	-6.00**	-4.00*	0.66	-3.00	1.31*	3.22*	-5.02**	6.14**
6	-2.00	-6.66**	0.33	-2.66	0.66	1.19*	2.09	5.35**
7	2.66	-4.00*	5.66**	1.33	-3.66*	2.00	0.44	1.60
8	5.00**	-0.16	-2.66	0.66	4.00*	0.66	-3.00	-2.16**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 35. Estimación de los efectos no maternos y maternos para emergencia total en campo (ETC).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-1.72	-1.58	-0.20	-3.83*	0.12	2.29	4.93**
2			-0.85	-0.81	0.89	-1.81	-1.64	2.50
3				-0.62	0.41	0.04	2.87.	-5.14**
4					-1.29	-1.00	0.50	0.14
5						0.62	-6.20	1.77
6							-0.50	-1.52
7								-2.68
8								
MAT	-0.50	-3.22**	1.91**	-0.04	1.66**	1.62**	-0.87	-0.56

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 36. Estimación de efectos de ACE (sobre la diagonal), ACG (en la diagonal) y REC (debajo de la diagonal) para índice de velocidad de emergencia (IVE).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.09	-0.13	0.06	-0.32	0.67**	0.14	0.30	0.52*
2	-0.25	-0.58**	0.40	0.77**	0.22	-0.07	-0.09	1.61**
3	-0.17	-0.49	0.27**	0.20	0.21	-0.01	-0.18	0.13
4	-0.65*	-0.41	0.08	0.19*	-0.34	0.33	0.46*	1.67**
5	-0.38	-0.39	-0.31	0.10	0.40**	0.38	-0.50*	1.47**
6	-0.66*	-1.17	-0.64*	-0.11	0.24	0.27**	-0.34*	0.30
7	0.68*	-0.47	-0.01	-0.02	0.62*	0.09	-0.02	0.15
8	0.09	0.45	0.13	0.45	0.48	-0.33	-0.07	-0.63**

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 37. Estimación de los efectos no maternos y maternos para índice de velocidad de emergencia (IVE).

LÍNEA	LÍNEA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		-0.36	-0.01	-0.30	0.07	-0.22	0.72**	0.11
2			-0.22	0.04	0.18	-0.62**	-0.31	0.58*
3				0.26	-0.01	-0.37	-0.11	-0.01
4					0.21	-0.02	-0.31	0.12
5						0.21	0.21	0.04
6							-0.29	-0.74**
7								-0.10
8								
MAT	-0.16	-0.27**	-0.01	0.17*	0.29**	0.26**	-0.12	-0.15

*, ** Diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

CONCLUSIONES

El mayor rendimiento de grano se obtuvo con el híbrido 2 X 4, además dicha cruz se ubicó en los genotipos de menor altura de planta y mazorca, asimismo presentó buenas características de mazorca y grano.

Las líneas endogámicas 3, 6, 7 y 1 presentaron los mayores valores en rendimiento de grano y caracteres agronómicos, además, estos progenitores sobresalieron por su comportamiento en las pruebas de vigor que se realizaron.

Los efectos genéticos no aditivos fueron de mayor relevancia en la mayoría de las características agronómicas, sin embargo, en los parámetros de calidad fisiológica se detectó la manifestación de estos y de los aditivos en forma similar.

Los progenitores 1, 2 y 4 presentaron mayores efectos positivos de ACG en la mayoría de las variables agronómicas, además, las dos últimas líneas tuvieron valores negativos altos en altura de planta y mazorca.

Dentro de los híbridos de mayor rendimiento, sobresalen las cruza de 2 X 8, 8 X 4 y 4 X 1 ya que mostraron valores altos positivos de ACE para la

mayoría de los caracteres agronómicos, además, el último genotipo presentó efectos negativos en porte de mazorca.

Los efectos recíprocos no fueron importantes en las variables agronómicas, sin embargo, en todos los parámetros de calidad fisiológica de semilla fueron altamente significativos, además, dentro de estos tienen relevancia los factores maternos y no maternos.

RESUMEN

Con el objetivo de explorar el tipo de acción génica involucrada, así como la influencia de los efectos recíprocos en la manifestación del vigor de semilla, rendimiento de grano y características agronómicas, se formó un dialélico entre ocho líneas autofecundadas de maíz que incluyó cruza directas y recíprocas. Durante 2005, en Metepec, Estado de México, se evaluaron 56 cruza simples y los progenitores en dos ambientes (fechas de siembra). Por otro lado, se hicieron pruebas de laboratorio para estudiar la calidad fisiológica de la semilla. Se realizaron análisis de varianza con los datos de las variables agronómicas y de vigor, asimismo, para el análisis genético se utilizó el método I modelo I de Griffing (1956a).

El análisis de varianza combinado de los dos ambientes de evaluación, reportó diferencias significativas para ambientes, genotipos y para la interacción genotipo por ambiente, asimismo, en la fecha de siembra del 2 de abril, se presentaron los valores más altos en rendimiento de grano, días a floración masculina y en caracteres de mazorca y grano; mientras que, la altura de planta y mazorca fue mayor en el experimento establecido el 6 de mayo. En promedio de los dos ambientes de evaluación, el híbrido 2 X 4 mostró la mayor producción de grano con un rendimiento superior a 11 t ha^{-1} , además, este híbrido se situó en los materiales de menor altura de planta y mazorca y

presentó buenas características de mazorca y grano, asimismo, hubo cuatro genotipos (4 X 1, 4 X 2, 1 X 2 y 3 X 1) que exhibieron un rendimiento superior a las 10 t. Las mayores medias en rendimiento de grano y caracteres agronómicos se detectaron en las líneas endogámicas 3, 6, 7 y 1, asimismo, estos progenitores sobresalieron por su comportamiento en las pruebas de vigor efectuadas.

En la mayoría de las variables agronómicas, los efectos genéticos no aditivos fueron de mayor importancia, no obstante, en las características de calidad fisiológica de semilla se estimó que la manifestación de estos y de los aditivos son relevantes en forma similar. Los mayores efectos positivos de ACG en la mayoría de los parámetros de comportamiento agronómico se presentaron en los progenitores 1, 2 y 4, asimismo, las dos últimas líneas tuvieron valores negativos altos en altura de planta y mazorca.

Los híbridos 2 x 8, 8 X 4 y 4 X 1, que se ubicaron dentro de los híbridos de mayor rendimiento, presentaron valores altos de ACE para la mayoría de las variables agronómicas, además, el último genotipo mostró efectos negativos en porte de mazorca. Los efectos recíprocos no fueron relevantes en los caracteres agronómicos, no obstante, en todas las características de calidad fisiológica de semilla fueron altamente significativos y dentro de estos, son importantes los factores maternos y no maternos.

LITERATURA CITADA

- Ajala, S. O. and M. A. B. Fakorede. 1988. Inheritance of seedling vigor and its association with mature plant traits in a maize population at two levels of inbreeding. *Maydica* 33: 121-129. Italy.
- Akram, M. 2004. Inheritance of seed and seedling vigor in rice (*Oryza sativa* L.). Thesis. Doctor. University of Arid Agricultura. Pakistán.
- Albarrán, M. M., J. L. Arellano V., R. Garza G., R. Valdivia B., A. Espinosa C., F. Alemán R., C. Ortiz T. y C. Díaz H. 1990. Guía para cultivar maíz en el Estado de México. Folleto para productores No. 1. SARH, INIFAP, CIFAP-MEX.
- Antuna, G. O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruiz T., L. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 11-17. México.
- Arellano, V. J. L. 1998. Aptitud combinatoria para el aprovechamiento del nitrógeno en líneas de maíz de Valles Altos. Tesis. Doctor. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.
- Arellano, V. J. L., A. J. Gámez V. y J. Ortega A. 1992. Nuevas combinaciones entre maíz de Valles Altos. XIV Congreso Nacional de Fitogenética. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983. Seed vigour testing handbook, contribution No. 32 to the handbook on seed testing. U. S. A.
- Azuara, H. F. J. 2002. Aptitud combinatoria general y específica para características agronómicas y fisiológicas de maíz. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Baker, R. J. 1978. Issues in diallel análisis. *Crop Sci.* 18 : 533-536. U. S. A.
- Balderrama, C. S., A. Mejía C., F. Castillo G. y A. Carballo C. 1997. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 137-147. México.

- Barla-Szabo, G., J. Bocsi, B. Dolinka, M. Odiemah. 1990. Diallel analysis of seed vigor in maize. *Seed Sci. Technol.* 18: 721-729. Switzerland.
- Barros, T. S. 1998. Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho. *Rev. Bras. Sem.* 20: 55-59. Brasil.
- Baynes, R. A. and R. I. Brawn. 1973. Influence of cytoplasmic effects on some agronomic characters in corn. *Can. J. Plant Sci.* 53:101-104. Canada.
- Bdliya, P. M. and J. S. Burris. 1988. Diallel analysis of tolerance of drying injury in seed corn. *Crop Sci.* 28: 935-938. U. S. A.
- Beck, D. L., S. K. Vasal and J. Crossa. 1991. Heterosis and combining ability among subtropical and temperate intermediate-maturity maize germplasm. *Crop Sci.* 31: 68-73. U. S. A.
- Borges, F. O. L. 1987. Diallel analysis of maize resistance to sorghum downy mildew. *Crop Sci.* 27: 178-180. U. S. A.
- Burris, J. S. 1977. Effect of location of production and maternal parentage on seedling vigour in hybrid maize. *Seed Sci. Technol.* 5: 703-708. Switzerland.
- Burris, J. S. and R. J. Navratil. 1979. Relationship between laboratory cold-test methods and field emergence in maize inbreds. *Agron. J.* 71: 985-988. U. S. A.
- Bustamante G., L. 1982. Semillas: control y evaluación de su calidad. Memorias del Curso de Actualización sobre Tecnología de Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Cano, R. P., G. Ramírez R., J. Ortegón P., J. H. Esparza M., S. Rodríguez H. 2000. Análisis dialélico para vigor de semilla en melón. *Agrociencia* 34: 337-342. México.
- Cervantes, O. F., G. García S., A. Carballo C., D. Bergvinson, J. L. Crossa, M. Mendoza E. y E. Moreno M. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia*: 41: 425-433. México.
- Cho, Y. and R. A. Scott. 2000. Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112: 145-150. Netherlands.
- Claure, I. V. T., J. D. Molina G., S. K. Vasal y A. Martínez G. 1993. Aumento del potencial de rendimiento mediante selección e hibridación en maíz (*Zea*

- mays* L.). II. Aptitud combinatoria de líneas autofecundadas. Agrociencia serie Fitociencia 4: 53-64. México.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 1995. Principles of seed science and technology. Third edition. Kluwer Academic Publishers. U. S. A.
- Crossa, J., S. K. Vasal y D. L. Beck. 1990. Combining ability estimates of CIMMYT'S tropical late yellow maize germoplasm. *Maydica* 35: 273-278. Italy.
- De la Cruz, L. E., E. Gutiérrez del R., A. Palomo G. y S. Rodríguez H. 2003. Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 279-284. México.
- Delouche, J. C. 1985. Nuevos caminos en la investigación sobre tecnología de semillas. En: *Memorias Tecnológicas de Semillas*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Colombia.
- Delouche, J. C. and C. C. Baskin. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. Technol.* 1: 427-452. Switzerland.
- De Souza, G. M., E. V. de Resende V. P., R. García V. P. e M. D. G. Guimaraes C. V. 2000. Efeito da Heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho. *Rev. Bras. Sem.* 22: 7-17. Brasil.
- Dhliwayo, T., K. V. Pixley and V. Kazembe. 2005. Combining ability for resistance to maize weevil among 14 southern African maize inbred lines. *Crop Sci.* 45: 662-667. U. S. A.
- Eagles, H. A. 1982. Inheritance of emergence time and seedling growth at low temperatures in four lines of maize. *Theor. Appl. Genet.* 62: 81-87. Germany.
- Eagles, H. A. and A. K. Hardacre. 1979. Genetic variation in maize (*Zea mays* L.) for germination and emergence at 10 °C. *Euphytica* 28: 287-295. The Netherlands.
- Eagles, H. A. and J. E. Lothrop. 1994. Highland maize from Central Mexico. Its origin, characteristics and use in breeding programs. *Crop Sci.* 34: 11-19. U. S. A.
- Fakorede, M. A. B. and S. B. Agbana. 1983. Heterotic effects and association of seedling vigor with mature plant characteristics and grain yield in some tropical maize cultivars. *Maydica* 28: 327-338. Italy.

- Fleming, A. A. 1975. Effects of male cytoplasm on inheritance in hybrid maize. *Crop Sci.* 15: 570-573. U. S. A.
- Gámez, V. A. J. 2007. Estudio genético y fisiológico de líneas y cruces simples experimentales de maíz por su resistencia a bajas temperaturas. Tesis. Doctor. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- García, de M. E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Cuarta Edición. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Griffing, B. 1956a. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.* 9: 463-493. Australia.
- Griffing, B. 1956b. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10: 31-50.
- Gupta, D. and S. L. Basak. 1983. Genetics of germination and seedling growth of flax (*Linum usitatissimum*). *Seed Sci. Technol.* 11: 251-256. Switzerland.
- Gutiérrez del R., E., A. Palomo G., A. Espinoza B. y E. de la Cruz L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 271-277. México.
- Hallauer, A. R. and C. A. Martinson. 1975. Maternal effects in maize hybrids infected with *Bipolaris maydis* (Nisikado) Shoemaker, Race T. *Crop Sci.* 15: 686-689. U. S. A.
- Hallauer, A. R. and J. B. Miranda Fo. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa. U. S. A.
- Hallauer, A. R., W. A. Russell and K. R. Lamkey. 1988. Corn breeding. In: Spague, G. F. and J. W. Dudley (Eds.). *Corn and corn improvement*. Third edition. American Society of Agronomy. U. S. A.
- Hansen, L. A. and J. R. Bagget. 1977. Reciprocal differences for plant and ear characteristics in sweet corn. *Hort. Sci.* 12: 60-62. U. S. A.
- Hunter, R. B. and E. E. Gamble. 1968. Effect of cytoplasmic source on the performance of double-cross hybrids in maize, *Zea mays* L. *Crop Sci.* 8: 278-280. U. S. A.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2004. International rules for seed testing. Switzerland.

- Jugenheimer, R. W. 1981. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Editorial Limusa. México.
- Kalsy, H. S. and D. Sharma. 1972. Study of cytoplasmic effects in reciprocal crosses of divergent varieties of maize (*Zea mays* L.). *Euphytica* 21:527-533. Netherlands.
- Kang, M. S., A. Kushairi D., Y. Zhang and R. Magari. 1999. Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Sci.* 39: 368-371. U. S. A.
- Khehra, A. S. and S. K. Bhalla. 1976. Cytoplasmic effects on quantitative characters in maize (*Zea mays* L.). *Theor. Appl. Genet.* 47: 271-274. Germany.
- Kollipara, K. P., I. N. Saab, R. D. Wych, M. J. Lauer and G. W. Singletary. 2002. Expression profiling of reciprocal maize hybrids divergent for cold germination and desiccation tolerance. *Plant Physiol.* 129: 974-992. U. S. A.
- Kueneman, E. A. 1983. Genetic control of seed longevity in soybeans. *Crop Sci.* 23: 5-8. U. S. A.
- Lindstrom, E. W. 1942. Inheritance of seed longevity in maize inbreds and hybrids. *Genetics* 27: 154. U. S. A.
- Little, T. M. y F. J. Hills. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. México.
- Lovato, A., E. Noli and A. F. S. Lovato. 2005. The relationship between three cold test temperatures, accelerated ageing test and field emergence of maize seed. *Seed Sci. Technol.* 33: 249-253. Switzerland.
- Magaña, L. S. 1992. Calidad física y fisiológica de semilla de líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.) de Valles Altos de México. Tesis. Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2: 176-177. U. S. A.
- Manjarrez, S. M. 2006. Efectos genéticos en la calidad de semilla de maíz de grano normal y de alta calidad de proteína. Tesis. Doctor. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Márquez S., F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II y III. AGT Editor. México.

- Martínez, G. A. 1983. Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas. Segunda edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Mayorquín, L. H., J. D. Molina G. y T. Cervantes S. 1986. Dosis de germoplasma Tuxpeño en compuestos de maíz de las razas Cónico y Chalqueño. *Agrociencia* 63: 89-103. México
- McDonald, M. B., Jr. 1980. Assessment of seed quality. *Hortscience* 15: 784-788. U. S. A.
- Medina, M. E. 1989. Importancia de la longevidad de la semilla en la producción de híbridos de maíz. Tesis. Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Melani, M. D. and M. J. Carena. 2005. Alternative maize heterotic patterns for the northern corn belt. *Crop Sci.* 45: 2186-2194. U. S. A.
- Molina, M. J., D. Lisakowski y E. Paulo Z. 1992. Pruebas de vigor para semillas de maíz y su relación con la emergencia en campo. *Rev. Fitotec. Mex.* 15: 10-21. México.
- Molina, M. J. C., V. A. González H., A. Carballo C., M. Livera M., F. Castillo G. y M. L. Ortega D. 2003. Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de semilla de maíz durante su formación. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 271-277. México.
- Moll, R. H., J. H. Lonquist, J. Vélez F. and E. C. Johnson. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics* 52: 139-144. U. S. A.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Tercera edición. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mudrovitsch, de B. S. R. e R. Vieira. 2006. Temperatura e período de exposição de sementes de milho no teste de envelhecimento acelerado. *Rev. Bras. Sem.* 28: 161-168. Brasil.
- Pérez, C. A., J. D. Molina G. y A. Martínez G. 2002. Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz de México por selección masal visual. Rendimiento, altura de planta y precocidad. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 435-441. México.
- Pérez, T. R. A., A. Carballo Q., F. Castillo G. y J. Covarrubias P. 1991. Identificación de patrones heteróticos en un grupo de variedades precoces de maíz. *Agrociencia serie Fitociencia* 2: 69-79. México.

- Perry, D. A. 1977. A vigour test for seed of barley (*Hordeum vulgare*) based on measurement of plumule growth. *Seed Sci. Technol.* 5: 709-719. Switzerland.
- Pesev, N. V. 1970. Genetic factors affecting maize tolerance to low temperatures at emergence and germination. *Theor. Appl. Genet.* 40: 351-356. Germany.
- Poehlman, J. M. y D. Allen. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. M. Guzmán O., M. A. Hernández C. y L. M. Serrano C. (Trad.). Editorial Limusa. México.
- Popinigis, F. 1985. Fisiología da Semente. 2ª. Edição. Agiplan. Brasil.
- Revilla, P., A. Butrón, R. A. Malvar and A. Ordás. 1999. Relationship among kernel weight, early vigor, and growth in maize. *Crop Sci.* 39: 654-658. U. S. A.
- Revilla, P., R. A. Malvar, M. E. Cartea, A. Butrón and A. Ordás. 2000. Inheritance of cold tolerance at emergence and during early season growth in maize. *Crop Sci.* 40: 1579-1585. U. S. A.
- Revilla, P., J. R. Hotchkiss and W. F. Tracy. 2003. Cold tolerance evaluation in a Diallel among open-pollinated sweet corn cultivars. *Hort. Sci.* 38: 88-91. U. S. A.
- Rivera, F. H. 1977. Efecto de la diversidad genética en la heterosis de cruza intervarietales de maíz. Tesis. Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Rodríguez, F. S. 1992. Evaluación y caracterización de líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.). Tesis. Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Rojas, B. A. and G. F. Sprague. 1952. A comparison of variance components in corn yield trial: III. General and specific combining ability and their interactions with locations and years. *Agron. J.* 44: 426-466. U. S. A.
- Sadeghian, S. Y. and H. Khodaii. 1998. Diallel cross analysis of seed germination traits in sugar beet. *Euphytica* 103: 259-263. The Netherlands.
- Smith, M. C., I. J. Mackay and M. A. Cornish. 1990. A diallel analysis of germination in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Sci. Technol.* 18: 43-50. Switzerland.

- Sprague, G. F. and L. A. Tatum. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34: 923-932. U. S. A.
- Sprague, G. F. and P. A. Miller. 1952. The influence of visual selection during inbreeding on combining ability in corn. *Agron. J.* 44: 258-262. U. S. A.
- TeKrony, D. M. and D. B. Egli. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: A review. *Crop Sci.* 31: 816-822. U. S. A.
- Thomson, J. R. 1979. An introduction to seed technology. Thomson Litho Ltd. Scotland. Great Britain.
- Vacaro, E., J. F. Barbosa N., D. Girardi P., C. Natalino N. and L. D. Haa C. 2002. Combining ability of twelve maize populations. *Pesq. Agropec. Bras.* 37: 67-72. Brasil.
- Vasal, S. K., G. Srinivasan, N. Vergara A. y F. González C. 1995. Heterosis y aptitud combinatoria en germoplasma de maíz de Valles Altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 18: 123-139. México.
- Vázquez, B. M. E. 1999. Efectos genéticos para calidad fisiológica de semilla, características agronómicas y rendimiento de siete líneas de maíz. Tesis. Doctor. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Velázquez, C. G. A., F. Castillo G., J. D. Molina G y J. L. Arellano V. 1992. Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas de maíz (*Zea mays* L.) con diferente nivel de endogamia. *Agrociencia serie Fitociencia* 3: 111-123. México.
- Villaseñor M. H. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis. Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Wellhausen, E. J. and L. S. Wortman. 1954. Combining ability of S₁ and derived S₃ lines of corn. *Agron. J.* 46: 86-89. U. S. A.
- Whitehead, F. C., H. G. Caton, A. R. Hallauer, S. Vasal and H. Cordova. 2006. Incorporation of elite subtropical and tropical maize germplasm into elite temperate germplasm. *Maydica* 51: 43-56. Italy.
- Zhang, Y. and M. S. Kang. 1997. DIALLEL-SAS: A SAS program for Griffing's diallel analyses. *Agron. J.* 89: 176-182. U. S. A.
- Zhang, Y., M. S. Kang and K. R. Lamkey. 2005. DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agron. J.* 97: 1097-1106. U. S. A.