



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

**HETEROSIS ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ DE
LA RAZA CHALQUEÑO CON DIFERENTE GRADO
DE DIVERGENCIA GENÉTICA**

GILBERTO ESQUIVEL ESQUIVEL

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

La presente tesis titulada **HETEROSIS ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ DE LA RAZA CHALQUEÑO CON DIFERENTE GRADO DE DIVERGENCIA GENÉTICA** realizada por el alumno **GILBERTO ESQUIVEL ESQUIVEL** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

Dr. Fernando Castillo González

ASESOR:

Dr. Juan Manuel Hernández Casillas

ASESOR:

Dr. Amalio Santacruz Varela

ASESOR:

Dr. Gabino García de los Santos

ASESOR:

Dr. Jorge A. Acosta Gallegos

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Octubre de 2008

HETEROSIS ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ DE LA RAZA CHALQUEÑO CON DIFERENTE GRADO DE DIVERGENCIA GENÉTICA

Gilberto Esquivel Esquivel, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2008

Con el objeto de evaluar heterosis y los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) en relación con la amplitud de origen geográfico en etapas tempranas del desarrollo y en productividad en campo, se evaluaron en un arreglo dialélico, diseño II de Griffing 15 poblaciones progenitoras nativas de maíz, sus 105 cruzamientos y otros genotipos adicionales de los Valles Altos de México. Se incluyeron poblaciones progenitoras cuyo origen se ubica en el área de distribución geográfica de la raza Chalqueño (Valles Altos de México) con antecedentes en programas de mejoramiento genético en los Valles Altos de México; además, se incluyeron poblaciones nativas del área de la raza Chalqueño o sus variantes (Chalqueño-Celaya, Chalqueño-Cónico). Para evaluar vigor en etapas tempranas se usaron camas de arena en microtúnel, con siembras a 15 cm de profundidad. En campo, la siembra se realizó en tres localidades: Zotoluca, Apan, Hgo., Mixquiahuala, Hgo. y Santa Lucía, Texcoco, Edo. de México, en el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2006 a una densidad de 50 mil plantas por hectárea. En ambas evaluaciones el diseño experimental fue un látice 12 x 12 con tres repeticiones, registrándose 15 variables para vigor inicial y 21 en campo, de las cuales se eligieron cinco y ocho, respectivamente por su grado de relevancia. Para vigor inicial, todas las variables mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre grupos y entre poblaciones dentro de grupos, al igual que en la evaluación en campo, donde además se detectó que los efectos de ACG y ACE también fueron altamente significativos. Al considerar los efectos de ACG para las variables evaluadas en ambas fases del estudio se detectó que las poblaciones Méx-633, Col-03-64, Col-6784 y $F_{HCH-129F_n}$ de la raza Chalqueño, así como Gto-142, Tlax-151 y VS-22, variantes de la misma raza, presentaron la mejor expresión tanto para vigor de plántula como para rendimiento de grano y sus componentes. En ambas fases del estudio se registró un número de cruzamientos con efectos de ACE relevante, en los que se involucra a progenitores de origen geográfico divergente, denotando la capacidad de combinación entre ellos, atributo importante para identificar patrones heteróticos factibles de ser utilizados por los programas de mejoramiento genético de Valles Altos de México. En general, al considerar la evaluación *per se* en ambas fases del estudio, se detectaron cruzamientos que superaron a los híbridos comerciales testigo y la mejor heterosis se obtuvo cuando se cruzaron progenitores propios de la raza Chalqueño con variantes de dicha raza de origen geográfico relativamente lejano.

Palabras clave: *Zea mays* L., vigor inicial, heterosis, cruzas dialélicas, Chalqueño.

HETEROSIS AMONG MAIZE POPULATIONS OF THE CHALQUEÑO RACE WITH DIFFERENT DEGREE OF GENETIC DIVERGENCE

Gilberto Esquivel Esquivel, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2008

With the purpose of evaluating heterosis as well as general (GCA) and specific (SCA) combining ability effects at both early stages of maize development and field performance and productivity in relation to the amplitude of geographic origin, 15 native parental maize populations, their 105 crosses and some additional genotypes of the Mexican highlands were evaluated into a diallelic array, design II of Griffing. Native parental populations were selected according to such criteria as having origin within the geographic distribution area of Chalqueño race (Mexican highlands), populations with background in the Mexican highlands genetic improvement programs, besides, other populations were elected by searching wider geographic representativeness. For evaluating vigor in early stages sand beds under microtunnel were used, planting seeds at 15 cm depth. In the field, planting was carried out in three locations: Zotoluca, Apan, Hgo., Mixquiahuala, Hgo. and Santa Lucia, Texcoco, State of Mexico, in the Spring-Summer growing season, 2006 using a population density of 50 thousand plants per hectare. In both evaluations the experimental design was a 12 x 12 lattice with three replications; 15 traits were recorded for early vigor and 21 in the field evaluation; the five and eight more relevant traits, respectively were analyzed. For early vigor, all the traits showed highly significant differences ($P \leq 0.01$) among groups and populations within groups, as they did in the field evaluation, where in addition highly significant GCA and SCA effects were detected. When considering the GCA effects for the evaluated traits in both phases, Méx-633, Col-03-64, Col-6784 and FH_{CH}-129_{F_n} populations, belonging to the Chalqueño race, as well as Gto-142, Tlax-151 and VS-22, considered as variants of the same race, were detected as those displaying the best expression for both seedling vigor and grain yield and its components. In both phases of the study a number of crosses with outstanding SCA effects was registered, involving progenitors of divergent geographic origin, denoting the capacity of combination among them, which is important to identify heterotic patterns readily available to be used by breeding programs of the Mexican highlands. In general, when considering *per se* evaluation in both phases of the study, outstanding crosses were detected surpassing commercial hybrids used as checks and the best heterosis was obtained when true-to-type progenitors of the Chalqueño race were crossed to some variants of that race, from relatively remote geographic origin.

Key words: *Zea mays* L., early vigor, heterosis, diallelic crosses, Chalqueño.

AGRADECIMIENTOS

A todo el pueblo de México, quien a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), me otorgó la beca para la realización de los estudios de Doctorado en Ciencias.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo brindado en todos los aspectos para realizar mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados, por la oportunidad de realizar mis estudios en sus aulas, laboratorios y campo.

Al Consejo de Desarrollo y Productividad de Cinta Larga, Mixquiahuala, Hgo., por las facilidades brindadas para llevar a cabo una parte del trabajo experimental.

A los señores Maximino y Biviano Ramírez Flores, agricultores de Zotoluca, Apan, Hgo., por el apoyo incondicional en el establecimiento de una parte del trabajo experimental.

Al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI), por el apoyo brindado para realizar el trabajo de investigación.

A Wallace Genetic Foundation por el apoyo brindado para la realización de la investigación.

Al Dr. Fernando Castillo González, Profesor Consejero, por la dirección y asesorías recibidas para la planeación, ejecución y culminación de esta investigación y por su apoyo incondicional durante mi postgrado.

A los doctores Amalio Santacruz Varela, Juan Manuel Hernández Casillas, Gabino García de los Santos y Jorge A. Acosta Gallegos, por su apoyo incondicional y asesoría recibida durante mis estudios y durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Al Ing. Antonio Ramírez Hernández, por tomar la responsabilidad en la planeación y ejecución del trabajo de campo.

Al personal académico del Colegio de Postgraduados, especialmente a los del Postgrado en Genética y Semillas, por la formación recibida y por su amistad, así como por el apoyo brindado en momentos difíciles.

Al personal administrativo tanto del Postgrado en Genética como de Semillas, por el apoyo brindado durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A todos los compañeros que conocí durante mi Postgrado y en particular a los de Genética, por ayudarme a que las tareas encomendadas fueran llevaderas y posibles de realizar.

En general a todos aquellos que de una forma u otra apoyaron para cumplir mi objetivo en el Colegio de Postgraduados (Angel Rojas, Miguel Gravos, Carlos Garay, Francisco Santillán, Ricardo, Gabriel Santoyo, Angel Huescas Sánchez y Antonio Ramírez).

DEDICATORIA

A mi esposa *Rosa María Ibarra Vázquez*, por ser parte de mí en todo momento y porque es la persona quien en los momentos difíciles sacrificó todo por tal de que las cosas salieran adelante.

A mis hijos *Gilberto e Ivone Esquivel Ibarra*, por soportar mi ausencia en este periodo tan largo, pero sobre todo por asumir su responsabilidad que como niños les corresponde para que una familia salga adelante.

A mis padres *Esperanza Esquivel Macías y Patrocinio Esquivel Lara*, como reconocimiento a su tenacidad para luchar en la vida, ya que son y seguirán siendo el mejor ejemplo para mí.

A mi abuela *Nicolasa Macías Rodríguez*, que desde lejos y con sus años auestas todavía tiene fuerza para recordarme y enviar sus bendiciones.

A mis hermanos *Josefina, Jovita, Jesús, Jaime, Ma. Guadalupe, Javier, Juana María y Maribel* porque aunque lejos, siempre estuvieron pendientes dando ánimo para que el esfuerzo no fuera en vano.

A mis suegros *Gloria Vázquez Hernández y Silverio Ibarra Flores*, por el apoyo incondicional brindado a mí y a mi familia en todo momento.

A mis compadres *Esmeralda Ibarra y Esteban Venegas* por su apoyo y palabras de ánimo para salir adelante.

A *Edgar Ibarra y Gloria*, por apoyar incondicionalmente en lo necesario.

A *Rosa María Hernández, Socorro, Irene y Jesús Vázquez*, por ser parte de mi familia.

Con especial afecto a mis amigos de siempre.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVO.....	7
HIPÓTESIS.....	7

CAPÍTULO II. HETEROSIS ENTRE PROGENITORES DE MAÍZ DE VALLES ALTOS DE MÉXICO EN ETAPAS TEMPRANAS DEL DESARROLLO.....	8
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
CONCLUSIONES.....	25
LITERATURA CITADA.....	25
CAPÍTULO III. APTITUD COMBINATORIA ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ CON DIFERENTE GRADO DE DIVERGENCIA GENÉTICA EN EL ALTIPLANO MEXICANO.....	28
RESUMEN.....	28
ABSTRACT.....	29
INTRODUCCIÓN.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	47
CAPÍTULO IV. HETEROSIS ENTRE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ DEL ALTIPLANO DE MÉXICO CON DIFERENTE GRADO DE DIVERGENCIA GENÉTICA EN EL ALTIPLANO MEXICANO.....	50
RESUMEN.....	50
ABSTRACT.....	51
INTRODUCCIÓN.....	52
MATERIALES Y MÉTODOS.....	54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
CONCLUSIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	76
V. DISCUSIÓN GENERAL.....	79
VI. CONCLUSIONES GENERALES.....	86
VII. LITERATURA CITADA.....	87

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

- Cuadro 2.1 Poblaciones progenitoras con las que se obtuvieron sus 105 cruzas posibles, cruzas adicionales e híbridos comerciales evaluados para valorar heterosis en etapas tempranas en maíces

	con diferente grado de divergencia genética. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.....	13
Cuadro 2.2	Cuadrados medios de los análisis de varianza de cinco caracteres para la evaluación de vigor inicial en maíz. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.2006.....	16
Cuadro 2.3	Medias por grupo para la evaluación de vigor entre poblaciones de maíz. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.....	17
Cuadro 2.4	Efectos de ACG y comportamiento <i>per se</i> para vigor de plántula de poblaciones nativas del Altiplano de México. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.....	18
Cuadro 2.5	Valor medio, ACE y heterosis de cruzas dialélicas y medias de cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo evaluados para vigor inicial. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.....	22
Cuadro 3.1	Poblaciones progenitoras con las que se obtuvieron sus 105 cruzas posibles, cruzas adicionales e híbridos comerciales evaluados para valorar la aptitud combinatoria con diferente grado de divergencia. Primavera-Verano, 2006.....	33
Cuadro 3.2	Ubicación geográfica y características climatológicas de las localidades donde se realizó el estudio.....	34
Cuadro 3.3	Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de la evaluación de cruzas entre poblaciones nativas del altiplano de México para ocho variables. Tres localidades de Valles Altos de México. Primavera-Verano, 2006.....	37
Cuadro 3.4	Valores promedio por grupo de poblaciones del altiplano mexicano y sus cruzamientos para las ocho características consideradas. Tres localidades de Valles Altos de México. Primavera-Verano, 2006.....	38
Cuadro 3.5	Valores promedio por grupo de poblaciones del altiplano mexicano y sus cruzas en cada localidad para las variables de mayor relevancia. Primavera-Verano, 2006.....	39
Cuadro 3.6	Efectos de ACG de 15 poblaciones progenitoras evaluadas en tres localidades. Ciclo Primavera-Verano, 2006.....	41
Cuadro 3.7	Valor promedio, ACE de cruzas dialélicas y promedios de cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo evaluadas en tres localidades de Valles Altos de México. Primavera-Verano,	

	2006.....	43
Cuadro 4.1	Poblaciones progenitoras con las que se obtuvieron sus 105 cruzas posibles, cruzas adicionales e híbridos comerciales evaluados para valorar heterosis con diferente grado de divergencia. Primavera-Verano, 2006.....	55
Cuadro 4.2	Ubicación geográfica y características climatológicas de las localidades donde se realizó el estudio.....	56
Cuadro 4.3	Cuadros medios del análisis de varianza combinado de la evaluación de cruzas entre poblaciones nativas del altiplano de México para ocho variables. Tres localidades de Valles Altos de México. Primavera-Verano, 2006.....	58
Cuadro 4.4	Valores promedio por grupo de poblaciones del altiplano mexicano y sus cruzamientos para ocho características consideradas. Tres localidades. Primavera-Verano, 2006.....	59
Cuadro 4.5	Valores promedio por grupo de poblaciones del altiplano mexicano y sus cruzas en cada localidad para las variables de mayor relevancia. Primavera-Verano, 2006.....	60
Cuadro 4.6	Medias de rendimiento de grano ($t\ ha^{-1}$) (REN) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras <i>per se</i> (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.....	63
Cuadro 4.7	Medias de mazorcas por planta (MP) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras <i>per se</i> (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.....	65
Cuadro 4.8	Medias de longitud de grano (LGr, cm) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras <i>per se</i> (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.....	67
Cuadro 4.9	Medias de diámetro de mazorcas (DM, cm) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras <i>per se</i> (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.....	69

Cuadro 4.10	Medias de días a floración masculina (DFM) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras <i>per se</i> (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.....	71
Cuadro 4.11	Medias de altura de planta (AP, m) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras <i>per se</i> (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.....	73
Cuadro 4.12	Valores promedio de las cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo incluidos en la evaluación de campo. Primavera-Verano. 2006.....	75
Figura 4.1	Rendimiento (progenitor medio y heterosis) de cruzas sobresalientes con relación a los patrones heteróticos VS-22 x Pob-85 C4 y Tlax-151 x VS-22. Primavera-Verano. 2006.....	64

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las principales contribuciones para mejorar el maíz en el siglo XX han sido: 1) un método para mejorar genéticamente el maíz híbrido y la creación de la infraestructura necesaria para producir en gran escala semilla comercial, y 2) mejoras mediante métodos genotécnicos de la planta de maíz que han contribuido a una mayor productividad, maduración más temprana, sistemas radicales más fuertes, que junto con tallos más cortos y resistentes reducen el acame, y resistencia a patógenos y plagas de insectos (Poehlman y Allen, 2003); sin embargo, poco se ha trabajado en el mejoramiento para vigor de semilla y de plántula, aunque existen evidencias importantes de la gran variabilidad genética entre materiales que puede ser útil en programas de mejoramiento genético de maíz (Moreno y Christensen, 1971; Fakorede y Ojo, 1981).

Existen dos tipos de variaciones importantes en el mejoramiento genético de plantas, la ambiental y la hereditaria. Las variaciones hereditarias son el resultado de las diferentes características genéticas que determinan caracteres o funciones en las plantas (Ram *et al.*, 1991). Al respecto, Hartmann *et al.* (1990) mencionan que los factores genéticos y ambientales son los que determinan la tasa de germinación, la velocidad de germinación y el vigor de semilla y de plántula, aunque Ram *et al.* (1991) señalan que la variabilidad genética es la de mayor interés para los fitomejoradores, y es conveniente distinguirla de la variación ambiental y de interacción genético-ambiental en el proceso de mejoramiento. Por lo tanto, la tarea principal de los fitomejoradores es ordenar esas variaciones heredables que pueden ser útiles para el mejoramiento de los cultivos. El desarrollo de variedades mejoradas toma un tiempo considerable y es costoso y una forma de realizar progresos rápidos, puede ser mediante la determinación del potencial de crecimiento inicial y vigor de semillas en los genotipos (Ajala y Fakorede, 1988).

Hinkelman (1976) señala que los diseños de apareamiento más comúnmente usados para la estimación de parámetros genéticos-estadísticos de poblaciones vegetales son las “cruzas dialélicas”, término que según este autor, fue introducido por Schmidt en

1919 para denotar todas las cruzas simples posibles entre un conjunto de animales macho y otro conjunto de hembras, que al correr el tiempo se ha generalizado para hacer referencia a un juego de todas las cruzas simples posibles entre un conjunto de identidades genéticas que pueden ser individuos monoicos, dioicos o líneas endogámicas.

Gardner y Eberhart (1966) indican que el esquema de cruzas dialélicas ha sido valioso para decidir sobre el sistema de mejoramiento que ha de usarse en la selección de material genético con mayores expectativas de éxito, así como también, en el aspecto de la genética cuantitativa para proporcionar un mejor conocimiento de la naturaleza de la acción génica involucrada en la determinación de los caracteres cuantitativos, que son de máxima importancia en la agricultura y en el proceso evolutivo de las especies.

En función de las inclusiones o no, de los progenitores, o del grupo de cruzas recíprocas, Griffing (1956) derivó cuatro diferentes métodos de análisis para las series de cruzas dialélicas: I) incluye los progenitores y los grupos de cruzas directas y recíprocas haciendo un total de p^2 combinaciones, II) se forma con el grupo de progenitores y un solo grupo de cruzas F_1 que dan un total de $p(p+1)/2$ combinaciones, III) constituido por los dos grupos de cruzas F_1 , excluyendo los progenitores, que hacen un total de $p(p-1)$ combinaciones y IV) donde sólo se considera un grupo de cruzas en cualquier sentido; $p(p-1)/2$ cruzas. Por lo anterior, cada método requiere una diferente forma de análisis, y de los cuatro, los que no incluyen a los progenitores, se les denomina como “dialélicos modificados” (Griffing, 1956).

Existen también dos alternativas en relación a la forma de seleccionar los progenitores, que origina diferente orientación para la estimación y pruebas de hipótesis que sobre los efectos de aptitud combinatoria se establezcan (Griffing, 1956). Un caso se presenta cuando los progenitores son una muestra aleatoria de la población de referencia sobre la cual se harán las inferencias de la variación de tipo genético. La otra situación es cuando los progenitores conforman en sí, un grupo particular de

progenitores. La distinción entre ambos casos es importante para el análisis de varianza y para interpretar la información que se obtiene, ya que en el caso donde los progenitores son un grupo particular, no es apropiado estimar componentes de varianza y el enfoque se centra en la estimación de los efectos de aptitud combinatoria general y específica, parámetros que sólo son aplicables a los progenitores y cruzas incluidos. En el otro caso, el objetivo principal es la estimación de componentes de varianza de la población de referencia (Hallauer y Miranda, 1981), donde la variación entre efectos de aptitud combinatoria general está determinada básicamente por efectos genético-aditivos (Hayman, 1954).

Gardner y Eberhart (1966) señalan que los dialélicos se utilizan principalmente para la estimación de varianza genética, cuando los progenitores son líneas o individuos tomados en forma aleatoria de una población panmíctica en equilibrio de ligamiento; así como para estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) de un grupo particular de líneas. Los diseños dialélicos han sido utilizados extensivamente por los fitomejoradores de maíz, ya que la información que de ellos se obtiene resulta muy útil cuando se analiza e interpreta adecuadamente (Hallauer y Miranda, 1981). Lin (1972) agrega que los cruzamientos dialélicos y el análisis correspondiente han sido considerados como herramientas importantes en la determinación del potencial genético de una línea *per se* en combinaciones de material cruzado en los programas de mejoramiento.

La consideración de la magnitud de la variación y de las relaciones de los efectos de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), permiten al fitomejorador decidir sobre el mejor o mejores métodos para el mejoramiento genético de una especie cultivada. La primera se define como el comportamiento promedio de un progenitor en una serie de cruzamientos y la segunda como la desviación de cada cruzamiento con respecto al comportamiento medio de los progenitores que intervienen en la cruce (Sprague y Tatum, 1942). Así mismo, Falconer (1990) indica que la ACG de una línea es el comportamiento promedio de todas las cruzas que tienen a dicha línea como progenitor, expresándola como la desviación respecto de la media general de

todas las cruza en el esquema de apareamiento. Por su parte, la ACE es la desviación del valor observado real de la cruza de dos líneas con respecto a su valor esperado. El valor esperado de una cruza es la suma de las aptitudes combinatorias generales de sus dos líneas paternas más la media general de todas las cruza.

Un gran número de fitomejoradores en México y en otros países se han dado a la tarea de estimar la ACG de las variedades y los efectos de ACE de sus cruza en grupos de materiales genéticos de maíz, con el fin de inferir el origen de la heterosis, identificar genotipos sobresalientes y dilucidar la o las estrategias de mejoramiento genético idóneas, no sólo en función de los objetivos del mejoramiento y del comportamiento y características genéticas de los materiales seleccionados (Gardner y Eberhart, 1966), sino también del tiempo y recursos disponibles (Rivera, 1977). En términos generales, si $ACG > ACE$ son convenientes las estrategias de selección recurrente, si $ACG < ACE$ la hibridación y si $ACG = ACE$ la selección recíproca recurrente, que permite aprovechar tanto la varianza genética aditiva como la de dominancia (Márquez, 1988; Villanueva *et al.*, 1994).

La heterosis es el resultado de la adición e interacción de un gran número de factores genéticos, aportados por los progenitores y reunidos en el híbrido resultante. La generación F_1 es la que exhibe la heterosis con mayor intensidad y es tan homogénea como sus progenitores si estos son homocigotes. La generación F_2 es mucho más variable que la F_1 y presenta menor heterosis, lo cual se debe a que los individuos que constituyen la población F_2 , no pertenecen a un genotipo único, por presentarse cierto grado de segregación. A medida que el número de generaciones de segregación aumenta, si no se efectúa selección, el efecto de heterosis va desapareciendo hasta que se llega a un punto en que cada generación no difiere de la anterior (De la Loma, 1982).

Existen dos hipótesis que tratan de explicar la heterosis: 1) hipótesis de dominancia, la que supone que la presencia de alelos dominantes a través de los diferentes loci en un genotipo determina su mejor desarrollo y expresión, y donde además los genes

recesivos deletéreos se encuentran encubiertos al encontrarse en condición heterocigota; esta hipótesis no considera que el heterocigoto pudiera ser superior al homocigoto dominante (Bruce, 1910), y 2) hipótesis de sobredominancia, propuesta por East en 1908, la cual establece que la heterocigosis *per se* es necesaria para la expresión completa de la heterosis. De acuerdo con este concepto un heterocigoto Aa, puede ser mejor que cualquiera de los homocigotos AA ó aa.

Moll *et al.* (1962) definieron a la heterosis como un fenómeno en el cual el híbrido resultante del cruzamiento de dos variedades es superior al promedio de sus progenitores en crecimiento, tamaño, rendimiento y en vigor en general y que la magnitud de la heterosis está en función de la divergencia genética entre los progenitores. Según Jugenheimer (1990), la heterosis se manifiesta principalmente en las plantas de la generación F₁ provenientes de semillas de reproducción sexual; agrega que el vigor, el rendimiento y la mayoría de los caracteres de importancia económica del maíz son de naturaleza cuantitativa y están controlados por un gran número de genes, cuyos efectos pueden diferir ampliamente, dependiendo del tipo de acción génica manifestada. Dichas aseveraciones son apoyadas por Vasal y Córdova (1996), quienes además mencionan que la epistasis y las interacciones génico-ambientales se suman a la complejidad del fenómeno de la heterosis.

En el siglo XX y lo que va del XXI se han obtenido importantes logros en el incremento del rendimiento de grano de maíz y se ha obtenido mayor uniformidad en los materiales mejorados como resultado del proceso de selección, lo cual ha ocasionado una reducción de la base genética utilizada (Plucknett *et al.*, 1992). En los programas de mejoramiento genético modernos para maíz, el enfoque principal ha sido orientado a desarrollar paquetes tecnológicos para producir variedades con alta uniformidad y potencial de rendimiento (Vasal *et al.*, 1999). Este conjunto de factores han contribuido a reducir las opciones de diversidad genética utilizada en el desarrollo de variedades mejoradas. La diversidad genética del germoplasma de maíz de Valles Altos, así como los criterios de selección aplicados en la evaluación del potencial genético, justifica emprender estudios de diversidad genética, asociados a

características de rusticidad, tolerancia a enfermedades y alto rendimiento (Castillo-González y Goodman, 1989; Pollak, 1993 y LAMP, 1991).

Las razas Chalqueño y Cónico, de acuerdo con Wellhausen *et al.* (1951), tienen una distribución geográfica semejante en la Mesa Central de México, pero difieren un tanto debido a la duración del ciclo biológico; Cónico es más precoz y ocupa diferente área de cultivo. Los límites superior e inferior de adaptación son aproximadamente de 1,800 a 2,300 metros, respectivamente, mientras que los del Chalqueño varían de 2,200 a 2,800 metros. Aún cuando las dos razas se encuentran frecuentemente en la misma región general y de acuerdo con Silva (1992) constituyen un complejo en el que las poblaciones típicas de ambas razas son los extremos. Así, la raza Chalqueño se distribuye en dirección latitudinal desde los estados de Durango y Zacatecas hasta el estado de Oaxaca y en la dirección longitudinal, se encuentran desde Michoacán hasta Puebla.

De la amplia lista de híbridos y variedades generadas por el INIFAP desde sus orígenes, pocas son las que actualmente se utilizan, en parte se debe a que pueden presentar limitaciones para satisfacer las necesidades que tienen los productores, por lo que se considera importante referirse a las poblaciones progenitoras que han dado origen a tales híbridos, entre de las más comunes están: Hgo-3, Hgo-4, Hgo-5, Hgo-10, Hgo-55, Urq-54, Méx-37, Ch-II, Pue-6, Pue-75, Cuatero de la Virgen, Mich-21, Tlax-151, Méx-39, Pob-85 (Gámez *et al.*, 1996, Espinosa *et al.*, 2004 y Velázquez *et al.*, 2005), de las cuales algunas han participado en mayor frecuencia (Mich-21, Ch-II, Méx-37, Pue-75, Pob-85 y Tlax-151). Observándose también que antes de los 1990s, las líneas fueron derivadas de colecciones y los híbridos eran obtenidos y liberados por aportaciones de una sola institución, mientras que en la última década varios híbridos comerciales se han integrado con líneas avanzadas generadas por el INIFAP, Colegio de Postgraduados y UACH combinadas con aportaciones del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Bajo esta situación, la diversidad del germoplasma en los híbridos liberados en los últimos años parece haber sufrido una reducción y pueden ser varias las razones; uno de estos criterios podría ser el tipo de planta y la tolerancia al acame; por otra parte, se ha hecho investigación sobre la variación de la capacidad productiva de poblaciones de la raza Chalqueño o Cónico de orígenes geográficos diversos y contrastantes en comportamiento *per se* o en cruzamientos (Silva, 1992, Balderrama, *et al.*, 1997, Hernández, 1994, Romero, *et al.*, 2002 y Herrera, *et al.*, 2004) que ha permitido la detección de materiales con potencial para enriquecer los programas de mejoramiento genético de maíz de los Valle Altos, pero ha sido limitado el aprovechamiento de esa información.

Con la aparente tendencia a la reducción de la base de variación genética y la consideración de diversos materiales base de los híbridos o detecciones adicionales, se plantea la conveniencia de estudiar la capacidad combinatoria de fuentes de germoplasma en el grado integral que presenten los estudios, considerando la relación de divergencia genética y su asociación con la heterosis, tratando de considerar el área de distribución de la raza Chalqueño.

OBJETIVOS

Con la finalidad de valorar en cruzamientos el potencial como fuentes de germoplasma de las poblaciones elegidas como provenientes del área de distribución geográfica de la raza Chalqueño, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar la aptitud combinatoria y la heterosis entre poblaciones adaptadas a las condiciones de zonas altas de México en la etapa de crecimiento inicial y mediante la expresión en campo.

HIPÓTESIS

Los cruzamientos de poblaciones con origen geográfico diferente dentro de los Valles Altos de México, generan poblaciones con caracteres complementarios haciéndolas superiores a los progenitores y factibles para incorporarlas a los programas de mejoramiento genético.

CAPÍTULO II. HETEROSIS ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ DE VALLES ALTOS DE MÉXICO EN ETAPAS TEMPRANAS DEL DESARROLLO

RESUMEN

El establecimiento inicial del cultivo de maíz en campo es importante para asegurar un buen rendimiento al final del ciclo. Con el objeto de evaluar la heterosis en etapas tempranas del desarrollo de maíz, se evaluaron en un arreglo dialélico diseño II de Griffing 105 cruzamientos, sus 15 progenitores y otros genotipos adicionales provenientes de los Valles Altos de México tratando de abarcar el área de distribución geográfica de la raza Chalqueño. La siembra se realizó en camas de arena a 15 cm de profundidad bajo condiciones de invernadero. El diseño experimental fue un látice 12 x 12 con tres repeticiones. Se registraron 15 caracteres, de los cuales se analizaron cinco por considerarlas más relevantes, encontrándose para todos ellos diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre grupos y entre poblaciones dentro de grupos; así como para las aptitudes combinatorias. Al considerar los mayores efectos positivos de ACG para las variables evaluadas, las poblaciones Dgo-189, Gto-208, Gto-142, Col-6784, $F_{HC}H-129F_n$, Col-64-03, Jal-335, VS-22 (Mich-21) y Zac-66 presentaron el mayor vigor tanto por la velocidad de emergencia como por el tamaño de las estructuras de la plántula. También se registró un número importante de cruzamientos con efectos de ACE relevante, indicando la existencia de progenitores en la zona de estudio con alta capacidad de combinación entre ellos. Las poblaciones con mayor frecuencia como progenitores en los híbridos sobresalientes para velocidad y porcentaje de emergencia, altura de plántula, longitud del mesocotilo y biomasa total fueron las del estado de México, seguidas de las de Gto., Dgo. y Mich., participando con mayor frecuencia como progenitoras las poblaciones Col-64-03, Zac-66, Gto-142, Gto-208, Col-6784, $F_{HC}H-129F_n$, Dgo-189, Jal-335 y VS-22. Se observó que cruzamientos entre poblaciones con origen geográfico distinto presentan heterosis para vigor inicial, atributo importante para siembras de maíz en humedad residual, sistema utilizado con frecuencia en los Valles Altos de México.

Palabras clave: *Zea mays*, vigor, dialelos, cruzas, Chalqueño.

CHAPTER II. HETEROSIS AMONG MEXICAN HIGHLAND MAIZE POPULATIONS IN EARLY DEVELOPMENTAL STAGES

ABSTRACT

Initial establishment of the maize crop in the field is important in order to assure good yield at harvest. With the aim of evaluating heterosis in early developmental stages of maize, 105 single crosses, their 15 parental populations and a group of additional genotypes from the High Valleys of Mexico were evaluated using the method II of Griffing diallel in an attempt to cover the area of geographic distribution of the Chalqueño race. Planting was carried out at 15 depth cm into sand beds under greenhouse conditions. The experimental design was a 12 x 12 lattice with three replications. 15 traits were registered and the five most relevant ones were analyzed resulting in highly significant differences ($P \leq 0.01$) among groups and among populations within groups for those traits; as well as for the combining ability components. When considering the largest positive effects of GCA for the evaluated traits, populations Dgo-189, Gto-208, Gto-142, Col-6784, F_{HCH}-129F_n, Col-64-03, Jal-335, VS-22 (Mich-21) and Zac-66 showed the highest vigor in both emergence speed and size of the seedling structures. Also, an important number of crosses with relevant effects of SCA was registered, indicating the existence of progenitors with high capacity of combination among them in the region of study. Populations participating with the highest frequency as progenitors of those outstanding hybrids in speed and percentage of emergence, seedling height, mesocotyl length and total biomass came from the state of Mexico, followed by those from Gto., Dgo. and Mich. Populations Col-64-03, Zac-66, Gto-142, Gto-208, Col-6784, F_{HCH}-129F_n, Dgo-189, Jal-335 and VS-22 (Mich-21) participated with the highest frequency as progenitors. It was observed that those crosses between populations with different geographic origin displayed heterosis for initial vigor, which is an important attribute for planting maize under the residual moisture system, frequently used in the High Valleys of Mexico.

Index words: *Zea mays*, vigor, diallels, crosses, Chalqueño.

INTRODUCCIÓN

La selección de materiales que puedan servir a los programas de mejoramiento genético requiere de un conocimiento de la diversidad genética y una idea clara de lo que se persigue. Sprague y Finlay (1976) apuntan que la evaluación de una gran diversidad de germoplasma es un trabajo arduo, pero que puede redituar importantes frutos, ya sea mediante la identificación de colecciones sobresalientes *per se*, la de combinaciones que permitan explotar la heterosis, o bien por la posibilidad de contar con genes que determinan caracteres cuantitativos deseables que mediante recombinación y selección paulatina puedan concentrarse para generar mejores poblaciones.

Sprague y Tatum (1942) definieron aptitud combinatoria general (ACG) como el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, valorado a través de la prueba de cruzamientos con un conjunto de líneas diferentes, y el de aptitud combinatoria específica (ACE) como la desviación que presenta la progenie de una cruce específica con respecto al promedio (ACG) de sus progenitores. Por su parte Moll *et al.* (1962) definieron a la heterosis como un fenómeno en el cual el híbrido resultante del cruzamiento de dos variedades es superior al promedio de sus progenitores en crecimiento, tamaño, rendimiento y vigor en general y que la magnitud de la heterosis está asociada con el grado de divergencia genética entre los progenitores (Moll *et al.*, 1965)

Para un mejor aprovechamiento de las colecciones de maíz es necesario ensayar estrategias y metodologías que permitan conocer la variabilidad y diversidad. La elección de la mejor metodología dependerá del conocimiento de la estructura genética de la población, así como del entendimiento de la naturaleza de la acción génica de los caracteres cuantitativos (Gardner, 1963).

Gardner y Eberhart (1966) señalan que los diseños dialélicos se utilizan principalmente para la estimación de varianza genética, cuando los progenitores son líneas o individuos tomados en forma aleatoria de una población panmíctica en

equilibrio de ligamiento; así como para estimar los efectos de ACG y ACE de un grupo particular de líneas. Los diseños dialélicos han sido utilizados extensivamente por los fitomejoradores de maíz, ya que la información que de ellos se obtiene resulta muy útil cuando se analiza e interpreta adecuadamente (Hallauer y Miranda, 1981).

De la diversidad genética del maíz en México, sólo una pequeña fracción ha sido utilizada en el mejoramiento genético (Ortega *et al.*, 1991; Gámez *et al.*, 1996). Tales materiales pertenecen, en su mayoría a cuatro razas: Cónico, Chalqueño, Tuxpeño y Celaya; y otras pocas con uso limitado como Bolita y Cónico Norteño (Márquez, 1994).

El mejoramiento genético de maíz para Valles Altos ha centrado su atención en la obtención de híbridos con líneas derivadas de poblaciones nativas sobresalientes o de mezclas de la raza Cónico y Chalqueño, entre las que se encuentran Mich-21, Qro-10, Tlax-151, Tlax-208, Méx-37, Méx-39, Hgo-4, Hgo-7, Pue-75 y Chapingo II (Gámez *et al.*, 1996), siendo muy pocas las colectas nativas que han sido incorporadas en los programas de mejoramiento, a pesar de que se han detectado algunas de ellas con características agronómicas deseables y alto potencial de rendimiento (Ortega *et al.*, 1991; Balderrama *et al.*, 1997; Herrera *et al.*, 2004; Romero *et al.*, 2002).

Se considera que la distribución geográfica del maíz Chalqueño, en sus dos sistemas de cultivo principales, humedad residual y punta de riego, en altitudes superiores a los 2000 msnm, se ubica desde el norte en los estados de Zacatecas, Durango, Guanajuato, Michoacán, Querétaro, México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y hasta el sur del país en la Mixteca Alta Oaxaqueña (Herrera *et al.*, 2004, Wellhausen *et al.*, 1951).

En gran parte de las regiones agrícolas que comprenden los Valles Altos de México prácticamente no se siembran variedades mejoradas; en estos lugares las condiciones climáticas y edáficas permiten el cultivo del maíz en el sistema de arroje o conservación de humedad residual. En este peculiar estilo de siembra la semilla es depositada en el fondo del surco, hasta una profundidad tal que ésta quede en contacto con la humedad guardada, para que de este modo se inicie el proceso de germinación

y crecimiento de las plántulas. Este sistema de siembra requiere semilla vigorosa, por lo que el método de cultivo ha ejercido una fuerte presión de selección en las poblaciones locales de maíz en esta característica, siendo el vigor de las semillas de estas regiones más acentuado con respecto a semillas de otras regiones.

Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la heterosis entre progenitores de maíz de Valles Altos y la capacidad de combinación entre ellos en la etapa de crecimiento inicial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético. En el estudio se incluyeron poblaciones progenitoras que cubrieran los criterios siguientes: a) que las poblaciones tuvieran antecedentes como material sobresaliente en estudios previos, b) que el origen geográfico de las poblaciones preferentemente estuviera limitado a los Valles Altos de México, c) que tuvieran bajo nivel de mejoramiento genético, no obstante, por falta de semilla algunas poblaciones fueron sustituidas por otras con cierto grado de mejoramiento, como el caso de VS-22 (Mich-21) y $F_{HC}H-129F_n$ y d) que preferentemente pertenecieran a la raza Chalqueño o que fueran variantes de ésta (Chalqueño-Celaya, Chalqueño-Cónico) y Ancho, que comparte área cultivada con Chalqueño en el sureste del estado de México. Se incluyeron dos poblaciones exóticas (Urg-II y Arg-III) de la raza Cateto Sulino, con la idea de corroborar las relaciones entre distancia geográfica, divergencia genética y heterosis. Así, el material genético estuvo constituido y agrupado para su análisis por 15 poblaciones de maíz con diferente origen geográfico y sus 105 cruzas simples posibles, 14 cruzas simples adicionales, cuatro poblaciones progenitoras adicionales y seis híbridos comerciales como testigos (Cuadro 2.1). Los últimos tres grupos contienen material propio de Valles Altos de México y en particular el grupo de cruzas adicionales se formó tratando de representar a esta área, y de incluir patrones heteróticos ya establecidos. La semilla de las poblaciones fue proporcionada por el Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Colegio de Postgraduados.

Cuadro 2.1. Poblaciones progenitoras con las que se obtuvieron sus 105 cruzas posibles, cruza adicionales e híbridos comerciales evaluados para valorar heterosis en etapas tempranas en maíces con diferente grado de divergencia genética. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.

No	Población	Edo/País	Municipio	Lat.	Long.	Alt.	Raza	Referencias
Poblaciones progenitoras								
2	Hgo-4	Hgo.					Chalqueño	Gómez <i>et al.</i> , 1996
3	Dgo-189	Dgo.	El Mezquital	23° 28'	104° 22'	1440	Chalqueño	LAMP, 1991
5	Gto-208	Gto.	León	21° 16'	101° 34'	2419	Chalq-Celaya	Romero <i>et al.</i> , 2002
6	Gto-142	Gto.	SM Allende	20° 55'	100° 45'	1990	Chalq-Celaya	Romero <i>et al.</i> , 2002
7	Méx-633	E. Méx.	Tenan del A	19° 9'	98° 1'	2410	Chalqueño	Romero <i>et al.</i> , 2002
8	Col-03-64	E. Méx.	Tepetlixpa	19° 16'	98° 49'	2393	Chalqueño	
9	Col-6784	E. Méx.	Chalco	19° 16'	98° 54'	2240	Chalqueño	Herrera <i>et al.</i> , 2004
10	F _{HC} H-129F _n	E. Méx.	Texcoco	19° 29'	98° 53'	2250	Chalqueño	Romero <i>et al.</i> , 2002
12	Zac-66	Zac.	Jerez	22° 38'	102° 58'	1900	Chalq-Cónico	LAMP, 1991
15	Oax-814	Oax.					Chalq-Cónico	LAMP, 1991
16	Jal-335	Jal.	Lagos de M	21° 22'	101° 55'	2130	Chalq-Celaya	
18	Tlax-151	Tlax.	Cuapiaxtla	19° 18'	97° 45'	2483	Chalq-Cónico	Gómez <i>et al.</i> , 1996
20	Urg-II	Uruguay					Cateto Sulino	Castillo y Goodman, 1989
21	VS-22 ^(Mich-21)	Mich.	Zacapu	19° 31'	98° 53'	2353	Chalq-Cónico	Romero <i>et al.</i> , 2002
22	Arg-III	Argentina					Cateto Sulino	Castillo y Goodman, 1989
	Prog. adic.	Cruzas adicionales				Híbridos		
1	Qro-46 (1)	Qro-46(1)x Hgo-4(2)			Méx-581(17) x Col-6784(9)		H-28	
17	Méx-581	Dgo-189(3) x Qro-46(1)			Zac-66(12) x Méx-581(17)		H-33	
24	Pob-85 C4	Gto-142(6) x Qro-46(1)			Pob-85 C4(24) x Zac-66(12)		H-40	
25	Pob-800 C5	Méx-633(7) x Qro-46(1)			VS-22(21) x Pob-85 C4(24)		H-52	
		Qro-46(1) x Oax-814(15)			Pob-800 C5(25) x Méx-581(17)		H-64-E	
		Méx-581(17) x Dgo-189(3)			Pob-800 C5(25) x Tlax-151(18)		H-66-E	
		Méx-581(17) x Gto-208(5)			Pob-800 C5(25) x Oax-708(23)			

Lat = Latitud (grados y minutos), **Long** = Longitud (grados y minutos), **Alt** = Altitud (msnm).

Obtención y evaluación de la F₁. Los cruzamientos entre los progenitores fueron realizados en el ciclo agrícola Primavera–Verano 2005 y Otoño–Invierno 2005–2006, en los Campos Experimentales Valle de México e Iguala, Gro., respectivamente, pertenecientes al INIFAP. La evaluación se realizó en los meses de junio a agosto de 2006 bajo condiciones de invernadero, en Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Los genotipos se sembraron en camas de arena, utilizando semilla de dos ciclos de cultivo subsecuentes homogeneizando el tamaño de ésta en el grado de lo posible. El diseño experimental utilizado fue un látice 12 x 12 con tres repeticiones. Por la poca disponibilidad de espacio, las repeticiones se establecieron de manera escalonada, utilizando tres fechas de siembra: 27 de junio, 13 de julio y 10 de agosto de 2006, una por repetición. Se sembraron 25 semillas por unidad experimental, que fueron distribuidas en líneas de un metro separadas a 6.8 cm, depositando una semilla cada 4 cm; posteriormente, se cubrieron con una capa de arena de 15 cm. Al término de la siembra, se aplicó un riego hasta que el sustrato quedó saturado, se cubrió con un plástico para invernadero, la humedad se monitoreó visualmente y se aplicaron riegos con la frecuencia requerida.

Variables evaluadas. Se determinó la velocidad de emergencia (VE), haciendo conteos diarios a partir de la emergencia de la primera plántula y hasta la emergencia de la última, utilizando la ecuación de Maguire (1962): $VE = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{i}$, donde e_i = Número de plantas emergidas en el i -ésimo día; i = días después de la siembra.

Una vez terminada la emergencia de las plántulas, éstas se dejaron crecer tres días más; posteriormente se extrajeron y se registró el número de plántulas normales (NPN) y anormales (NPA) y mediante la suma de estas dos, se determinó el número de semillas viables, las cuales se convirtieron para obtener el porcentaje de viabilidad (PV) y porcentaje de emergencia (PE) considerando sólo a las plántulas normales (Moreno, 1984; ISTA, 1995). En una muestra de diez plántulas tomadas al azar, se determinó la altura de plántula (AP), considerada desde el extremo superior del mesocótilo hasta la

punta de la primer hoja desarrollada, longitud del coleoptilo (LC), longitud del mesocótilo (LM), número de hojas liguladas (NHL) y no liguladas (NHnoL), vigor de plántula (VP) y de raíz (VR) (escala visual 1 = vigor bajo, 5 = muy vigorosa) (Moreno, 1984).

Todas las plántulas de la parcela se dividieron en sus estructuras principales, se colocaron en sobres de papel y se secaron en una estufa con aire forzado a 70 °C durante 76 horas hasta alcanzar el peso constante. Posteriormente, se determinó el peso seco de la raíz (PSR), del mesocótilo (PSM) y de las hojas (PSH), y mediante la suma de estos tres se obtuvo la biomasa total (BT) (Moreno, 1984; Kharb *et al.*, 1994).

Análisis estadísticos. Mediante el uso del paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1988), se hicieron análisis de varianza, análisis de componentes principales y se calcularon los efectos de ACG y ACE (Griffing, 1956) y heterosis, esta última calculada como la diferencia expresada en porcentaje entre la craza y el promedio de los progenitores. En el análisis de varianza, la variación entre los tratamientos se dividió en grupos (dialélico, progenitores, cruzas adicionales, progenitores adicionales e híbridos testigo) y en tratamientos dentro de grupo. Con la información de las cruzas dialélicas (105) y de sus progenitores (15) se realizó el análisis dialélico usando el método II de Griffing (1956) donde las cruzas y sus progenitores se consideraron como efectos fijos. Los efectos de ACG y ACE se estimaron con base en el modelo estadístico siguiente: $Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij}$; donde: $i, j = 1, 2, \dots, p$ progenitores; Y_{ij} = Valor fenotípico de la ij -ésima craza; μ = Media de la población; g_i = Efecto de ACG, del i -ésimo progenitor; g_j = Efecto de ACG, del j -ésimo progenitor; s_{ij} = Efecto de ACE para la combinación del i -ésimo con el j -ésimo progenitores. Las variables calculadas en porcentaje se transformaron mediante la función $\text{arc sen } \sqrt{y}$ (Steel y Torrie, 1980) antes de realizar los análisis de varianza, aplicándose sobre las variables más importantes, que fueron seleccionadas tomando como base la información derivada de los vectores propios de un análisis de componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis global. En el análisis de varianza hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los grupos y entre poblaciones dentro de grupos para las variables VE, PE, AP, LM y BT (Cuadro 2.2). Al hacer la distribución de la variación para verificar las diferencias entre tratamientos dentro de cada grupo, se detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre las cruzas dialélicas y entre sus progenitores, así como entre los progenitores de las cruzas adicionales, excepto para AP en este último grupo (Cuadro 2.2). Entre los cruzamientos extra hubo diferencias significativas para BT y altamente significativas para VE y LM, únicamente. Entre los híbridos comerciales testigos sólo hubo significancia para AP, y alta significancia para LM y BT (Cuadro 2.2). Así mismo, en el grupo de cruzas dialélicas en el arreglo II de Griffing y la distribución de la variación para los efectos de ACG y ACE, se observaron diferencias altamente significativas para las cinco características consideradas, donde la variación entre los efectos de ACG fue mayor a la de ACE (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Cuadrados medios de los análisis de varianza de cinco caracteres para la evaluación de vigor inicial en maíz. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.

Fuentes de variación	GL	VE	PE (%)	AP (cm)	LM (cm)	BT (g)
Repetición	2	19.54	3864.93	1827.43	9.98	118.11
Grupo	4	2.26**	1626.77**	68.46**	6.09**	13.04**
Tratamiento/grupo	139	0.54**	433.57**	15.73**	2.26**	5.55**
Cruzas Dialélicas	104	0.56**	468.28**	16.95**	1.87**	6.22**
Prog. cruzas Dialélicas	14	0.44**	331.78**	21.85**	2.76**	5.28**
Cruzas Adicionales	13	0.29**	153.93 ^{ns}	4.19 ^{ns}	2.70**	1.26*
Prog. de cruzas Adic.	3	2.21**	1569.78**	5.55 ^{ns}	8.17**	6.13**
Híbridos comerciales	5	0.08 ^{ns}	41.96 ^{ns}	9.34*	4.44**	3.03**
Tratamiento (Dial. II)	119	0.55**	449.34**	17.38**	2.08**	6.06**
ACG	14	1.27**	1036.96**	65.48**	9.66**	25.21**
ACE	105	0.45**	370.99**	10.97**	1.07**	3.51**
Error	286	0.11	92.06	3.92	0.62	0.62
Total	431					
CV		12.72	11.85	7.81	8.48	13.40

GL= Grados de libertad; VE= Velocidad de emergencia; PE= Porcentaje de emergencia; AP= Altura de planta; LM= Longitud de mesocotilo; BT= Biomasa total; ACG= Efectos de aptitud combinatoria general; ACE= Efectos de aptitud combinatoria específica; CV= Coeficiente de variación.

Análisis por grupos. La media del grupo de los híbridos comerciales fue superior a cualquiera de los cinco grupos para la mayoría de las características (Cuadro 2.3). El grupo de las cruzas adicionales fue estadísticamente equivalente para PE, AP, LM, y BT y se agregó al grupo de cruzas dialélicas para LM (Cuadro 2.3). La superioridad de los híbridos comerciales mostrada con respecto a los otros grupos se atribuye al grado de mejoramiento genético que tienen, y posiblemente a la calidad y uniformidad de la semilla.

Al comparar al grupo cruzas dialélicas con el de sus progenitores correspondientes, se observó superioridad numérica del primero con respecto al segundo en la expresión de VE, PE y superioridad estadística para LM (Cuadro 2.3). En promedio, la heterosis porcentual calculada mediante el valor promedio de las cruzas dialélicas y el de sus progenitores, fue de 4.2, 2.2, 0.03, 6.5 y -1.9 para VE, PE, AP, LM y BT, respectivamente.

Cuadro 2.3. Medias por grupo para la evaluación de vigor entre poblaciones de maíz. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.

Grupos/Variables	VE	PE (%)	AP (cm)	LM (cm)	BT (g)
Cruzas dialélicas	2.6b	80.5b	25.0b	9.4a	5.8b
Prog. de cruzas dialélicas	2.5b	78.8b	25.0b	8.8b	5.9b
Cruzas adicionales	2.7b	85.8a	27.2a	9.0a	6.4a
Prog. de cruzas adicionales	2.0c	66.0c	24.8b	8.7b	4.7c
Híbridos comerciales	3.0a	92.9a	27.5a	9.5a	7.0a
DSH _(0.05)	0.3	7.2	1.5	0.6	0.6

VE= Velocidad de emergencia; PE= Porcentaje de emergencia; AP= Altura de planta; LM= Longitud de mesocótilo; BT= Biomasa total.

Aptitud combinatoria general (ACG). En el cuadro 2.4 se muestran los valores *per se* y los efectos de ACG de las poblaciones progenitoras, donde en conjunto para las cinco características de mayor relevancia indicadas en los resultados del análisis de componentes principales, las poblaciones Gto-208, Gto-142, Dgo-189, F_{HCH}-129F_n, Jal-335, Tlax-151, Col-64-03 y Col-6784 presentaron los mayores valores *per se* y efectos

de ACG positivos (Cuadro 2.4), lo cual indica que son las poblaciones que generaron las mejores combinaciones; además, es importante señalar que en el esquema de cruzamientos se incluyeron dos poblaciones de la raza Cateto Sulino, una de Uruguay y otra de Argentina, que se han manejado por más de 10 generaciones en el Altiplano de México, seleccionando a los individuos con mejor comportamiento; sin embargo, los efectos de ACG de estas poblaciones y de otras como Hgo-4, Oax-814, y Zac-66 fueron negativos y se presentaron en el extremo inferior para las características consideradas (Cuadro 2.4), mostrando con esto que no son progenitores que en promedio den cruzamientos potenciales al combinarse con las poblaciones consideradas dentro del esquema.

Cuadro 2.4. Efectos de ACG y comportamiento *per se* para vigor de plántula de poblaciones nativas del Altiplano de México. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.

No.	Población	VE		PE		AP		LM		BT	
		<i>Per se</i>	ACG	<i>Per se</i>	ACG	<i>Per se</i>	ACG	<i>Per se</i>	ACG	<i>Per se</i>	ACG
2	Hgo-4	2.9	0.01	90.7	-0.07	24.7	-1.31	8.3	-0.07	5.6	-0.77
3	Dgo-189	2.7	0.05	82.7	1.89	26.7	1.46a	8.4	-0.32	6.5	0.88a
5	Gto-208	2.4	0.14b	78.7	3.38	25.7	0.86b	9.7	0.12	6.8	0.64b
6	Gto-142	3.0	0.25a	93.3	7.54a	27.3	0.65	8.1	-0.19	6.8	0.62b
7	Méx-633	2.3	-0.09	72.0	-3.44	24.1	-0.28	10.3	0.69b	5.9	-0.03
8	Col-64-03	1.9	-0.15	61.3	-4.69	25.7	0.61	9.5	-0.00	6.7	0.64b
9	Col-6784	2.3	-0.15	73.3	-5.87	26.1	0.94b	10.4	0.81a	8.1	0.59b
10	F _{HcH} - 129F _n	2.7	0.14b	88.0	4.40b	28.4	1.52a	7.8	-0.31	6.7	0.47
12	Zac-66	2.5	0.08	78.7	0.56	25.1	0.13	7.9	-0.28	4.3	-0.03
15	Oax-814	2.3	-0.07	77.3	-1.32	25.6	0.07	7.0	-0.79	5.3	-0.11
16	Jal-335	2.7	0.10	86.7	5.27b	26.2	0.29	8.6	-0.20	7.1	0.56b
8	Tlax-151	2.8	0.18b	85.3	3.39	25.7	-0.58	9.6	0.62b	5.1	-0.66
20	Urg II	1.9	-0.27	64.0	-6.89	17.6	-2.30	8.3	-0.01	3.3	-1.28
21	VS-22 (Mich-21)	2.8	0.03	88.0	1.66	26.2	-0.18	9.3	0.23	6.3	-0.42
22	Arg III	1.8	-0.26	61.3	-5.79	20.5	-1.89	8.7	-0.29	3.8	-1.11

No. Población	VE		PE		AP		LM		BT	
	<i>Per se</i>	ACG	<i>Per se</i>	ACG	<i>Per se</i>	ACG	<i>Per se</i>	ACG	<i>Per se</i>	ACG
DSH _(0.05)		0.05		1.32		0.27		0.11		0.11

No= Número de progenitor; VE= Velocidad de emergencia; PE= Porcentaje de emergencia (%); AP= Altura de planta (cm); LM= Longitud del mesocótilo (cm); BT= Biomasa total (g); *Per se*= Valor promedio; ACG= Efectos de aptitud combinatoria general; DSH= Diferencia significativa honesta.

Aptitud combinatoria específica y heterosis. En el Cuadro 2.5 se muestra el valor medio de las cruzas dialélicas, cruzas adicionales y de los híbridos testigo, así como los efectos de ACE y la heterosis porcentual de las cruzas dialélicas. Partiendo del comportamiento promedio de los genotipos dentro de cada grupo, se observó que en el grupo de cruzas dialélicas y en el de las cruzas adicionales, se obtuvieron valores iguales o superiores a los mostrados por los mejores híbridos comerciales testigo en las cinco características relevantes (Cuadro 2.5), y partiendo de esto, para VE el valor máximo fue de 3.2, 3.4 y 3.3, en el grupo de cruzas dialélicas, cruzas adicionales y en híbridos testigo, respectivamente (Cuadro 2.5). En el grupo de las cruzas dialélicas, los cruzamientos con mayor promedio en número de plantas emergidas por día fueron 12 x 18, 5 x 10, 10 x 18, 12 x 16, 5 x 15, 6 x 9, 6 x 10, 5 x 8, 8 x 21 y 2 x 7, superando a cinco de los seis híbridos comerciales testigo y mostrando efectos de ACE y porcentajes de heterosis positivos; sin embargo, únicamente dos de estos cruzamientos alcanzaron los valores máximos en los efectos de ACE (0.6), pero ninguno de ellos tuvo el máximo porcentaje de heterosis que fue de 44.8% para esta variable (Cuadro 2.5).

El PE es una variable que por su naturaleza está altamente relacionada con VE; además, de 10 cruzamientos sobresalientes, siete fueron semejantes para ambas variables, observándose que el máximo valor promedio fue de 96, 96 y 99% en cruzas dialélicas, cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo, respectivamente (Cuadro 2.5). Los cruzamientos con mayor promedio para PE dentro del grupo de cruzas dialélicas fueron 12 x 18, 5 x 10, 10 x 18, 6 x 9, 6 x 10, 8 x 21, 12 x 16, 10 x 16, 6 x 15 y 2 x 6, superando a cinco de los seis híbridos testigo y mostrando efectos de ACE y porcentajes de heterosis positivos importantes, sin rebasar en ningún caso a los valores máximos registrados para los efectos de ACE y heterosis porcentual que fueron de 19.3 y 36%, respectivamente (Cuadro 2.5).

En el grupo de las cruzas dialélicas, cruzas adicionales y en los híbridos comerciales testigo, los valores máximos promedio de AP fueron de 29.4, 29.5 y 29.3 cm, respectivamente (Cuadro 2.5). En el grupo de las cruzas dialélicas, los cruzamientos con mayor valor promedio fueron 9 x 15, 3 x 7, 5 x 8, 3 x 8, 8 x 9, 3 x 12, 7 x 16, 10 x 16, 5 x 10 y 5 x 15, los cuales superaron a los seis híbridos testigo y mostraron efectos de ACE y heterosis porcentual positivos, sin que alguno de ellos alcanzara el valor máximo registrado para los efectos de ACE y porcentaje de heterosis que fueron de 4.8 cm y 19.0%, respectivamente. Es importante señalar que muchos cruzamientos, tanto de las cruzas dialélicas como de las cruzas adicionales, superaron en altura a todos los híbridos comerciales testigo, característica que debiera seguir estudiándose, pues en principio sería un indicador de vigor para el establecimiento del cultivo pero habría que determinar la relación con el tamaño de planta en cuyo caso pudiera ser desventajoso en el proceso de mejoramiento genético del maíz, a menos que el objetivo sea la mejora para producción de forraje, de lo contrario, se considera como un carácter desfavorable, dado que en el proceso de mejoramiento de los híbridos comerciales uno de los propósitos es disminuir la altura de planta y aumentar el rendimiento.

Para la producción de materia seca por parcela (BT), los valores promedio más altos fueron de 9.4, 7.5 y 8.5 g en cruzas dialélicas, cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo, respectivamente. Los cruzamientos dialélicos sobresalientes fueron 7 x 16, 8 x 9, 3 x 12, 9 x 10, 8 x 10, 6 x 9, 5 x 6, 3 x 8, 7 x 5 y 5 x 8 (Cuadro 2.5). El grupo de los cruzamientos enlistados superó a los seis híbridos comerciales testigo y mostraron efectos de ACE y porcentajes de heterosis positivos; además, uno de estos cruzamientos alcanzó el valor máximo en efectos de ACE (3.1g/parcela) y otro, el mayor porcentaje de heterosis (55.0%) registrado para esta variable dentro del grupo de cruzas dialélicas (Cuadro 2.5).

Para LM, el máximo valor promedio fue de 11.6, 10.8, y 11.2 cm en las cruzas dialélicas, cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo, respectivamente. Las cruzas dialélicas en las que el mesocótilo alcanzó mayor longitud fueron 9 x 20, 2 x 18,

9 x 10, 6 x 7, 7 x 9, 18 x 22, 7 x 12, 2 x 9, 7 x 18 y 9 x 18 (Cuadro 2.5), superando la longitud que alcanzaron los seis híbridos comerciales testigo; así mismo, uno de estos cruzamientos tuvo el máximo efecto de ACE (1.5 cm) registrado en el grupo, pero ninguna crusa rebasó el máximo porcentaje de heterosis que fue de 27.2% para dicha variable. Esta fue la única variable en la que de las diez cruzas sobresalientes, tres tuvieron efectos de ACE negativos, acompañados por bajos porcentajes de heterosis como resultado del cruzamiento entre progenitores muy cercanos geográficamente y pertenecientes al mismo grupo de diversidad (Cuadro 2.5).

Las poblaciones que participaron con mayor frecuencia como progenitores en los cruzamientos sobresalientes para las cinco variables fueron la 7, 8, 9 y 10, todas con origen en el estado de México y pertenecientes de manera más precisa a la raza Chalqueño. Dichas poblaciones tuvieron efectos de ACE positivos y altos, niveles que obtuvieron al combinarse en su mayoría con las poblaciones 3, 5, 12, 16 y 18, pertenecientes a otras variantes de esta raza (Chalqueño-Celaya, Chalqueño-Cónico) que tienen como origen los estados de Dgo., Zac., Gto., Jal. y Oax., principalmente. Las poblaciones pertenecientes a las variantes de Chalqueño tuvieron influencia importante sobre la expresión de los cruzamientos sobresalientes para VE y PE, dado que presentan un mesocótilo delgado y de crecimiento rápido. Los cruzamientos señalados como sobresalientes con base en el comportamiento promedio, en su mayoría tuvieron valores altos tanto en efectos de ACE como en heterosis porcentual, siendo este un indicador de la existencia de interacciones importantes entre las poblaciones progenitoras evaluadas, así como de patrones heteróticos sobresalientes factibles de ser utilizados en los programas de mejoramiento genético para ampliar la base genética de estos (Cuadro 2.5).

En el grupo de cruzas adicionales se incluyeron cruzamientos que en lo posible abarcaran el área geográfica de los Valles Altos de México y que representaran alguno de los patrones heteróticos que actualmente se utilizan, siendo el caso de la crusa 21 x 24 donde participa Mich-21 y una de las poblaciones sobresalientes del CIMMYT; sin embargo, tanto en este grupo como en el de las cruzas dialélicas se observaron comportamientos sobresalientes en cruzamientos donde participaron progenitores

distintos a los descritos anteriormente superando de forma notoria la expresión de los testigos y de sus propios progenitores, lo que indica la existencia de combinaciones heteróticas importantes y que aparte de los patrones ya definidos durante varios años, existen otros potenciales que puede ser utilizados en los programas de mejoramiento genético de maíz en México para generar híbridos y variedades mejoradas con propósitos diversos que satisfagan las necesidades de los productores (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5. Valor medio, ACE y heterosis de cruzas dialélicas y medias de cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo evaluados para vigor inicial. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 2006.

No	Prog		VE (pd ⁻¹)			PE (%)			AP (cm)			LM (cm)			BT (g)		
	Pi	Pj	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp
Cruzas Dialélicas																	
1	3	2	2.8	0.2	0.8	88.0	5.9	1.5	26.3	1.2	2.5	9.4	0.4	12.5	6.4	0.5	5.8
2	5	2	2.3	-0.4	-14.3	73.3	-10.3	-13.4	23.0	-1.6	-8.8	9.1	-0.3	1.2	4.7	-1.0	-24.2
3	6	2	3.0	0.2	1.4	92.0	4.2	0.0	26.3	1.9	1.0	9.0	-0.1	9.6	6.5	0.8	3.4
4	7	2	3.1	0.6	17.7	90.7	13.9	11.5	26.3	2.9	7.9	9.3	-0.7	-0.4	6.2	1.2	7.6
5	8	2	2.6	0.1	7.4	81.3	5.8	7.0	24.6	0.2	-2.4	8.6	-0.7	-3.4	5.3	-0.4	-14.9
6	9	2	2.0	-0.4	-23.4	61.3	-13.0	-25.2	22.1	-2.6	-13.0	10.5	0.5	13.0	4.1	-1.5	-40.4
7	10	2	2.2	-0.5	-21.3	69.3	-15.3	-22.4	23.3	-1.9	-12.2	8.5	-0.4	6.1	4.1	-1.4	-33.6
8	12	2	2.7	0.1	2.1	82.7	1.9	-2.4	24.2	0.4	-2.6	8.6	-0.4	6.1	5.3	0.3	6.9
9	15	2	1.9	-0.6	-27.9	64.0	-14.9	-23.8	20.4	-3.4	-18.7	8.7	0.3	13.8	3.3	-1.6	-39.8
10	16	2	2.3	-0.3	-16.0	76.0	-9.5	-14.3	22.1	-1.9	-13.1	9.3	0.3	10.1	4.2	-1.4	-34.3
11	18	2	3.0	0.2	4.4	90.7	7.0	3.0	22.4	-0.7	-11.0	10.8	1.0	21.2	4.8	0.4	-10.3
12	20	2	2.2	-0.1	-6.2	70.7	-2.7	-8.6	23.1	1.6	9.1	9.6	0.3	15.4	4.3	0.6	-3.1
13	21	2	2.5	0.0	-10.0	80.0	-1.9	-10.4	22.5	-1.1	-11.6	9.6	0.1	8.9	4.8	0.2	-20.3
14	22	2	2.7	0.4	16.9	82.7	8.2	8.8	22.4	0.6	-0.8	10.4	1.4	22.3	4.5	0.5	-5.6
15	5	3	2.5	-0.3	-2.9	78.7	-6.9	-2.5	25.6	-1.7	-2.3	9.7	0.6	7.5	6.8	-0.6	2.0
16	6	3	2.3	-0.6	-20.0	76.0	-13.8	-13.6	26.4	-0.8	-2.3	9.1	0.3	10.1	6.9	-0.4	4.1
17	7	3	2.9	0.4	16.2	90.7	11.9	17.2	29.1	2.9	14.5	9.3	-0.4	-0.8	7.4	0.8	19.4
18	8	3	3.0	0.6	32.7	90.7	13.1	25.9	28.7	1.6	9.5	9.0	0.0	1.2	7.9	0.5	18.8
19	9	3	2.8	0.3	11.9	84.0	7.7	7.7	27.3	-0.1	3.4	9.6	-0.2	2.5	6.7	-0.6	-8.2
20	10	3	2.5	-0.2	-7.0	77.3	-9.3	-9.4	28.1	0.1	1.8	8.9	0.2	10.2	7.0	-0.2	6.0
21	12	3	2.5	-0.2	-2.1	81.3	-1.4	0.8	28.5	1.9	10.0	8.4	-0.3	3.7	8.4	1.7	55.0
22	15	3	2.3	-0.3	-9.0	72.0	-8.9	-10.0	26.8	0.3	2.6	8.5	0.3	10.5	6.0	-0.6	1.2
23	16	3	2.7	0.0	1.5	85.3	-2.1	0.8	26.0	-0.7	-1.6	9.2	0.4	7.9	7.5	0.3	11.0
24	18	3	2.9	0.1	5.1	89.3	3.7	6.3	23.8	-2.1	-9.2	9.3	-0.3	3.9	5.7	-0.3	-1.4
25	20	3	2.8	0.4	23.0	89.3	14.0	21.8	25.0	0.8	13.0	8.5	-0.5	2.4	6.1	0.7	24.7
26	21	3	2.2	-0.4	-19.6	69.3	-14.5	-18.8	24.0	-2.3	-9.3	9.2	0.0	4.7	5.0	-1.3	-22.2
27	22	3	2.4	0.0	8.2	80.0	3.6	11.1	26.3	1.7	11.3	8.7	0.0	2.3	6.9	1.3	33.7
28	6	5	2.8	-0.1	4.1	89.3	-1.9	3.9	27.2	0.6	2.4	9.5	0.2	6.5	7.9	0.8	16.3
29	7	5	2.7	0.1	15.4	81.3	1.1	8.0	27.5	1.9	10.3	9.6	-0.5	-3.4	7.6	1.2	20.4
30	8	5	3.1	0.5	41.8	89.3	10.3	27.6	28.9	2.3	12.3	9.4	0.0	-2.1	7.6	0.5	12.8
31	9	5	2.3	-0.3	-3.7	69.3	-8.5	-8.8	26.5	-0.3	2.3	10.2	0.0	1.7	5.9	-1.2	-21.1
32	10	5	3.2	0.4	23.6	96.0	7.9	15.2	28.2	0.8	4.1	9.2	0.1	5.6	7.2	0.3	7.8
33	12	5	2.9	0.2	19.2	88.0	3.7	11.9	25.2	-0.9	-1.0	9.0	-0.2	2.3	6.1	-0.3	10.6
34	15	5	3.1	0.5	30.5	92.0	9.6	17.9	28.1	2.1	9.6	8.8	0.2	5.3	6.7	0.3	10.9
35	16	5	2.5	-0.3	-2.7	85.3	-3.6	3.2	24.8	-1.4	-4.5	9.1	-0.2	-0.9	6.2	-0.8	-10.4

No	Prog		VE (pd ⁻¹)			PE (%)			AP (cm)			LM (cm)			BT (g)		
	Pi	Pj	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp
36	18	5	2.9	0.0	8.7	88.0	0.9	7.3	23.9	-1.4	-7.1	10.3	0.2	6.6	5.2	-0.6	-12.2
37	20	5	2.7	0.3	25.3	86.7	9.9	21.5	23.9	0.3	10.1	9.3	-0.2	3.0	6.9	1.7	37.1
38	21	5	2.7	0.0	2.4	84.0	-1.4	0.8	26.5	0.8	2.0	9.6	-0.1	1.3	5.5	-0.5	-15.8
39	22	5	2.6	0.2	23.4	84.0	6.1	20.0	24.7	0.7	6.7	9.0	-0.2	-2.2	5.8	0.5	10.2
40	7	6	2.1	-0.6	-22.0	66.7	-17.8	-19.4	24.2	-1.2	-6.1	10.7	0.9	16.2	6.2	-0.2	-3.2
41	8	6	2.9	0.3	19.1	90.7	7.5	17.2	25.5	-0.8	-3.8	8.8	-0.3	0.2	6.9	-0.2	1.6
42	9	6	3.1	0.4	16.9	94.7	12.7	13.6	26.3	-0.3	-1.3	9.9	0.0	7.3	7.9	0.9	5.8
43	10	6	3.1	0.1	6.9	94.7	2.4	4.4	25.2	-2.0	-9.8	8.9	0.1	11.9	6.4	-0.5	-4.9
44	12	6	3.0	0.1	10.5	92.0	3.6	7.0	27.2	1.4	3.9	8.7	-0.1	8.9	7.0	0.6	25.7
45	15	6	3.0	0.2	11.3	93.3	6.8	9.4	25.0	-0.7	-5.4	8.8	0.5	16.3	6.5	0.2	7.9
46	16	6	2.8	-0.1	-1.6	88.0	-5.1	-2.2	25.8	-0.1	-3.4	8.6	-0.3	2.5	6.3	-0.7	-10.2
47	18	6	3.0	0.0	2.6	92.0	0.8	3.0	26.3	1.2	-0.7	9.4	-0.4	6.0	5.4	-0.3	-8.8
48	20	6	2.6	0.0	5.8	80.0	-1.0	1.7	22.5	-0.9	0.1	9.4	0.2	14.1	4.9	-0.2	-3.3
49	21	6	2.7	-0.1	-5.6	85.3	-4.2	-5.9	24.4	-1.1	-8.8	10.2	0.9	17.6	5.2	-0.8	-21.0
50	22	6	2.8	0.2	16.2	92.0	9.9	19.0	24.7	0.9	3.3	8.7	-0.1	4.2	5.6	0.2	4.2
51	8	7	2.8	0.5	34.6	86.7	14.5	30.0	26.3	0.9	5.7	10.1	0.1	1.9	6.3	-0.1	0.2
52	9	7	2.3	0.0	-1.2	68.0	-3.0	-6.4	23.9	-1.8	-4.8	10.7	-0.1	3.3	5.6	-0.7	-20.0
53	10	7	2.6	0.0	3.5	85.3	4.0	6.7	26.8	0.5	2.0	8.9	-0.8	-1.8	6.3	0.1	0.6
54	12	7	2.4	-0.1	1.0	77.3	-0.1	2.7	26.1	1.2	6.2	10.5	0.7	15.1	6.2	0.4	20.0
55	15	7	2.4	0.0	2.2	76.0	0.4	1.8	21.7	-3.1	-12.5	10.2	0.9	17.2	5.0	-0.7	-11.6
56	16	7	2.9	0.3	14.9	89.3	7.2	12.6	28.2	3.2	12.3	9.5	-0.3	0.2	9.4	3.1	44.2
57	18	7	2.8	0.2	9.8	84.0	3.7	6.8	23.6	-0.6	-5.4	10.5	-0.1	5.8	4.3	-0.8	-21.9
58	20	7	2.2	0.0	4.9	68.0	-2.0	0.0	22.0	-0.5	5.4	10.4	0.4	12.6	3.6	-0.9	-22.1
59	21	7	2.0	-0.5	-21.8	65.3	-13.2	-18.3	22.7	-1.9	-9.7	10.4	0.2	6.8	3.1	-2.2	-48.7
60	22	7	1.6	-0.6	-23.3	53.3	-17.8	-20.0	19.4	-3.5	-13.1	10.3	0.6	8.6	3.1	-1.6	-37.1
61	9	8	2.3	0.0	9.3	73.3	3.6	8.9	28.5	1.9	10.1	10.0	-0.2	0.4	9.1	2.1	23.1
62	10	8	2.3	-0.2	1.4	76.0	-4.0	1.8	26.8	-0.4	-0.9	9.3	0.3	7.8	8.0	1.1	19.1
63	12	8	2.0	-0.4	-6.3	65.3	-10.9	-6.7	26.1	0.4	3.1	8.3	-0.7	-4.2	7.3	0.9	32.9
64	15	8	1.5	-0.8	-28.5	52.0	-22.3	-25.0	25.8	0.1	0.8	8.1	-0.4	-1.3	6.3	0.0	4.8
65	16	8	2.7	0.2	19.8	88.0	7.1	18.9	24.5	-1.4	-5.3	9.7	0.6	7.2	5.3	-1.7	-23.7
66	18	8	2.6	0.0	10.3	80.0	1.0	9.2	25.0	-0.1	-2.6	9.7	-0.3	1.4	5.8	0.0	-1.8
67	20	8	2.7	0.6	44.8	85.3	16.6	36.2	24.3	0.9	12.3	9.3	0.0	4.8	5.9	0.8	18.6
68	21	8	3.1	0.6	31.4	94.7	17.4	26.8	27.0	1.6	4.3	9.7	0.1	3.3	6.2	0.1	-5.7
69	22	8	0.9	-1.3	-51.9	29.3	-40.5	-52.2	17.7	-6.1	-23.4	10.1	1.1	10.9	2.4	-2.9	-53.9
70	10	9	2.3	-0.2	-8.8	74.7	-4.2	-7.4	26.6	-0.9	-2.3	10.7	0.9	17.6	8.2	1.3	10.3
71	12	9	2.1	-0.4	-11.4	66.7	-8.3	-12.3	27.1	1.0	6.1	9.2	-0.6	1.1	6.1	-0.2	-1.8
72	15	9	2.6	0.3	14.1	84.0	10.9	11.5	29.4	3.4	14.0	9.1	-0.3	4.4	7.2	1.0	8.1
73	16	9	2.9	0.4	15.9	92.0	12.3	15.0	27.2	0.9	4.2	9.7	-0.2	2.4	7.2	0.3	-5.4
74	18	9	2.9	0.3	14.6	84.0	6.2	5.9	26.9	1.5	3.9	10.5	-0.3	5.2	5.1	-0.7	-23.2
75	20	9	0.8	-1.3	-61.2	24.0	-43.6	-65.0	20.1	-3.6	-8.1	11.6	1.5	24.7	1.7	-3.4	-69.7
76	21	9	2.6	0.2	2.1	74.7	-1.4	-7.4	27.8	2.0	6.6	10.2	-0.1	4.1	6.2	0.2	-14.4
77	22	9	2.8	0.6	37.3	88.0	19.3	30.7	24.7	0.6	6.0	10.1	0.3	6.2	5.5	0.2	-8.7
78	12	10	2.9	0.2	13.0	82.7	-2.6	-0.8	27.4	0.7	2.3	9.5	0.8	21.5	5.9	-0.3	7.9
79	15	10	2.9	0.2	12.7	90.7	7.3	9.7	27.7	1.1	2.6	7.6	-0.6	2.9	6.0	-0.1	0.8
80	16	10	3.0	0.2	9.4	93.3	3.3	6.9	28.2	1.4	3.3	9.1	0.3	11.1	7.2	0.3	3.9
81	18	10	3.2	0.3	13.9	96.0	7.9	10.8	27.0	1.0	-0.2	10.0	0.4	15.6	6.1	0.5	4.6
82	20	10	2.2	-0.3	-6.5	68.0	-9.8	-10.5	25.4	1.1	10.2	9.2	0.2	14.5	4.2	-0.8	-16.2
83	21	10	2.6	-0.1	-4.1	88.0	1.6	0.0	24.1	-2.3	-11.7	10.4	1.2	21.7	5.4	-0.5	-17.0

Cuadro 2.5. Continuación

No	Prog		VE (pd ⁻¹)			PE (%)			AP (cm)			LM (cm)			BT (g)		
	Pi	Pj	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp
84	22	10	2.8	0.3	23.5	92.0	13.1	23.2	24.9	0.2	1.8	7.8	-0.9	-5.8	5.5	0.3	4.0
85	15	12	2.6	0.1	9.9	76.0	-3.6	-2.6	22.7	-2.6	-10.5	8.7	0.5	16.7	4.7	-1.0	-3.0
86	16	12	3.1	0.4	22.4	93.3	7.2	12.9	26.9	1.5	5.2	9.1	0.3	10.5	7.5	1.2	31.1
87	18	12	3.2	0.4	21.6	96.0	11.7	17.1	24.1	-0.4	-4.9	10.3	0.6	17.6	5.7	0.6	21.5
88	20	12	2.6	0.3	21.7	81.3	7.3	14.0	21.8	-1.1	2.1	10.3	1.3	27.2	4.6	0.1	21.1
89	21	12	2.3	-0.4	-12.1	73.3	-9.2	-12.0	21.2	-3.8	-17.3	9.7	0.4	13.2	4.0	-1.4	-25.4
90	22	12	2.6	0.2	23.7	81.3	6.2	16.2	24.1	0.8	5.7	8.2	-0.6	-1.6	4.8	0.1	17.9
91	16	15	2.4	-0.2	-4.2	80.0	-4.3	-2.4	25.5	0.1	-1.3	7.8	-0.5	-0.3	6.7	0.5	8.9
92	18	15	3.0	0.3	16.1	88.0	5.6	8.2	26.6	2.1	3.9	9.5	0.3	13.9	7.1	2.1	38.2
93	20	15	2.5	0.3	19.1	81.3	9.2	15.1	24.6	1.8	13.9	7.9	-0.6	3.7	4.8	0.4	13.0
94	21	15	2.5	0.0	-1.2	82.7	2.0	0.0	22.0	-2.9	-14.9	9.3	0.5	14.1	4.8	-0.5	-17.1
95	22	15	2.4	0.2	17.3	76.0	2.8	9.6	24.1	0.9	4.5	8.5	0.2	7.8	5.2	0.6	14.0
96	18	16	2.3	-0.5	-15.8	76.0	-13.0	-11.6	21.5	-3.3	-17.1	9.5	-0.2	4.6	5.1	-0.6	-15.7
97	20	16	2.7	0.3	19.3	88.0	9.3	16.8	26.0	3.0	18.9	9.3	0.1	9.4	6.0	0.9	15.2
98	21	16	2.6	-0.1	-6.1	84.0	-3.2	-3.8	22.9	-2.3	-12.6	10.0	0.6	11.3	5.1	-0.8	-23.6
99	22	16	2.5	0.1	13.1	82.7	2.9	11.7	23.3	-0.2	-0.2	8.5	-0.3	-1.8	4.3	-0.9	-21.3
100	20	18	1.5	-1.0	-37.8	48.0	-28.8	-35.7	20.0	-2.1	-7.3	10.3	0.4	15.3	1.9	-1.9	-53.2
101	21	18	3.0	0.2	6.0	90.7	5.3	4.6	27.1	2.8	4.4	10.0	-0.1	6.6	6.4	1.6	11.7
102	22	18	2.3	-0.2	-0.7	69.3	-8.6	-5.5	21.1	-1.4	-8.5	10.5	0.9	15.3	2.8	-1.2	-36.7
103	21	20	2.7	0.4	16.7	90.7	15.6	19.3	25.4	2.8	16.0	8.7	-0.8	-0.3	5.5	1.4	14.1
104	22	20	2.4	0.3	31.0	78.7	11.0	25.5	22.5	1.7	18.2	8.7	-0.4	2.0	4.1	0.7	14.4
105	22	21	2.3	0.0	2.1	74.7	-1.5	0.0	27.8	4.8	19.0	7.3	-1.9	-18.2	5.9	1.6	16.1
		Máx.	3.2	0.6	44.8	96.0	19.3	36.2	29.4	4.8	19.0	11.6	1.5	27.2	9.4	3.1	55.0
		Mín.	0.8	-1.3	-61.2	24.0	-43.6	-65.1	17.7	-6.1	-23.4	7.3	-1.9	-18.2	1.7	-3.4	-69.7
DSH _(0.05)			1.2	0.2		35.3	5.3		7.3	1.1		2.9	0.4		2.8	0.4	

Valor medio de cruzas adicionales

No	Genealogía	VE	PE	AP	LM	BT
125	Qro-46 (1)x Hgo-4 (2)	2.9	93	26.4	8.4	6.4
126	Dgo-189 (3) x Qro-46 (1)	2.0	67	25.3	9.1	6.0
127	Gto-142 (6) x Qro-46 (1)	2.8	89	27.1	9.1	7.1
128	Méx-633 (7) x Qro-46 (1)	2.7	83	27.6	9.8	7.5
129	Qro-46 (1) x Oax-814 (15)	2.8	88	24.9	8.1	4.9
130	Méx-581 (17) x Dgo-189 (3)	2.5	80	26.6	9.8	6.5
131	Méx-581 (17) x Gto-208 (5)	2.9	85	27.7	10.8	5.9
132	Méx-581 (17) x Col-6784 (9)	2.8	83	27.6	9.9	6.3
133	Zac-66 (12) x Méx-581 (17)	3.4	96	28.2	9.7	6.4
134	Pob-85 C4 (24) x Zac-66 (12)	2.6	84	27.0	7.4	6.8
135	VS-22 (21) x Pob-85 C4 (24)	2.6	84	29.5	8.3	6.9
136	Pob-800 C5 (25) x Méx-581 (17)	2.8	91	27.7	8.6	5.6
137	Pob-800 C5(25) x Tlax-151 (18)	2.7	87	27.7	9.0	6.9
138	Pob-800 C5 (25) x Oax-708 (23)	3.0	92	28.2	7.8	6.2
DSH _(0.05)		1.0	27	4.4	2.2	2.5

Valor medio de híbridos comerciales testigo

No	Genealogía	VE	PE	AP	LM	BT
139	H-28	2.9	89	26.7	10.1	6.3
140	H-33	3.1	95	27.4	10.1	6.9
141	H-40	3.0	95	29.3	8.0	7.8
142	H-52	3.3	99	24.6	11.2	5.8

No	Prog		VE (pd ⁻¹)			PE (%)			AP (cm)			LM (cm)			BT (g)		
	Pi	Pj	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp	Med	ACE	Hp
143	H-64-E								2.9	91	29.2	8.3	8.5				
144	H-66-E								3.0	89	27.8	9.1	6.5				
DSH _(0.05)									0.5	17	4.7	1.8	1.2				

Prog= Progenitores; VE= Velocidad de emergencia; PE= Porcentaje de emergencia; AP= Altura de planta; LM= Longitud de mesocótilo; BT= Biomasa total; No= Número de genotipo; Pi= Progenitor i; Pj= Progenitor j; Med= Valor medio; ACE= Efectos de aptitud combinatoria específica; Hp= Heterosis porcentual; Máx.= Valor promedio máximo; Mín.= Valor promedio mínimo; DSH= Diferencia significativa honesta.

CONCLUSIONES

Hubo cruzamientos interpoblacionales que igualaron o superaron en vigor inicial a los híbridos comerciales recomendados en la región. Se observó variación relevante para efectos de ACG, sobresaliendo las poblaciones progenitoras Gto-142, Gto-208, Col-6784, Col-03-64, F_{HCH}-129F_n, Dgo-189 y Jal-335; adicionalmente, varios de sus cruzamientos presentaron efectos de ACE importantes, sobresaliendo con mayor frecuencia los cruzamientos entre progenitores de origen divergente, en los que los efectos variaron de 0.6 a -1.3 pd⁻¹ para VE, de 19.3 a -43.6% para PE, de 4.8 a -6.1 cm para AP, de 1.5 a -1.9 cm para LM y de 3.1 a -3.4 g/parcela para BT.

Se registró heterosis importante en cruzamientos con divergencia genética y origen geográfico diferente, aunque esta no fue condición determinante para su expresión entre poblaciones de Valles Altos, lo que indica que existe gran diversidad genética del maíz dentro del Altiplano de México para enriquecer los programas de mejoramiento genético y obtener híbridos con mejor establecimiento inicial.

LITERATURA CITADA

- Balderrama C S, A Mejía C, F Castillo G, A Carballo C (1997)** Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. Rev. Fitotec. Mex. 20: 137-147.
- Gómez V A J, M A Avila P, H Angeles A, C Díaz H, H Ramírez V, A Alejo J, A Terrón I (1996)** Híbridos y Variedades de Maíz Liberados por el INIFAP hasta 1996. Publicación Especial No. 16, INIFAP, SAGAR. Toluca, Méx. 103 p.
- Gardner C O (1963)** Estimates of genetic parameters in cross fertilizing plants and their implications in plant breeding. *In*: Statistical Genetics and Plant Breeding. W. D. Hanson and H. F. Robinson (eds.). National Research Council. Publication 982. Washington D.C. pp: 225-252.

- Gardner C O, S A Eberhart (1966)** Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.
- Griffing B (1956)** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Hallauer A R, J B Miranda (1981)** *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press. Ames, Iowa. pp: 268-368.
- Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, J M Hernández C, R Ortega P, M M Goodman (2004)** Diversidad genética del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
- ISTA (1995)** *Rules. Seed of Vigor Test Methods*. 2nd ed. International Seed Testing Association Zurich, Switzerland. 117 p.
- Kharb R P S, B P S Lather, D P Deswal (1994)** Prediction of field emergence through heritability and genetic advance of vigor parameters. *Seed Sci. Technol.* 22:461-466.
- LAMP (1991)** *Catálogo de Germoplasma de Maíz. Proyecto Latinoamericano de Maíz. Tomo II*. pp. 394-634.
- Maguire J D (1962)** Speed of germination. Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Márquez S F (1994)** El Centro Nacional de Rescate y Mejoramiento de Maíces Criollos. *En: I Simposium Internacional de Etnobotánica en Mesoamérica "Efraím Hernández X"*. J. A. Cuevas S., E. Estrada L. y E. Cedillo P. (eds.), Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. pp: 131-136.
- Moll R H, W S Salhuana, H F Robinson (1962)** Heterosis and genetic diversity in varieties of maize. *Crop Sci.* 2:197-198.
- Moll R H, J H Lonquist, J Vélez F, E C Johnson (1965)** The relationship of heterosis and divergence in maize. *Genetics* 52: 139-144.
- Moreno M E (1984)** *Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas*. Instituto de Biología. UNAM. México, D.F. 383 p.
- Ortega P R, J J Sánchez G, F Castillo G, J M Hernández C (1991)** Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *En: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. R. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H y M. Livera M. (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. Chapingo, Méx. pp: 161-185.

Romero P J, F Castillo G, R Ortega P (2002) Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. Rev. Fitotec. Mex. 25: 107-115.

SAS Institute Inc. (1988) Introductory Guide for Personal Computers, Release 6.03 Edition. Cary, NC. SAS. 111 p.

Sprague G F, L A Tatum (1942) General vs. specific combining ability in single crosses of corn. J. Amer. Soc. Agron. 34: 923-932.

Sprague G F, K W Finlay (1976) Estado actual de los recursos genéticos vegetales y su utilización. Traducción del artículo "Current status of plant resources and utilization". The World Food Conference. Iowa State University. Ames, Iowa. Serie Translations and Reprints No. 19. CIMMYT. México, D.F. 5 p.

Steel R G D, J H Torrie (1980) Principles and Procedures of Statistics. Mc Graw-Hill Book Co. New York. 633 p.

Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X en colaboración con P C Mangelsdorf (1951) Razas de Maíz en México: su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 237 p.

CAPÍTULO III. APTITUD COMBINATORIA ENTRE POBLACIONES DE MAÍZ CON DIFERENTE GRADO DE DIVERGENCIA GENÉTICA EN EL ALTIPLANO MEXICANO

RESUMEN

Con el objeto de estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), se evaluaron en campo 15 poblaciones progenitoras electas por su origen en el área geográfica de la raza de maíz Chalqueño y sus 105 cruzamientos en un arreglo dialélico diseño II de Griffing y otros grupos de genotipos adicionales provenientes de Valles Altos de México. La siembra se realizó durante el ciclo agrícola Primavera-Verano 2006 en Zotoluca, Apan, Hgo., Mixquiahuala, Hgo. y Texcoco, Edo. de México, bajo un diseño experimental de látice 12 x 12 con tres repeticiones. Se registraron 21 características, de las cuales se analizaron ocho, encontrándose diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre localidades, entre grupos y entre poblaciones dentro de grupos para las variables rendimiento (REN), índice de grano (IG), mazorcas por planta (MP), diámetro de mazorca (DM), longitud de grano (LGr), número de hileras por mazorca (NHM), días a floración masculina (DFM) y altura de planta (AP). Para los efectos de ACG y ACE se presentaron diferencias altamente significativas para las ocho variables consideradas, siendo mayor la variación de ACG que la de ACE. Al considerar los máximos valores *per se* y efectos positivos de ACG para las variables evaluadas, las poblaciones Gto-142, Col-03-64, Col-6784, F_{HCH}-129F_n, Zac-66, Tlax-151 y VS-22 presentaron la mejor expresión tanto en el rendimiento y sus componentes como en la morfología y fenología; de la misma forma, la cruce F_{HCH}-129F_n x Oax-814 resultó sobresaliente para REN, IG y MP, Zac-66 x Jal-335 para DM y LGr, Gto-142 x VS-22 para NHM, Méx-633 x VS-22 para DFM y F_{HCH}-129F_n x Jal-335 para AP, mostrando la mayor expresión promedio y altos efectos de ACE. Con base en los efectos registrados, se detectaron diversas poblaciones sobresalientes, destacando por su potencial genético las de la raza Chalqueño principalmente, dando como resultado interacciones importantes entre las poblaciones progenitoras de diferente origen geográfico, así como patrones heteróticos sobresalientes factibles de ser utilizados por los programas de mejoramiento para ampliar la base genética existente.

Palabras clave: *Zea mays*, aptitud combinatoria, dialélicas, cruces, Chalqueño.

CHAPTER III. COMBINING ABILITY AMONG MAIZE PROGENITORS WITH DIFFERENT DEGREE OF GENETIC DIVERGENCE IN THE MEXICAN HIGHLANDS

ABSTRACT

In order to estimate general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) effects, 15 parental populations elected by its origin in the geographic area of the Chalqueño race, their 105 crosses under a diallelic array Griffing II design and some additional genotypes from Mexican highlands were evaluated in the field. Planting was carried out during the 2006 Spring-Summer growing season in Zotoluca, Apan, Hgo., Mixquiahuala, Hgo. and Texcoco, State of Mexico, under a 12 x 12 lattice as experimental design with three replications. 21 characteristics were registered, and eight of those were analyzed, displaying highly significant differences ($P \leq 0.01$) among locations, groups and populations within groups for traits as grain yield, grain index, number of ears per plant, ear diameter, kernel length, number of kernel rows per ear, days to anthesis and plant height. For both GCA and SCA effects highly significant differences were detected for all the eight analyzed traits, showing GCA larger variance than SCA. When considering maximum *per se* values and positive GCA effects for the evaluated traits, populations Gto-142, Col-03-064, Col-6784, F_{HCH-129F_n}, Zac-66, Tlax-151 and VS-22 displayed the best expression for yield and its components, as well as for morphology and phenology; likewise, the F_{HCH-129F_n} x Oax-814 cross excelled at grain yield, grain index and number of ears per plant, Zac-66 x Jal-335 was outstanding for ear diameter and kernel length, Gto-142 x VS-22 for number of kernel rows per ear, Méx-633 x VS-22 for days to anthesis and F_{HCH-129F_n} x Jal-335 for plant height, showing the largest average expression and high SCA effects. Based on registered effects, diverse outstanding populations were detected, mainly those of the Chalqueño race because of their genetic potential, with noticeable interactions between parental populations from different geographic origin, as well as superior heterotic patterns readily available for use in breeding programs for broadening the existing genetic base.

Key words: Zea mays, combining ability, diallelic, crosses, Chalqueño.

INTRODUCCIÓN

La selección practicada por los agricultores mesoamericanos sobre el cultivo del maíz durante siglos, ha dado como resultado la diferenciación del maíz en razas y variantes de diferente naturaleza dentro de éstas, en las cuales se han fijado arreglos de genes distintos; el cruzamiento entre poblaciones puede integrar factores genéticos diferentes que confieran a la planta características favorables. La selección de materiales para los programas de mejoramiento genético requiere de un conocimiento de su ubicación en el contexto de la diversidad genética, una idea clara de lo que se persigue para hacer planteamientos sobre el mejor aprovechamiento de la diversidad genética. Sprague y Finlay (1976) apuntan que la evaluación de una gran diversidad de germoplasma es un trabajo arduo, pero que puede redituar importantes frutos, ya sea mediante la identificación de poblaciones nativas sobresalientes *per se*, la de combinaciones híbridas que permitan explotar la heterosis, o bien por la posibilidad de contar con genes que determinan la expresión deseable de caracteres cuantitativos que mediante recombinación y selección paulatina puedan concentrarse para generar mejores poblaciones.

Márquez (1988) define el término aptitud combinatoria como la capacidad de un individuo o una población de combinarse con otros, medida a través de su progenie. Sprague y Tatum (1942) propusieron la obtención de cruza dialélicas y generaron los conceptos de ACG y ACE, efectos que pueden estimarse mediante el análisis propuesto por Griffing (1956) para identificar combinaciones superiores. La ACG está en función de la proporción de la varianza genotípica debida a los efectos aditivos de los genes, mientras que ACE se relaciona con la porción de la varianza genotípica debida a las desviaciones de dominancia y otras interacciones (Gutiérrez *et al.*, 2002).

De acuerdo con Hoegenmeyer y Hallauer (1976), en un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la ACE es tan importante como la ACG debido a que se aprovechan los efectos no aditivos como la dominancia y la epistasis; en esta complementariedad, Singh y Chaudhary (1985) plantean que el comportamiento de un híbrido está condicionado al aprovechamiento de los efectos de

ACG por selección, y mencionan que la magnitud de la variación y de relaciones de los efectos de ACG y ACE permiten al fitomejorador decidir sobre el mejor o mejores métodos para el mejoramiento genético de una especie cultivada.

El mejoramiento genético de maíz para Valles Altos ha centrado su atención en la obtención de híbridos con líneas derivadas de poblaciones nativas pertenecientes a variantes intermedias de la raza Cónico y Chalqueño principalmente, entre las que se encuentran Mich-21, Qro-10, Tlax-151, Tlax-208, Méx-37, Méx-39, Hgo-4, Pue-75 y Chapingo II (Gámez *et al.*, 1996), siendo pocas las poblaciones nativas que han sido incorporadas de manera dinámica en los programas de mejoramiento, a pesar de que se han detectado algunas de ellas con características agronómicas deseables y alto potencial de rendimiento (Ortega *et al.*, 1991; Balderrama *et al.*, 1997; Herrera *et al.*, 2004; Romero *et al.*, 2002); en este contexto, el aprovechamiento de la diversidad del maíz en una región determinada debe enfocarse tanto a detectar poblaciones para enriquecer la variación usada en los programas de mejoramiento como a evitar la pérdida de la diversidad útil que han generado y conservado los agricultores (Márquez, 1994); además, las poblaciones mencionadas son originarias principalmente de los estados del centro del país, mientras que la distribución de la raza Chalqueño va desde Oaxaca en el sur hasta Zacatecas y Durango en el Norte. Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivos: 1) evaluar la capacidad de combinación entre un grupo de poblaciones progenitoras divergentes de maíces de Valles Altos mediante estimaciones de la aptitud combinatoria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético. Se incluyeron poblaciones progenitoras que cubrieran los criterios siguientes: a) que tuvieran antecedentes como material sobresaliente en estudios previos, b) que su origen geográfico preferentemente estuviera limitado a los Valles Altos de México considerando la distribución geográfica de la raza Chalqueño, c) que tuvieran bajo nivel de mejoramiento genético; no obstante, se incorporaron algunas poblaciones con cierto grado de mejoramiento, como el caso de VS-22 como una versión mejorada de Mich-21 y F_{HCH}-129F_n como segregante de un híbrido de

importancia en la década de los 1960's y d) que preferentemente pertenecieran a la raza Chalqueño o que fueran variantes de esta (Chalqueño-Celaya, Chalqueño-Cónico), y se consideró a una población de la raza Ancho porque los agricultores del Sureste del estado de México han adaptado a introducciones de este tipo de material en los últimos lustros, y comparte área cultivada con Chalqueño en dicha región. Se incluyeron dos poblaciones (Urg-II y Arg-III) de la raza Cateto Sulino, materiales seleccionados en baja intensidad por alrededor de diez generaciones bajo las condiciones naturales de Montecillo, Texcoco, Edo. de México, con la idea de valorar las relaciones entre distancia geográfica y divergencia genética. Así, el material genético estuvo constituido y agrupado para su análisis por 15 poblaciones de maíz con diferente origen geográfico y sus 105 cruzas simples posibles, 14 cruzas simples adicionales, cuatro poblaciones progenitoras adicionales y seis híbridos comerciales como testigos (Cuadro 3.1). Los últimos tres grupos están constituidos por material propio de Valles Altos de México y en particular el grupo de cruzas adicionales se formó tratando de representar a esta área, y de incluir algunos patrones heteróticos ya establecidos. La semilla de las poblaciones fue proporcionada por el Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Colegio de Postgraduados.

Cuadro 3.1. Poblaciones progenitoras con las que se obtuvieron sus 105 cruzas posibles, cruza adicionales e híbridos comerciales evaluados para valorar la aptitud combinatoria con diferente grado de divergencia. Primavera-Verano, 2006.

No Población	Edo/País	Municipio	Lat. N	Long. O	Alt. †	Raza	Referencias
Poblaciones progenitoras							
2	Hgo-4	Hgo.				Chalqueño	Gámez <i>et al.</i> , 1996
3	Dgo-189	Dgo.	El Mezquital	23° 28' 104° 22'	1440	Chalqueño	LAMP, 1991
5	Gto-208	Gto.	León	21° 16' 101° 34'	2419	Chalq-Celaya	Romero <i>et al.</i> , 2002
6	Gto-142	Gto.	SM Allende	20° 55' 100° 45'	1990	Chalq-Celaya	Romero <i>et al.</i> , 2002
7	Méx-633	E. Méx.	Tenango del A.	19° 09' 98° 01'	2410	Chalqueño	Romero <i>et al.</i> , 2002
8	Col-03-64	E. Méx.	Tepetlixpa	19° 16' 98° 49'	2393	Ancho	
9	Col-6784	E. Méx.	Chalco	19° 16' 98° 54'	2240	Chalqueño	Herrera <i>et al.</i> , 2004
10	F _{HC} H-129F _n	E. Méx.	Texcoco	19° 29' 98° 53'	2250	Chalqueño	Romero <i>et al.</i> , 2002
12	Zac-66	Zac.	Jerez	22° 38' 102° 58'	1900	Chalq-Cónico	LAMP, 1991
15	Oax-814	Oax.				Chalq-Cónico	LAMP, 1991
16	Jal-335	Jal.	Lagos de M.	21° 22' 101° 55'	2130	Chalq-Celaya	
18	Tlax-151	Tlax.	Cuapiaxtla	19° 18' 97° 45'	2483	Chalq-Cónico	Gámez <i>et al.</i> , 1996
20	Urg-II	Uruguay				Cateto Sulino	Castillo y Goodman, 1989
21	VS-22	Mich.	Zacapu	19° 31' 98° 53'	2353	Chalq-Cónico	Romero <i>et al.</i> , 2002
22	Arg-III	Argentina				Cateto Sulino	Castillo y Goodman, 1989
Prog. adic.		Cruzas adicionales				Híbridos comerc.	
1	Qro-46 (1)	Qro-46(1)x Hgo-4(2)		Méx-581(17) x Col-6784(9)		H-28	
17	Méx-581	Dgo-189(3) x Qro-46(1)		Zac-66(12) x Méx-581(17)		H-33	
24	Pob-85 C4	Gto-142(6) x Qro-46(1)		Pob-85 C4(24) x Zac-66(12)		H-40	
25	Pob-800 C5	Méx-633(7) x Qro-46(1)		VS-22(21) x Pob-85 C4(24)		H-52	
		Qro-46(1) x Oax-814(15)		Pob-800 C5(25) x Méx-581(17)		H-64-E	
		Méx-581(17) x Dgo-189(3)		Pob-800 C5(25) x Tlax-151(18)		H-66-E	
		Méx-581(17) x Gto-208(5)		Pob-800 C5(25) x Oax-708(23)			

†Alt = Altitud (msnm); Lat = Latitud, Long = Longitud.

Obtención y evaluación de la F₁. Los cruzamientos entre los progenitores fueron realizados en el ciclo agrícola Primavera–Verano 2005 y Otoño–Invierno 2005-2006, en los Campos Experimentales Valle de México e Iguala, Gro., respectivamente, pertenecientes al INIFAP. La evaluación se realizó durante el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2006 en tres localidades: Zotoluca, Apan, Hgo., Mixquiahuala, Hgo. y Santa Lucía, Texcoco, Edo. de México (Cuadro 3.2). En las primeras dos localidades se sembró en terrenos de agricultores y en la tercera, en terrenos del Campo Experimental

Valle de México, INIFAP. En las tres localidades, se utilizó un diseño experimental de látice 12 x 12 con tres repeticiones. Las fechas de siembra fueron el 5, 9 y 10 de mayo de 2006 en Zotoluca, Mixquiahuala, y Santa Lucía, respectivamente. En las localidades de Mixquiahuala y Santa Lucía, la parcela experimental consistió de un surco de 5.5 m de largo por 0.8 m de ancho; mientras que en Zotoluca, fue de un surco de 4.5 m de largo y 0.8 m de ancho. Al momento de la siembra, se colocaron tres semillas cada 0.5 m, para finalmente aclarar a dos plantas, y con ello establecer una densidad de población de 50 mil plantas por hectárea.

Cuadro 3.2. Ubicación geográfica y características climatológicas de las localidades donde se realizó el estudio.

Localidad	Ubicación		Altitud (msnm)	Temp. Prom. (°C)	Precip. (mm)	Clima
	Lat. N	Long. O				
Zotoluca	19° 37'	98° 31'	2599	14.4	622.0	Subhúmedo templado
Mixquiahuala	20° 14'	99°12'	2050	17.0	509.0	Semiseco templado
Santa lucía	19° 26'	98°52'	2326	15.9	691.5	Semiseco templado

Fuente: García (1988).

Variables evaluadas. Se cuantificaron los días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), altura de planta (AP) y de mazorca (AM), número total de plantas (NTP), mazorcas por planta (MP), porcentaje de acame de raíz (PAR) y de tallo (PAT), número de hijos por planta (NHP), rendimiento de grano (REN), número total de mazorcas (NTM), porcentaje de mazorcas podridas (PMP), índice de grano (IG), longitud y diámetro de mazorca (LM) (DM), largo y ancho de grano (LGr) (AGr), diámetro de olote (DO), número de hileras por mazorca (NHM), número de granos por hilera (NGH) y peso hectolítrico (PHL).

Análisis estadísticos. Se utilizó el paquete SAS (SAS Institute, 1994) para realizar análisis de varianza, análisis de componentes principales y calcular los efectos de ACG y ACE (Griffing, 1956). En el análisis de varianza, la variación entre los tratamientos se dividió en grupos (dialélico, progenitores, cruza adicionales, progenitores adicionales e híbridos comerciales testigo) y tratamientos dentro de grupo, haciendo lo correspondiente para la interacción localidad-tratamiento. Con la información de las

cruzas dialélicas (105) y de sus progenitores (15) se realizó el análisis dialélico usando el método II de Griffing con efectos fijos; además se estimaron los efectos de ACG y ACE con base en el modelo estadístico siguiente:

$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + l_k + gl_{ik} + gl_{jk} + sl_{ijk} + e_{ijk}$; donde: $i, j = 1, 2, \dots, p$ progenitores; $k = 1, 2, \dots, l$ localidad, Y_{ijk} = Valor fenotípico de la ij -ésima cruce en la localidad k ; μ = Media de la población; g_i, g_j = Efecto de ACG de los progenitores i y j ; s_{ij} = Efecto de ACE para la combinación del i -ésimo con el j -ésimo progenitores; gl_{ik}, gl_{jk} = interacción del efecto de ACG con la localidad; sl_{ijk} = interacción del efecto de ACE con la localidad; e_{ijk} = efecto ambiental aleatorio correspondiente a la observación i, j, k, r .

Se aplicó un análisis de componentes principales sobre la matriz constituida con información de los 15 progenitores para los efectos de ACG en las 21 variables, así como sobre la matriz de las 120 cruces-progenitores y los efectos de ACE para las 21 variables con la finalidad de utilizar los coeficientes de determinación para seleccionar las variables que explicaran en mayor proporción el comportamiento de los genotipos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis global. En el Cuadro 3.3, se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza combinado sobre las variables REN, IG, MP, DM, LGr, NHM, DFM y AP, que fueron las que de acuerdo con el análisis de componentes principales fueron más relevantes y de menor colinealidad.

Se aprecian diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre localidades, entre grupos y entre poblaciones dentro de grupos para las variables REN, IG, MP, DM, LGr, NHM, DFM y AP, mientras que la interacción Loc x Grupo sólo resultó altamente significativa para REN y MP, y significativa para DM y AP. Entre poblaciones dentro de grupos y su interacción con localidad (Loc x Trat), hubo diferencias altamente significativas para las variables REN, MP, DM, LGr y DFM y significativas para AP; del mismo modo, en la descomposición de los cuadrados medios para los efectos de ACG y ACE, se presentaron diferencias altamente significativas para las ocho variables consideradas, siendo mayor la variación para ACG que la de ACE (Cuadro 3.3). La

significancia estadística de ACG y ACE indican que los efectos genéticos aditivos y de dominancia están involucrados en el rendimiento y sus componentes, así como en la fenología y morfología de la planta como lo reportan Cho y Scott (2000) en soya. Para la interacción de tales efectos con localidad (Loc x ACG) hubo significancia para las variables REN, IG, MP, DM, LGr, DFM y AP; así como alta significancia para REN y MP y significancia para AP en el caso de Loc x ACE (Cuadro 3.3).

Al hacer la partición de la variación para verificar las diferencias entre tratamientos dentro de cada grupo, en general, se detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) y significativas ($P \leq 0.05$) entre los genotipos que forman a cada uno de los cinco grupos para las variables REN, IG, DM, LGr, NHM, DFM y AP, mientras que MP en el grupo de los híbridos resultó no significativa (Cuadro 3.3). Al hacer la distribución de la variación para verificar las diferencias entre tratamientos dentro de cada grupo, pero considerando a la interacción con la localidad, se detectaron diferencias significativas y altamente significativas para las variables DFM entre los genotipos del arreglo dialélico y entre progenitores adicionales; para REN, MP, DM, LGr entre los genotipos del arreglo dialélico y entre progenitores de dicho arreglo, IG y LGr en cruza adicionales, detectándose no significancia entre los híbridos comerciales para todas las variables (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de la evaluación de cruzas entre poblaciones nativas del altiplano de México para ocho variables. Tres localidades de Valles Altos de México. Primavera-Verano, 2006.

Fuentes de variación	GL	REN (t.ha ⁻¹)	IG (%)	MP (No)	DM (cm)	LGr (cm)	NHM (No)	DFM (días)	AP (m)
Loc	2	268.68**	551.82**	5.17**	9.14**	2.56**	76.51**	59990.88**	19.59**
Rep (Loc)	6	17.46	9.88	0.05	0.19	0.09	1.29	207.62	0.39
Grupos	4	108.78**	54.04**	0.33**	4.80**	0.51**	130.64**	758.50**	2.13**
Trat (Grupo)	139	7.12**	23.63**	0.10**	1.02**	0.20**	20.94**	192.75**	0.32**
Trat (Dial.)	104	6.42**	17.20**	0.10**	0.84**	0.15**	20.07**	158.93**	0.23**
Trat (Prog.)	14	14.93**	72.27**	0.14**	2.68**	0.53**	44.08**	247.94**	0.85**
Trat (Cr. Adic.)	13	4.50**	18.99**	0.07**	0.73**	0.20**	10.61**	311.28**	0.23**
Trat (Prog. Adic.)	3	12.72**	50.62**	0.09*	2.04**	0.66**	4.48*	834.32**	1.30**
Trat (Híbridos)	5	3.18*	16.85**	0.05 ^{ns}	0.30**	0.12**	10.74**	48.70**	0.28**
Trat (Dialélico II)	119	9.02**	24.18**	0.11**	1.10**	0.20**	22.76**	170.69**	0.31**
ACG	14	28.63**	145.19**	0.47**	6.53**	1.23**	162.37**	964.24**	1.57**
ACE	105	6.40**	8.04**	0.06**	0.37**	0.06**	4.14**	64.88**	0.14**
Loc*Grupo	8	4.15**	5.19 ^{ns}	0.09**	0.18*	0.02 ^{ns}	1.42 ^{ns}	16.61 ^{ns}	0.07*
Loc*Trat (Grupo)	278	2.53**	4.02 ^{ns}	0.04**	0.12**	0.02**	1.51 ^{ns}	14.49**	0.04*
Loc*Trat (Dial.)	208	2.43**	3.60 ^{ns}	0.04**	0.12**	0.02**	1.60 ^{ns}	13.08**	0.04 ^{ns}
Loc*Trat (Prog.)	28	5.16**	6.01*	0.06**	0.18**	0.03**	1.27 ^{ns}	11.53 ^{ns}	0.06**
Loc*Trat (Cr. Adic.)	26	1.56 ^{ns}	5.73*	0.03 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.03**	0.97 ^{ns}	10.15 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Loc*Trat (Prog. Ad.)	6	1.31 ^{ns}	3.16 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2.89 ^{ns}	91.88**	0.04 ^{ns}
Loc*Trat (Híbridos)	10	0.59 ^{ns}	3.14 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.86 ^{ns}	17.12*	0.03 ^{ns}
Loc*Trat (Dialélico II)	238	2.80**	3.88*	0.04**	0.13**	0.02**	1.56 ^{ns}	13.07**	0.04**
Loc*ACG	28	10.46**	9.54**	0.10**	0.33**	0.06**	1.97 ^{ns}	37.63**	0.06**
Loc*ACE	210	1.78**	3.13 ^{ns}	0.04**	0.10 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1.50 ^{ns}	9.79 ^{ns}	0.04*
Error	858	1.25	3.57	0.03	0.09	0.02	1.62	9.31	0.03
Total	1295								
CV		19.6	2.1	16.0	5.8	10.7	8.6	3.4	7.1

GL= Grados de libertad; REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= días a floración masculina; AP= Altura de planta; CV= Coeficiente de variación.

Análisis por grupos. En promedio de las tres localidades, el grupo de los híbridos comerciales fue superior para seis de las ocho características, mientras que para DFM y AP la mayor expresión se registró en el grupo de las cruzas dialélicas y en el de sus progenitores (Cuadro 3.4). El grupo de las cruzas dialélicas y el de las cruzas adicionales fueron los que siguieron en orden de importancia en la expresión de las

variables REN, IG, MP, DM, LGr, NHM, DFM y AP, resultando el grupo de progenitores y progenitores adicionales como los de menor expresión en general para las variables consideradas. Al comparar al grupo de las cruzas dialélicas con el de sus progenitores, se observó superioridad del primero con respecto al segundo en la expresión de todas las variables (Cuadro 3.4), lo cual indica que hubo heterosis promedio en grado significativo.

Cuadro 3.4. Valores promedio por grupo de poblaciones del altiplano mexicano y sus cruzamientos para ocho características consideradas. Tres localidades de Valles Altos de México. Primavera-Verano, 2006.

Grupo	REN (t ha ⁻¹)	IG (%)	MP (No)	DM (cm)	LGr (cm)	NHM (No)	DFM (días)	AP (m)
Dialélico	5.90b	88.10a	1.05a	5.16b	1.27a	14.65c	89.83b	2.56a
Progenitores	4.50c	87.29b	0.96b	4.95c	1.20b	14.49c	91.45a	2.48a
Cruzas Adic.	5.72b	88.20a	1.01a	5.16b	1.28a	15.77b	87.83c	2.43b
Prog. Adicionales	3.73d	86.14c	0.95b	4.69d	1.07c	15.41b	88.19c	2.26c
Híbridos testigo	6.79a	88.44a	1.08a	5.49a	1.30a	17.40a	83.41d	2.27c
DSH _(0.05)	0.87	0.82	0.07	0.13	0.06	0.55	3.00	0.13

REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= días a floración masculina; AP= Altura de planta; DSH= Diferencia significativa honesta.

Análisis por localidad y grupo. Las variables REN, IG, MP, DM, NHM y AP mostraron mayor expresión en Santa Lucía para los 144 genotipos de los cinco grupos, situación observada para LGr en Mixquiahuala, y para DFM en Zotoluca. En la interacción Loc x Grupo, las variables REN y MP resultaron altamente significativas, por lo que al analizar las medias por grupo en cada localidad, se observó que el grupo de los híbridos comerciales alcanzó rendimientos de 7.51, 6.81 y 6.04 t ha⁻¹, mientras que el de las cruzas dialélicas de 6.88, 5.49 y 5.32 t ha⁻¹ en las localidades de Santa Lucía, Zotoluca y Mixquiahuala, respectivamente (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Valores promedio por grupo de poblaciones del altiplano mexicano y sus cruzas en cada localidad para las variables de mayor relevancia. Primavera-Verano, 2006.

Grupo	REN (t ha ⁻¹)	IG (%)	DM (cm)	MP (No)	LGr (cm)	NHM (No)	DFM (días)	AP (m)
Zotoluca, Apan, Hgo.								
Cruzas Dialélicas	5.49	86.75	4.97	1.04	1.18	14.49	103.21	2.50
Prog. de Cruzas Dialélicas	4.55	86.01	4.85	0.98	1.13	14.52	105.16	2.39
Cruzas Adicionales	5.44	86.91	5.02	1.03	1.19	15.83	101.31	2.32
Prog. Cruzas Adicionales	4.25	84.73	4.54	1.02	1.00	15.06	102.92	2.13
Híbridos Comerciales	6.81	87.84	5.49	1.17	1.25	16.91	96.11	2.20
Promedio general	5.31	86.45	4.97	1.05	1.15	15.36	101.74	2.31
Mixquiahuala, Hgo.								
Cruzas Dialélicas	5.32	88.72	5.21	0.93	1.34	14.33	85.06	2.38
Prog. de Cruzas Dialélicas	3.86	87.59	4.98	0.90	1.24	14.09	85.64	2.33
Cruzas Adicionales	5.27	89.27	5.15	0.90	1.32	15.22	83.02	2.30
Prg. de Cruzas Adicionales	2.60	86.73	4.75	0.83	1.10	15.45	83.50	2.18
Híbridos Comerciales	6.04	88.84	5.42	0.96	1.33	17.21	79.22	2.18
Promedio general	4.62	88.23	5.10	0.90	1.27	15.26	83.29	2.27
Santa Lucía, Texcoco, Edo. de México								
Cruzas Dialélicas	6.88	88.82	5.28	1.17	1.30	15.13	81.21	2.81
Prog. de Cruzas Dialélicas	5.08	88.28	5.02	1.01	1.23	14.87	83.56	2.72
Cruzas Adicionales	6.45	88.43	5.31	1.10	1.33	16.27	79.14	2.68
Prog. Cruzas Adicionales	4.34	86.96	4.78	1.02	1.11	15.72	78.17	2.47
Híbridos Comerciales	7.51	88.64	5.56	1.12	1.33	18.07	74.89	2.43
Promedio general	6.05	88.23	5.19	1.08	1.26	16.01	79.39	2.62
DSH _(0.05) Grupos	0.87	0.82	0.13	0.07	0.06	0.55	3.00	0.13
DSH _(0.05) Localidades	0.48	0.66	0.09	0.05	0.06	0.24	1.32	0.08

REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= días a floración masculina; AP= Altura de planta; DSH= Diferencia significativa honesta.

Aptitud combinatoria general (ACG). En el Cuadro 3.6 se muestran los valores de los efectos de ACG, que indican que las poblaciones Gto-142, Col-03-64, Col-6784, F_{HC}H-129F_n, Tlax-151 y VS-22 fueron las de mayor expresión, todas con efectos positivos, y también con los máximos valores *per se* registrados; es decir, en promedio de las tres localidades estas poblaciones generaron las mejores combinaciones; además, en el esquema de cruzamientos se incluyó a dos poblaciones de la raza Cateto Sulino, una de Uruguay y otra de Argentina, que se han manejado por más de 10 generaciones en el Altiplano de México, seleccionando a los individuos de mejor comportamiento; sin embargo, los efectos de ACG de dichas poblaciones fueron negativos para las ocho características consideradas (Cuadro 3.6), mostrando con ello que en promedio producirían cruzamientos con poco potencial al combinarse con las poblaciones locales. Rivera (1977) encontró que a medida que la divergencia genética de los progenitores 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 el mismo contexto, cabe destacar que las poblaciones sobresalientes mostraron valores superiores en los componentes del rendimiento (DM, LGr y NHM), mismos que determinaron la expresión del rendimiento, de manera semejante a lo que registró de la Cruz (2003) en su trabajo sobre heterosis y aptitud combinatoria en maíces exóticos en el estado de Jalisco.

Si se considera a VS-22 como referencia de Mich-21, población que ha formado parte de muchos híbridos comerciales, se observa que de acuerdo con los efectos de ACG registrados existen otras poblaciones con orígenes diversos que pueden aportar al mejoramiento genético del maíz y que hasta ahora se ha prestado poca atención a sus potenciales como fuentes para incrementar la base genética de los híbridos comerciales.

Cuadro 3.6. Efectos de ACG de 15 poblaciones progenitoras evaluadas en tres localidades. Primavera-Verano, 2006.

Genealogía	REN (t ha ⁻¹)	IG (%)	MP (No)	DM (cm)	LGr (cm)	NHM (No)	DFM (días)	AP (m)
F _{HCH} -129F _n (10)	0.59a	-1.11	0.11a	-0.03	-0.07	0.10	5.47a	0.19a
Gto-142 (6)	0.56a	-0.14	0.04b	0.18b	0.02	0.81c	0.14	0.01
Col-6784 (9)	0.49a	0.61b	-0.09	0.36a	0.12b	0.40	0.71	0.12b
VS-22 (21)	0.43b	0.42c	0.02b	0.10c	0.04	1.22b	-1.93	-0.03
Tlax-151 (18)	0.17c	0.61b	0.00	0.12c	0.05	1.52a	-2.94	-0.02
Col-64-03 (8)	0.14c	0.74b	-0.03	0.09c	0.08c	-2.36	1.82c	0.10b
Gto-208 (5)	0.10	-0.16	-0.01	0.03	0.02	-0.25	2.59b	0.06c
Jal-335 (16)	0.01	-2.06	-0.04	0.04	-0.08	-0.73	0.21	0.03
Oax-814 (15)	-0.02	0.48c	0.09a	-0.14	-0.01	-0.81	1.70c	-0.01
Zac-66 (12)	-0.10	0.84b	0.03b	0.00	0.03	1.23b	0.27	-0.02
Méx-633 (7)	-0.14	1.88a	-0.07	0.12c	0.15a	0.48	-1.52	-0.01
Hgo-4 (2)	-0.33	-0.53	-0.01	-0.15	-0.08	-0.14	-5.37	-0.19
Dgo-189 (3)	-0.33	0.09	-0.06	0.07	0.02	0.29	0.17	0.04c
Urg-II (20)	-0.73	-1.11	-0.03	-0.29	-0.12	-0.86	-0.26	-0.12
Arg-III (22)	-0.84	-0.56	0.04b	-0.50	-0.17	-0.90	-1.06	-0.16
DSH _(0.05)	0.15	0.26	0.02	0.04	0.02	0.17	0.41	0.02

REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= días a floración masculina; AP= Altura de planta; DSH= Diferencia significativa honesta.

Aptitud combinatoria específica. En el Cuadro 3.7, se muestra el valor promedio de las cruzas dialélicas, cruzas adicionales y de los híbridos testigo, así como los efectos de ACE de las cruzas dialélicas. Con base en el comportamiento promedio de los genotipos dentro de cada grupo, se observó que en el grupo de cruzas dialélicas y en el de cruzas adicionales, se obtuvieron valores iguales o superiores a los mostrados por los mejores híbridos comerciales para las ocho características relevantes. Para REN el valor máximo fue de 7.9, 6.8 y 7.6 t ha⁻¹ en el grupo de las cruzas dialélicas, cruzas adicionales y en el de los híbridos comerciales, respectivamente. En el grupo de las cruzas dialélicas, los cruzamientos con mayor expresión promedio para esta variable fueron 10 x 15, 6 x 8, 9 x 15, 8 x 21, 3 x 10, 6 x 18, 9 x 12, 12 x 16, 10 x 21 y 6

x 15, superando al promedio de los seis híbridos comerciales testigo; además, nueve de los diez cruzamientos indicados resultaron sobresalientes para efectos de ACE, donde el máximo valor fue de 1.6 t ha⁻¹ correspondiendo al primer cruzamiento enlistado (Cuadro 3.7). Se detectó que los cruzamientos con ACE de mayor magnitud combinan poblaciones de origen geográfico contrastado en el área de distribución de la raza Chalqueño, y que la magnitud de los efectos registrados para REN está ampliamente relacionada con los efectos que tuvieron los componentes de rendimiento.

La población con influencia de la raza Ancho (Col-03-64) pero adaptada a las condiciones de cultivo de Valles Altos presentó combinaciones con alto potencial, y su aporte al tamaño de grano y de mazorca debe considerarse en los programas de mejoramiento.

Las poblaciones que participaron con mayor frecuencia como progenitores en los cruzamientos sobresalientes para las ocho variables fueron, Gto-142, Méx-633, Col-03-64, Col-6784, F_{HC} H-129F_n y VS-22, con origen en Guanajuato, Estado de México y Michoacán, pertenecientes a la raza Chalqueño, Chalqueño-Celaya y Chalqueño-Cónico. Dichas poblaciones tuvieron efectos positivos altos de ACG, al combinarse en su mayoría con las poblaciones Oax-814, Zac-66, Dgo-189, Jal-335 y Tlax-151, pertenecientes a otras variantes de esta raza (Chalqueño-Celaya, Chalqueño-Cónico), con origen en los estados de Oax., Zac., Dgo., Jal. y Tlax. Las poblaciones pertenecientes a las variantes de Chalqueño tuvieron influencia importante sobre la expresión de los cruzamientos sobresalientes para las variables consideradas, donde dichos cruzamientos en su mayoría tuvieron tanto valores promedio como efectos de ACE altos (Cuadro 3.7).

En el grupo de cruza adicionales se incluyeron cruzamientos que en lo posible abarcaran el área geográfica de los Valles Altos de México y que representaran alguno de los patrones heteróticos que actualmente se utilizan, siendo el caso de la cruza VS-22 x Pob-85 C4, que en cierto grado representa a la combinación aprovechada en varios híbridos comerciales liberados en los últimos lustros (H-40, H-48, H-50, entre

otros.), donde participa Mich-21 y una de las poblaciones sobresalientes del CIMMYT; sin embargo, tanto en este grupo como en el de las cruzas dialélicas se observaron comportamientos sobresalientes en cruzamientos en los que participaron progenitores distintos a los descritos anteriormente, superando de forma notoria la expresión de los testigos y de sus propios progenitores, lo que indica la existencia de combinaciones heteróticas importantes y que aparte de los patrones ya definidos durante varios años, existen otros potenciales que puede ser utilizados en los programas de mejoramiento genético de maíz en México para generar híbridos y variedades mejoradas con propósitos diversos que satisfagan las necesidades de los productores (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7. Valor promedio, ACE de cruzas dialélicas y promedios de cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo evaluadas en tres localidades de Valles Altos de México. Primavera-Verano, 2006.

No	Prog.		REN (t ha ⁻¹)		IG (%)		MP		DM (cm)		LGr (cm)		NHM		DFM (d)		AP (m)	
	Pi	Pj	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE
Cruzas Dialélicas																		
1	2	3	5.26	0.17	87.47	0.09	0.90	0.07	5.01	0.05	1.22	0.02	14.37	0.41	81.89	-2.93	2.37	0.03
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2	5	5.45	0.07	87.41	0.10	1.03	0.01	4.89	0.13	1.15	-0.06	13.97	0.27	87.33	0.08	2.40	0.03
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2	6	6.04	0.06	87.54	0.22	0.99	0.08	5.38	0.21	1.26	0.05	15.92	0.62	84.00	-0.80	2.32	0.05
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	2	7	6.01	0.72	89.40	0.05	1.02	0.06	5.08	0.03	1.31	-0.02	14.28	0.69	81.11	-2.03	2.26	0.10
5	2	8	6.13	0.56	89.06	0.85	1.00	0.00	5.18	0.11	1.30	0.04	12.44	0.32	85.33	-1.14	2.57	0.11
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2	9	5.85	0.07	86.08	2.00	1.00	0.06	5.22	0.13	1.22	-0.09	14.90	0.02	84.56	-0.81	2.31	0.17
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	2	10	6.44	0.43	85.53	0.83	1.18	0.04	4.94	0.01	1.09	-0.02	14.51	0.08	89.00	-1.12	2.55	0.01
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2	12	5.07	0.25	88.82	0.51	1.08	0.02	4.67	0.31	1.19	-0.02	14.82	0.89	85.44	0.52	2.25	0.10
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2	15	5.03	0.37	87.64	0.30	1.22	0.11	4.67	0.18	1.14	-0.03	13.49	0.19	87.22	0.87	2.41	0.05
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2	16	5.41	0.02	85.47	0.06	0.99	0.00	5.14	0.12	1.09	0.00	13.59	0.17	83.89	-0.98	2.54	0.15
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	2	18	6.08	0.49	87.14	0.94	1.02	0.00	5.11	0.01	1.26	0.03	15.56	0.45	79.89	-1.83	2.33	0.01
12	2	20	5.04	0.34	88.16	1.80	0.98	-	4.78	0.09	1.10	0.03	14.27	0.64	82.67	-1.73	2.44	0.19

No	Prog.		REN (t ha ⁻¹)		IG (%)		MP		DM (cm)		LGr (cm)		NHM		DFM (d)		AP (m)	
	Pi	Pj	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE
									0.02									
13	2	21	5.65	0.20	86.99	0.90	1.06	0.01	5.14	0.06	1.22	0.00	16.51	0.80	82.11	-0.61	2.33	0.00
14	2	22	5.49	0.90	89.36	2.45	0.99	0.07	4.83	0.35	1.21	0.20	13.69	0.11	88.67	5.07	2.50	0.29
15	3	5	6.13	0.61	89.80	1.87	1.08	0.11	5.28	0.04	1.43	0.12	15.27	0.59	90.67	-2.12	2.63	0.02
16	3	6	5.90	0.09	87.04	0.90	1.09	0.07	5.36	0.03	1.28	-0.02	15.93	0.20	89.67	-0.67	2.47	0.13
17	3	7	5.96	0.67	90.31	0.34	0.93	0.02	5.42	0.10	1.50	0.07	15.74	0.34	84.11	-4.57	2.49	0.08
18	3	8	5.42	0.14	88.91	0.09	0.88	0.07	5.39	0.10	1.37	0.01	12.73	0.17	94.89	2.87	2.83	0.14
19	3	9	5.49	0.43	88.78	0.09	0.82	0.07	5.56	0.01	1.43	0.02	14.98	0.34	91.67	0.76	2.67	0.03
20	3	10	7.25	1.24	87.29	0.31	1.27	0.18	5.16	0.02	1.18	-0.03	14.96	0.07	98.78	3.11	2.91	0.13
21	3	12	4.54	0.79	87.86	1.07	0.89	0.12	5.27	0.07	1.26	-0.05	17.44	1.29	88.56	-1.91	2.61	0.04
22	3	15	5.26	0.14	88.32	0.24	1.02	0.04	5.22	0.15	1.29	0.01	14.48	0.37	92.33	0.44	2.64	0.06
23	3	16	5.17	0.26	85.42	0.60	0.88	0.06	5.48	0.23	1.25	0.05	14.62	0.43	90.89	0.48	2.66	0.04
24	3	18	6.48	0.88	89.33	0.64	1.12	0.14	5.31	0.01	1.33	0.00	16.00	0.44	89.56	2.29	2.54	0.03
25	3	20	5.23	0.53	87.64	0.67	0.99	0.04	5.12	0.21	1.23	0.07	13.26	0.81	89.78	-0.16	2.61	0.14
26	3	21	6.63	0.78	90.06	1.55	1.08	0.08	5.18	0.13	1.31	-0.01	15.88	0.27	85.67	-2.60	2.37	0.19
27	3	22	4.29	0.29	86.41	1.11	0.99	0.03	4.58	0.13	1.00	-0.11	14.56	0.54	86.22	-2.92	2.32	0.11
28	5	6	6.44	0.03	87.59	0.11	1.11	0.04	5.10	0.24	1.21	-0.11	15.14	0.05	92.78	0.01	2.61	0.01
29	5	7	5.59	0.12	90.33	0.61	0.92	0.04	5.21	0.07	1.45	0.01	16.00	1.14	90.22	-0.88	2.55	0.05
30	5	8	6.34	0.35	88.27	0.31	1.06	0.05	5.34	0.09	1.39	0.02	11.70	0.32	93.11	-1.33	2.68	0.03
31	5	9	5.87	0.48	88.71	0.27	0.92	0.02	5.61	0.08	1.46	0.05	14.32	0.46	93.44	0.11	2.69	0.04

Quadro 3.7. Continuação

No	Prog.		REN (t ha ⁻¹)		IG (%)		MP		DM (cm)		LGr (cm)		NHM		DFM (d)		AP (m)		
	Pi	Pj	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	
			-		-		-		-										
32	5	10	6.14	0.30	86.38	0.35	1.11	0.03	4.97	0.17	1.13	-0.08	14.67	0.18	97.11	-0.98	2.80	0.01	
			-																
33	5	12	5.46	0.29	89.71	1.03	0.93	0.12	5.19	0.03	1.32	0.00	15.04	0.57	93.44	0.56	2.69	0.09	
			-																
34	5	15	6.60	0.77	88.89	0.57	1.10	0.02	5.11	0.09	1.35	0.07	13.19	0.38	93.56	-0.76	2.61	0.00	
			-		-		-		-				-						-
35	5	16	5.33	0.52	85.33	0.45	0.94	0.05	5.07	0.14	1.13	-0.07	13.19	0.46	91.89	-0.95	2.63	0.02	
			-		-		-		-				-						-
36	5	18	6.51	0.49	88.09	0.36	1.02	0.01	5.38	0.10	1.36	0.02	16.21	0.31	90.67	0.98	2.58	0.01	
			-		-		-		-				-						-
37	5	20	5.48	0.35	86.42	0.31	1.04	0.05	4.90	0.03	1.16	-0.01	12.89	0.63	92.00	-0.36	2.49	0.00	
			-		-		-		-				-						-
38	5	21	6.62	0.34	88.09	0.17	1.03	0.02	5.32	0.06	1.33	0.01	16.46	0.85	88.33	-2.36	2.74	0.15	
			-		-		-		-				-						-
39	5	22	6.39	1.37	85.82	1.45	1.26	0.19	4.99	0.33	1.16	0.05	14.12	0.64	93.33	1.77	2.46	0.01	
			-		-		-		-				-						-
40	6	7	6.76	0.58	90.36	0.62	1.06	0.04	5.46	0.02	1.43	0.00	15.40	0.53	84.56	-4.10	2.49	0.06	
			-		-		-		-				-						-
41	6	8	7.62	1.16	88.93	0.35	1.01	0.04	5.61	0.21	1.46	0.10	12.94	0.14	90.44	-1.55	2.58	0.07	
			-		-		-		-				-						-
42	6	9	6.70	0.11	88.77	0.31	1.01	0.02	5.73	0.06	1.46	0.05	16.17	0.33	90.33	-0.55	2.64	0.04	
			-		-		-		-				-						-
43	6	10	6.32	0.58	87.64	0.90	1.20	0.01	5.33	0.05	1.28	0.06	14.59	0.96	94.44	-1.20	2.77	0.02	
			-		-		-		-				-						-
44	6	12	5.79	0.43	88.67	0.02	0.99	0.12	5.44	0.14	1.41	0.09	16.31	0.36	89.44	-0.99	2.51	0.04	
			-		-		-		-				-						-
45	6	15	7.03	0.73	88.63	0.30	1.21	0.04	5.08	0.10	1.24	-0.04	14.16	0.48	89.89	-1.98	2.53	0.01	
			-		-		-		-				-						-
46	6	16	5.85	0.48	85.77	0.03	1.01	0.03	5.44	0.09	1.22	0.02	15.06	0.34	93.33	2.95	2.61	0.02	
			-		-		-		-				-						-
47	6	18	7.24	0.76	88.14	0.32	1.13	0.05	5.19	0.24	1.26	-0.08	16.78	0.18	85.33	-1.90	2.62	0.08	
			-		-		-		-				-						-
48	6	20	6.33	0.74	86.69	0.05	1.14	0.09	5.31	0.29	1.28	0.11	15.26	0.67	93.00	3.09	2.74	0.31	
			-		-		-		-				-						-
49	6	21	6.75	0.00	88.34	0.07	1.07	0.04	5.63	0.22	1.35	0.02	18.41	1.74	88.56	0.31	2.55	0.02	
			-		-		-		-				-						-
50	6	22	5.53	0.04	87.64	0.36	1.10	0.02	4.71	0.10	1.12	0.01	13.93	0.61	84.00	-5.11	2.22	0.18	
			-		-		-		-				-						-
51	7	8	6.13	0.37	90.07	-	0.91	-	5.43	0.09	1.54	0.05	13.26	0.50	86.00	-4.33	2.57	-	

No	Prog.		REN (t ha ⁻¹)		IG (%)		MP		DM (cm)		LGr (cm)		NHM		DFM (d)		AP (m)	
	Pi	Pj	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE
						0.55		0.03										0.06
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	7	9	6.03	0.08	90.43	0.05	0.81	0.07	5.66	0.04	1.47	-0.07	15.88	0.37	88.78	-0.44	2.63	0.02
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	7	10	5.71	0.49	87.91	0.86	1.11	0.03	5.01	0.21	1.20	-0.14	15.04	0.17	97.44	3.46	2.79	0.06
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	7	12	6.01	0.49	90.11	0.61	1.06	0.06	5.23	0.01	1.41	-0.03	16.00	0.34	86.67	-2.11	2.59	0.07
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	7	15	4.80	0.79	89.66	0.70	1.02	0.03	5.16	0.04	1.43	0.02	14.31	0.01	92.33	2.12	2.58	0.04
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	7	16	6.45	0.83	87.63	0.19	1.02	0.09	5.12	0.17	1.21	-0.12	13.41	0.97	87.00	-1.73	2.57	0.00
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	7	18	5.02	0.77	90.38	0.11	0.86	0.11	5.31	0.06	1.49	0.03	16.59	0.04	83.33	-2.24	2.34	0.19
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
58	7	20	4.87	0.02	88.92	0.16	0.91	0.03	5.10	0.14	1.37	0.07	14.82	0.57	91.78	3.53	2.62	0.19
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59	7	21	6.02	0.03	88.44	1.86	1.08	0.09	5.23	0.12	1.34	-0.11	15.93	0.40	91.89	5.31	2.56	0.05
60	7	22	5.06	0.28	90.82	1.51	1.00	0.00	4.98	0.23	1.46	0.21	14.33	0.13	95.00	7.55	2.69	0.31
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	8	9	6.07	0.32	89.28	0.06	0.94	0.02	5.57	0.01	1.42	-0.05	12.22	0.45	90.44	-2.12	2.78	0.02
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	8	10	6.62	0.13	88.62	1.00	1.07	0.05	5.19	0.00	1.29	0.02	12.14	0.23	95.00	-2.32	2.67	0.17
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	8	12	5.95	0.15	88.33	1.24	1.17	0.13	5.04	0.17	1.26	-0.12	13.20	0.30	95.00	2.88	2.61	0.02
64			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	15	6.01	0.14	88.63	0.58	1.16	0.06	5.14	0.06	1.33	0.00	11.93	0.47	94.78	1.23	2.60	0.04
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	8	16	6.02	0.12	86.21	0.46	0.99	0.02	5.08	0.18	1.18	-0.08	11.63	0.09	92.67	0.60	2.51	0.17
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	8	18	3.38	2.68	88.70	0.64	0.93	0.08	5.18	0.16	1.33	-0.06	13.44	0.34	93.67	4.75	2.49	0.14
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	8	20	5.41	0.24	87.44	0.17	0.97	0.01	4.60	0.32	1.14	-0.08	11.19	0.22	88.00	-3.59	2.57	0.04
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	8	21	7.35	1.03	89.18	0.03	1.10	0.07	5.36	0.04	1.37	-0.01	13.28	0.22	87.67	-2.25	2.72	0.10
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69	8	22	4.39	0.67	88.99	0.82	0.98	0.07	5.10	0.38	1.26	0.09	12.30	0.93	95.33	4.54	2.67	0.18
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	9	10	6.38	0.46	89.13	1.64	0.97	0.09	5.29	0.18	1.32	0.00	15.18	0.05	93.22	-2.99	2.81	0.05
71	9	12	7.20	1.04	89.51	0.07	1.16	0.18	5.61	0.12	1.51	0.09	16.27	0.01	90.11	-0.90	2.60	-

No	Prog.		REN (t ha ⁻¹)		IG (%)		MP		DM (cm)		LGr (cm)		NHM		DFM (d)		AP (m)		
	Pi	Pj	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	
	0.06																		
72	9	15	7.51	1.28	89.72	0.64	1.12	0.09	5.50	0.14	1.51	0.13	13.72	0.49	95.89	3.45	2.69	0.03	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73	9	16	5.33	0.93	87.30	0.76	0.87	0.04	5.42	0.11	1.30	-0.01	14.66	0.36	92.11	1.16	2.61	0.09	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	9	18	6.61	0.19	88.62	0.59	0.94	0.00	5.61	0.00	1.43	-0.01	16.37	0.18	88.44	0.64	2.82	0.17	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	9	20	6.54	1.01	87.22	0.27	1.01	0.09	5.57	0.37	1.33	0.05	16.34	2.18	94.78	4.30	2.66	0.11	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	9	21	6.14	0.53	88.44	0.58	0.88	0.09	5.54	0.05	1.40	-0.03	15.64	0.61	88.11	-0.70	2.72	0.08	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
77	9	22	6.69	1.28	88.80	0.76	1.16	0.17	4.86	0.14	1.16	-0.06	13.78	0.34	87.56	-2.12	2.51	0.00	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
78	10	12	6.74	0.49	89.19	1.46	1.19	0.02	5.09	0.01	1.24	0.02	15.88	0.08	93.78	-1.99	2.76	0.03	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
79	10	15	7.92	1.60	88.74	1.38	1.36	0.12	5.01	0.05	1.28	0.10	13.92	0.00	96.78	-0.42	2.68	0.05	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
80	10	16	5.61	0.74	85.06	0.23	1.10	0.01	5.00	0.14	1.13	0.02	13.19	0.81	99.22	3.51	3.00	0.22	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
81	10	18	6.00	0.51	88.19	0.69	1.00	0.15	5.29	0.07	1.26	0.02	17.41	1.16	90.00	-2.56	2.59	0.14	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
82	10	20	6.38	0.76	84.94	0.83	1.09	0.03	5.40	0.59	1.28	0.20	15.07	1.19	97.78	2.54	2.72	0.09	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
83	10	21	7.04	0.27	86.92	0.39	1.18	0.01	5.09	0.11	1.18	-0.05	15.64	0.31	96.78	3.21	2.87	0.15	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
84	10	22	5.42	0.09	87.03	0.71	1.13	0.05	4.57	0.03	1.02	0.00	14.19	0.36	91.22	-3.22	2.51	0.08	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	12	15	5.48	0.15	89.23	0.08	1.11	0.04	4.78	0.21	1.19	-0.10	15.30	0.25	90.67	-1.33	2.41	0.12	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
86	12	16	7.11	1.44	87.88	1.10	1.08	0.05	5.60	0.43	1.42	0.21	13.99	1.14	89.67	-0.84	2.61	0.04	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
87	12	18	6.14	0.31	87.49	1.96	1.07	0.00	5.42	0.18	1.34	-0.01	17.64	0.27	87.44	0.08	2.56	0.04	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
88	12	20	5.50	0.57	89.70	1.98	1.16	0.12	4.67	0.17	1.18	0.00	15.03	0.04	92.00	1.97	2.45	0.03	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
89	12	21	6.93	0.85	89.10	0.16	1.21	0.12	5.34	0.12	1.29	-0.04	17.32	0.24	88.89	0.52	2.49	0.02	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	12	22	5.67	0.84	88.16	0.11	1.21	0.11	4.50	0.13	1.08	-0.04	14.58	0.38	91.22	1.99	2.42	0.05	

No	Prog.		REN (t ha ⁻¹)		IG (%)		MP		DM (cm)		LGr (cm)		NHM		DFM (d)		AP (m)	
	Pi	Pj	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE
			-		-		-		-			-		-			-	
91	15	16	5.55	0.19	86.02	0.39	1.04	0.04	4.97	0.07	1.13	-0.04	12.70	0.39	92.22	0.28	2.67	0.09
															-			-
92	15	18	6.96	1.06	89.40	0.31	1.18	0.05	5.11	0.00	1.27	-0.04	15.11	0.22	86.44	-2.35	2.49	0.03
93	15	20	5.39	0.38	88.38	1.02	1.14	0.05	5.13	0.43	1.32	0.17	14.54	1.59	93.22	1.76	2.62	0.20
															-			-
94	15	21	5.98	0.18	89.09	0.19	1.10	0.05	5.24	0.15	1.39	0.10	14.96	0.09	89.67	-0.13	2.41	0.10
															-			-
95	15	22	5.25	0.36	87.22	0.69	1.20	0.04	4.44	0.05	1.01	-0.08	12.82	0.09	87.89	-2.78	2.50	0.12
															-			-
96	16	18	6.60	0.67	87.43	0.88	1.04	0.05	5.16	0.13	1.20	-0.03	15.11	0.31	87.56	0.25	2.57	0.00
																		-
97	16	20	5.83	0.79	85.40	0.57	0.97	0.00	4.98	0.10	1.15	0.09	13.62	0.58	89.33	-0.65	2.43	0.03
																		-
98	16	21	6.55	0.37	86.32	0.04	1.04	0.02	5.36	0.09	1.24	0.03	15.13	0.01	86.44	-1.87	2.43	0.13
																		-
99	16	22	5.04	0.12	85.78	0.40	1.00	0.03	4.72	0.05	1.03	0.02	13.33	0.34	87.00	-2.18	2.35	0.07
																		-
100	18	20	4.67	0.52	88.33	0.84	1.03	0.03	5.14	0.19	1.27	0.07	15.73	0.45	87.78	0.95	2.50	0.08
																		-
101	18	21	6.85	0.50	89.50	0.47	1.13	0.07	5.39	0.04	1.39	0.04	17.33	0.04	84.44	-0.72	2.59	0.08
102	18	22	5.75	0.67	88.34	0.30	1.10	0.03	5.24	0.50	1.27	0.13	16.30	1.06	90.67	4.63	2.55	0.18
																		-
103	20	21	5.02	0.44	87.52	0.22	1.00	0.03	4.76	0.18	1.12	-0.06	13.18	1.82	81.67	-6.17	2.15	0.25
104																		-
	20	22	3.05	1.14	86.26	0.06	0.94	0.10	3.93	0.40	0.82	-0.15	10.97	1.90	84.00	-4.71	2.07	0.21
																		-
105	21	22	5.29	0.05	88.40	0.55	1.07	0.03	4.79	0.06	1.16	0.03	15.30	0.35	85.89	-1.15	2.42	0.06
Máximo			7.92	1.60	90.82	2.45	1.36	0.19	5.73	0.59	1.54	0.21	18.41	2.18	99.22	7.55	3.00	0.31
																		-
Mínimo			3.05	2.68	84.94	2.00	0.81	0.15	3.93	0.40	0.82	-0.15	10.97	1.90	79.89	-6.17	2.07	0.25
DSH _(0.05)			2.30	0.61	3.60	1.03	0.34	0.09	0.58	0.16	0.27	0.07	2.56	0.69	6.00	1.66	0.36	0.10

Valor promedio de cruzas adicionales

No	Genealogía	REN	IG	MP	DM	LGr	NHM	DFM	AP
125	Qro-46 (1)x Hgo-4 (2)	5.33	87.77	1.02	4.87	1.19	16.34	89.56	2.40
126	Dgo-189 (3) x Qro-46 (1)	4.92	86.14	0.99	5.27	1.34	15.63	91.67	2.54
127	Gto-142 (6) x Qro-46 (1)	6.19	89.76	1.04	5.17	1.31	16.79	94.44	2.52
128	Méx-633 (7) x Qro-46 (1)	4.58	90.74	0.83	4.92	1.29	16.56	88.00	2.46

No	Prog.		REN (t ha ⁻¹)		IG (%)		MP		DM (cm)		LGr (cm)		NHM		DFM (d)		AP (m)	
	Pi	Pj	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE	Med	ACE
129	Qro-46 (1) x Oax-814 (15)								5.29	88.12	1.14	5.17	1.43	14.67	96.78	2.57		
130	Méx-581 (17) x Dgo-189 (3)								6.09	87.61	0.98	5.38	1.32	14.44	92.67	2.52		
131	Méx-581 (17) x Gto-208 (5)								5.97	88.43	1.04	5.46	1.39	15.48	90.89	2.54		
132	Méx-581 (17) x Col-6784 (9)								6.42	91.21	0.86	5.66	1.59	16.16	89.11	2.57		
133	Zac-66 (12) x Méx-581 (17)								6.70	87.69	1.13	5.28	1.33	17.59	92.22	2.67		
134	Pob-85 C4 (24) x Zac-66 (12)								4.97	88.48	1.06	4.80	1.16	15.33	82.11	2.27		
135	VS-22 (21) x Pob-85 C4 (24)								6.81	86.69	1.04	5.19	1.19	16.22	82.78	2.38		
136	Pob-800 C5 (25) x Méx-581 (17)								6.23	87.67	0.96	5.37	1.26	16.59	80.78	2.25		
137	Pob-800 C5 (25) x Tlax-151 (18)								5.33	87.43	0.97	5.16	1.18	15.63	79.56	2.27		
138	Pob-800 C5 (25) x Oax-708 (23)								5.25	87.12	1.03	4.59	0.96	13.38	79.00	2.10		
	Máximo								6.8	91.2	1.1	5.7	1.6	17.6	96.8	2.7		
	Mínimo								4.6	86.1	0.83	4.6	0.96	13.4	79.0	2.1		
	DSH _(0.05)								2.0	4.2	0.2	0.6	0.2	2.2	4.3	0.3		

Valor promedio de híbridos comerciales testigo

No	Genealogía	REN	IG	MP	DM	LGr	NHM	DFM	AP
139	H-28	5.82	88.78	1.14	5.44	1.33	17.93	83.44	2.38
140	H-33	6.81	87.99	0.97	5.73	1.45	19.21	85.00	2.52
141	H-40	6.75	87.01	1.14	5.43	1.24	16.60	86.44	2.26
142	H-52	6.59	89.46	1.07	5.19	1.31	17.01	83.78	2.31
143	H-64-E	7.15	87.01	1.04	5.59	1.12	16.13	79.78	2.02
144	H-66-E	7.60	90.42	1.13	5.56	1.37	17.49	82.00	2.14
	Máximo	7.60	90.42	1.14	5.73	1.50	19.21	86.44	2.52
	Mínimo	5.82	87.01	0.97	5.19	1.10	16.13	79.78	2.02
	DSH _(0.05)	1.66	2.42	0.19	0.39	0.19	2.43	4.02	0.19

Prog= Progenitores; REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= días a floración masculina; AP= Altura de planta; No= Número de genotipo; Pi= Progenitor i; Pj= Progenitor j; Med= Valor promedio; ACE= Efectos de aptitud combinatoria específica; Máximo.= Valor promedio máximo; Mínimo.= Valor promedio mínimo; DSH= Diferencia significativa honesta.

CONCLUSIONES

Con base en los valores máximos *per se* y efectos positivos de ACG para las variables evaluadas, las poblaciones Gto-142, Col-03-64, Col-6784, F_{HC}H-129Fn, Zac-66, Tlax-151 y VS-22 se pueden caracterizar como buenos progenitores generadores de líneas (efectos aditivos) sobresalientes, tanto para rendimiento de grano y sus componentes como para la expresión de otras características morfológicas y fenológicas.

Se detectaron combinaciones de las poblaciones con buena ACG con otras de origen geográfico divergente como Oax-814, Dgo-189 y Jal-335 con alta ACE, lo que implica interacciones positivas que en perspectiva pueden generar híbridos superiores, dado que el aprovechamiento de ese tipo de combinaciones pudiera superar a los híbridos actuales.

Considerando que se trata de representar el área de distribución de la raza Chalqueño, los resultados indican que la variación genética de esta raza representa un potencial importante que debe seguir siendo estudiado y aprovechado en programas de mejoramiento genético para la formación de híbridos.

BIBLIOGRAFÍA

- Balderrama C S, A Mejía C, F Castillo G, A Carballo C (1997)** Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. Rev. Fitotec. Mex. 20: 137-147.
- Castillo G F, M M Goodman (1989)** Agronomic evaluation of Latin American maize accessions. Crop Sci. 29: 853-861.
- Cho Y, R A Scott (2000)** Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. Euphytica 112:145-150.
- De la Cruz L L, J Ron P, J L Ramírez D, J J Sánchez G, M M Morales R, M Chuela B, S A Hurtado de la P, S Mena M (2003)** Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. Rev. Fitotec. Mex. 26(1): 1-10.
- Gámez V A J, M A Avila P, H Angeles A, C Díaz H, H Ramírez V, A Alejo J, A Terrón I (1996)** Híbridos y Variedades de Maíz Liberados por el INIFAP hasta 1996. Publicación Especial No. 16, INIFAP, SAGAR. Toluca, Méx. 103 p.
- García E (1988)** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. UNAM. México, D. F. 217 p.
- Griffing B (1956)** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9: 463-493.
- Gutiérrez del R E, A Palomo G, A Espinoza B, E De la Cruz L (2002)** Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. Rev. Fitotec. Mex. 25(3): 271-277.

- Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, J M Hernández C, R Ortega P, M M Goodman (2004)** Diversidad genética del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206.
- Hoegenmeyer T C, A R Hallauer (1976)** Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Sci.* 16: 76-80.
- LAMP (1991)** Catálogo de Germoplasma de Maíz. Proyecto Latinoamericano de Maíz. Tomo II. México, D. F. 678 p.
- Márquez S F (1988)** Genotecnia Vegetal. Tomo II. AGT Editor. México, D.F. 563 p.
- Márquez S F (1994)** El Centro Nacional de Rescate y Mejoramiento de Maíces Criollos. *En: I Simposium Internacional de Etnobotánica en Mesoamérica "Efraím Hernández X"*. J. A. Cuevas S., E. Estrada L. y E. Cedillo P. (eds.). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. pp: 131-136.
- Ortega P R, J J Sánchez G, F Castillo G, J M Hernández C (1991)** Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México. *En: Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. R. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H y M. Livera M. (eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. Chapingo, Méx. pp: 161-185.
- Rivera F C H (1977)** Efecto de la divergencia genética en la heterosis de cruzas intervarietales de maíz. Tesis de Maestría, Especialidad de Genética, Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx. 86 p.
- Romero P J, F Castillo G, R Ortega P (2002)** Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 107-115.
- SAS Institute (1994)** The SAS System for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Singh R K, B D Chaudhary (1985)** Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. 2nd. ed. Kalyani Publishers. New Delhi, India. 302 p.
- Sprague G F, L A Tatum (1942)** General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34: 923-932.
- Sprague G F, K W Finlay (1976)** Estado actual de los recursos genéticos vegetales y su utilización. Traducción del artículo "Current status of plant resources and utilization". The World Food Conference. Iowa State University. Ames, Iowa. Serie Translations and Reprints No. 19. CIMMYT. México, D.F. 5 p.

CAPÍTULO IV. HETEROSIS ENTRE POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ DEL ALTIPLANO DE MÉXICO CON DIFERENTE GRADO DE DIVERGENCIA GENÉTICA

RESUMEN

Con el objetivo de valorar la variación de la heterosis, así como potenciales patrones heteróticos en maíz, se evaluaron 15 poblaciones progenitoras originarias del área de distribución geográfica de la raza Chalqueño y sus 105 cruzamientos más otros grupos de genotipos adicionales, todos provenientes de Valles Altos de México. La siembra se realizó en el ciclo Primavera-Verano 2006 en Zotoluca, Apan, Hgo., Mixquiahuala, Hgo. y Texcoco, Edo. de México, bajo un diseño látice 12 x 12 con tres repeticiones. Se registraron 21 características, de las cuales se analizaron ocho y la heterosis se calculó con base en el progenitor medio. Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre localidades, entre grupos y entre poblaciones dentro de grupos para rendimiento, índice de grano, mazorcas por planta, diámetro de mazorca, longitud de grano, número de hileras por mazorca, días a floración masculina y altura de planta. Se detectó correlación significativa entre el rendimiento y sus componentes y entre rendimiento y altura de planta. Al considerar tanto el comportamiento *per se* alto, como los promedios de sus cruzas, sobresalen las poblaciones, Col-03-64, Col-6784 y F_{HCH}-129Fn de la raza Chalqueño y Gto-142, Zac-66, Tlax-151 y VS-22, variantes de la misma raza, presentaron la mayor expresión tanto en el rendimiento y sus componentes como en morfología y fenología. Hubo interacciones importantes entre las poblaciones progenitoras y patrones heteróticos sobresalientes, destacando varias combinaciones en que participan Oax-814 y Zac-66, en las que parece determinante el origen geográfico distante asociado a mayor divergencia genética.

Palabras clave: *Zea mays*, heterosis, cruzas dialélicas, patrones heteróticos, Chalqueño.

CHAPTER IV. HETEROSIS AMONG MAIZE NATIVE POPULATIONS FROM THE MEXICAN HIGHLANDS WITH DIFFERENT DEGREE OF GENETIC DIVERGENCE.

ABSTRACT

With the aim of assessing variation of heterosis, as well as identifying potential heterotic patterns in maize, 15 parental populations with origin in the geographic area of distribution of the Chalqueño race and its 105 crosses, as well as additional groups, all originated at the high valleys of Mexico, were field-evaluated in the spring-summer 2006 growing season at three locations: at Zotoluca, Apan, Hgo., Mixquiahuala, Hgo. and Texcoco, Edo. de Mexico; a 12 x 12 lattice design with three replicates was utilized. Twenty-one traits were registered and the more relevant eight were analyzed and heterosis computed on the basis of the mid-parent value. For grain yield, highly significant differences ($P \leq 0.01$) were observed among locations, among groups and among populations within groups for seed yield, grain index, ears per plant, ear diameter, grain length, number of rows per ear, days to male flowering and plant height. A significant correlation was detected between yield and yield components, and between yield and plant height. Taking into account a high response *per se*, as well as an outstanding average of their crosses, populations, Col-03-64, Col-6784 and F_{HCH}-129Fn from the Chalqueño race, and Gto-142, Zac-66, Tlax-151 and VS-22, variants from the same race, showed high values in yield and its components, as well as in morphological and phenological traits. There were important interactions among parental populations and outstanding heterotic patterns. Among the better crosses, participation of Oax-814 and Zac-66 was frequent, which could be determined by higher genetic divergence because these populations come from the Southern and Northern boundaries of the Chalqueño geographic area.

Key words: *Zea mays*, heterosis, diallelic crosses, heterotic patterns, Chalqueño.

INTRODUCCIÓN

La selección es un procedimiento de mejoramiento genético que se ha aplicado por siglos; en un principio, de manera empírica y en las últimas décadas, mediante procedimientos diseñados con base en los avances de la genética, lo cual permite aprovechar de mejor manera los efectos aditivos. Por este medio se han obtenido poblaciones cada vez más rendidoras; no obstante, es a través de los híbridos como se conjuntan, además de los efectos aditivos y las interacciones genéticas para puede aprovechar de mejor manera el potencial del ambiente (Reyes, 1985).

La heterosis o vigor híbrido, es la base del mejoramiento genético por hibridación. El fenómeno fue observado por primera vez por Darwin en 1871 (Wallace y Brown, 1956) y se define como la diferencia de vigor entre la F_1 de un híbrido y el promedio de sus progenitores. Las bases genéticas y la aplicación de heterosis fueron analizadas por primera vez en la reunión de Iowa en 1950 (Gowen, 1952) y por segunda vez en la Ciudad de México en 1997 (Coors y Pandey, 1999). La explicación de la heterosis se basa en las hipótesis de dominancia y de sobredominancia (Allard, 1999). En términos de acción génica la heterosis se debe principalmente a efectos de interacción entre alelos o dominancia (Crown, 1999); en forma operativa se calcula como la diferencia entre el valor fenotípico de la F_1 y el del progenitor medio o el del progenitor superior, y esta diferencia se expresa en porcentaje del progenitor medio o del progenitor superior (Falconer y Mackey, 1996). El primer caso se conoce como heterosis con respecto al progenitor medio y el segundo como heterosis con respecto al progenitor superior.

La heterosis es uno de los fenómenos biológicos que más interés ha despertado en la investigación dada su importancia en el mejoramiento de las plantas. Es el resultado del cruzamiento de progenitores no emparentados que da oportunidad de obtener híbridos superiores a sus progenitores. Moll *et al.* (1962) definieron a la heterosis como un fenómeno en el cual el híbrido resultante del cruzamiento de dos variedades es superior en crecimiento, tamaño, rendimiento y en vigor a éstas. Así mismo, señalan que en las cruzas intervartetales, en la medida que la divergencia genética entre los progenitores es mayor, también lo es la heterosis de la cruce; sin embargo, existe un

grado óptimo de divergencia genética donde la heterosis puede ser máxima, puesto que cuando la divergencia genética es extremadamente grande la heterosis se puede reducir (Moll *et al.*, 1965).

La divergencia genética es una condición necesaria, pero no suficiente para asegurar la expresión de la heterosis (Cress, 1966), pues los efectos positivos de la heterosis se han atribuido a efectos genéticos y de interacción, tales como acumulación de efectos aditivos, presencia de efectos de dominancia y sobredominancia, efectos epistáticos, e interacción genotipo ambiente (Reyes, 1985). Así, para aprovechar los efectos positivos de la heterosis en la formación de híbridos de maíz, primero se busca la identificación de bases germoplásmicas con potencial heterótico, continuándose con la selección y derivación de líneas hasta un nivel alto de homocigosis, y concluyendo con la formación de cruzas y su evaluación para identificar a aquellas de mayor rendimiento y adaptabilidad (Márquez, 1988).

La obtención de híbridos de alto rendimiento depende de la heterosis que se genera en el cruzamiento de los progenitores; en cruzas varietales en Estados Unidos de Norteamérica la heterosis varió de -3.6 a 72% (Hallauer y Miranda, 1988), y en cruzas de plasma germinal tropical por subtropical de México varió de -2.1 a 23.7% (Vasal *et al.*, 1992).

La heterosis para rendimiento de grano es atribuida a la heterosis para diferentes procesos fisiológicos que determinan al rendimiento de grano. Así, al estudiar doce híbridos de maíz y sus siete líneas endogámicas parentales se observó que la heterosis para rendimiento de grano podría ser atribuida a la heterosis para dos de sus componentes: el total de materia seca acumulada a la madurez y la proporción de materia seca que fue removilizada para la formación del grano (Tollenaar *et al.*, 2004).

No obstante la enorme variación del maíz en México clasificada en 59 razas (Sánchez *et al.*, 2000), las razas Tuxpeño, Celaya, Vandeño, Chalqueño y Cónico han sido las más utilizadas en el mejoramiento genético de esta especie (Roberts, 1950) y

en menor proporción las razas Cónico Norteño, Bolita, Pepitilla y Zapalote Chico (Gutiérrez y Luna, 1989; Gámez *et al.*, 1996). Específicamente el mejoramiento de maíz en Valles Altos de México está basado en poblaciones de la raza Chalqueño y Cónico que ocasionalmente se han cruzado con algunos materiales de las razas Celaya y Tuxpeño (Espinosa y Carballo, 1987). Sin embargo, dentro de la misma raza Chalqueño, considerando el área geográfica en donde se distribuye, pueden existir poblaciones con potencial genético importante que no han sido consideradas para ampliar la base genética en los programas de mejoramiento, por lo que se planteó el presente estudio con el objetivo de valorar la expresión de la heterosis en función del origen de las poblaciones progenitoras e identificar potenciales patrones heteróticos en el germoplasma disponible para Valles Altos factible de incorporarse a los programas de mejoramiento de maíz e incrementar la base genética existente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético. Se incluyeron poblaciones progenitoras que cubrieran los criterios siguientes: a) que su origen geográfico preferentemente estuviera limitado a los Valles Altos de México considerando la distribución geográfica de la raza Chalqueño, b) que tuvieran antecedentes como material sobresaliente en estudios previos y c) que tuvieran bajo nivel de mejoramiento genético; no obstante, se incorporaron algunas poblaciones con cierto grado de mejoramiento, como el caso de VS-22 como una versión mejorada de Mich-21 y F_{HCH}-129F_n como segregante de un híbrido de importancia en la década de los 1960's. Se consideró a una población de la raza Ancho porque los agricultores del Sureste del estado de México han adaptado introducciones de este tipo de material en los últimos lustros, y comparte área cultivada con Chalqueño en dicha región. Se incluyeron dos poblaciones (Urg-II y Arg-III) de la raza Cateto Sulino, seleccionadas en baja intensidad por alrededor de diez generaciones bajo las condiciones de Montecillo, Texcoco, Edo. de México, con la idea de valorar las relaciones entre divergencia genética y heterosis. Así, el material genético estuvo constituido y agrupado para su análisis por 15 poblaciones de maíz con diferente origen geográfico y sus 105 cruzas simples posibles, 14 cruzas simples adicionales, cuatro poblaciones progenitoras adicionales y seis híbridos comerciales como testigos

(Cuadro 4.1). Los últimos tres grupos están constituidos con material propio de Valles Altos de México y en particular el grupo de cruzas adicionales se formó tratando de representar a esta área, y de incluir algunos patrones heteróticos ya establecidos. La semilla de las poblaciones fue proporcionada por el Banco de Germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Colegio de Postgraduados.

Cuadro 4.1. Poblaciones progenitoras con las que se obtuvieron sus 105 cruzas posibles, cruzas adicionales e híbridos comerciales evaluados para valorar heterosis con diferente grado de divergencia. Primavera-Verano, 2006.

No Población	Edo/País	Municipio	Lat. N	Long. O	Alt. †	Raza	Referencias
Poblaciones progenitoras							
2	Hgo-4	Hgo.				Chalqueño	Gámez <i>et al.</i> , 1996
3	Dgo-189	Dgo.	El Mezquital	23° 28' 104° 22'	1440	Chalqueño	LAMP, 1991
5	Gto-208	Gto.	León	21° 16' 101° 34'	2419	Chalq-Celaya	Romero <i>et al.</i> , 2002
6	Gto-142	Gto.	SM Allende	20° 55' 100° 45'	1990	Chalq-Celaya	Romero <i>et al.</i> , 2002
7	Méx-633	E. Méx.	Tenango del A.	19° 09' 98° 01'	2410	Chalqueño	Romero <i>et al.</i> , 2002
8	Col-03-64	E. Méx.	Tepetlixpa	19° 16' 98° 49'	2393	Ancho	
9	Col-6784	E. Méx.	Chalco	19° 16' 98° 54'	2240	Chalqueño	Herrera <i>et al.</i> , 2004
10	F _{HC} H-129F _n	E. Méx.	Texcoco	19° 29' 98° 53'	2250	Chalqueño	Romero <i>et al.</i> , 2002
12	Zac-66	Zac.	Jerez	22° 38' 102° 58'	1900	Chalq-Cónico	LAMP, 1991
15	Oax-814	Oax.				Chalq-Cónico	LAMP, 1991
16	Jal-335	Jal.	Lagos de M.	21° 22' 101° 55'	2130	Chalq-Celaya	
18	Tlax-151	Tlax.	Cuapiaxtla	19° 18' 97° 45'	2483	Chalq-Cónico	Gámez <i>et al.</i> , 1996
20	Urg-II	Uruguay				Cateto Sulino	Castillo y Goodman, 1989
21	VS-22	Mich.	Zacapu	19° 31' 98° 53'	2353	Chalq-Cónico	Romero <i>et al.</i> , 2002
22	Arg-III	Argentina				Cateto Sulino	Castillo y Goodman, 1989
Prog. adic.							
Cruzas adicionales							
1	Qro-46 (1)	Qro-46(1)x Hgo-4(2)		Méx-581(17) x Col-6784(9)		H-28	
17	Méx-581	Dgo-189(3) x Qro-46(1)		Zac-66(12) x Méx-581(17)		H-33	
24	Pob-85 C4	Gto-142(6) x Qro-46(1)		Pob-85 C4(24) x Zac-66(12)		H-40	
25	Pob-800 C5	Méx-633(7) x Qro-46(1)		VS-22(21) x Pob-85 C4(24)		H-52	
		Qro-46(1) x Oax-814(15)		Pob-800 C5(25) x Méx-581(17)		H-64-E	
		Méx-581(17) x Dgo-189(3)		Pob-800 C5(25) x Tlax-151(18)		H-66-E	
		Méx-581(17) x Gto-208(5)		Pob-800 C5(25) x Oax-708(23)			

†Alt = Altitud (msnm), Lat = Latitud, Long = Longitud.

Obtención y evaluación de la F₁. Los cruzamientos entre los progenitores fueron realizados en el ciclo agrícola Primavera–Verano 2005 y Otoño–Invierno 2005-2006, en los Campos Experimentales Valle de México e Iguala, Gro., respectivamente, pertenecientes al INIFAP. La evaluación se realizó durante el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2006 en tres localidades, Zotoluca, Apan, Hgo., Mixquiahuala, Hgo. y Santa Lucía, Texcoco, Edo. de México (Cuadro 4.2). En las primeras dos localidades se sembró en terrenos de agricultores y en la tercera, en terrenos del Campo Experimental Valle de México. En las tres localidades se utilizó un diseño experimental de látice 12 x 12 con tres repeticiones. Las fechas de siembra fueron el 5, 9 y 10 de mayo de 2006 en Zotoluca, Mixquiahuala, y Santa Lucía, respectivamente. En las localidades de Mixquiahuala y Santa Lucía, la parcela experimental consistió de un surco de 5.5 m de largo por 0.8 m de ancho; mientras que en Zotoluca, fue de un surco de 4.5 m de largo y 0.8 m de ancho. Al momento de la siembra, se colocaron tres semillas cada 0.5 m, para finalmente aclarar a dos plantas, y con ello establecer una densidad de población de 50 mil plantas por hectárea.

Cuadro 4.2. Ubicación geográfica y características climatológicas de las localidades donde se realizó el estudio.

Localidad	Ubicación		Altitud (msnm)	Temp. Prom. (°C)	Precip. (mm)	Clima
	Lat. N	Long. O				
Zotoluca	19° 37'	98° 31'	2599	14.4	622.0	Subhúmedo templado
Mixquiahuala	20° 14'	99°12'	2050	17.0	509.0	Semiseco templado
Santa lucía	19° 26'	98°52'	2326	15.9	691.5	Semiseco templado

Fuente: García (1988).

Variables evaluadas. Se cuantificaron los días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), altura de planta (AP) y de mazorca (AM), número total de plantas (NTP), mazorcas por planta (MP), porcentaje de acame de raíz (PAR) y de tallo (PAT), número de hijos por planta (NHP), rendimiento de grano (REN), número total de mazorcas (NTM), porcentaje de mazorcas podridas (PMP), índice de grano (IG), longitud (LM) y diámetro (DM) de mazorca, largo (LGr) y ancho (AGr) de grano, diámetro de olote (DO), número de hileras por mazorca (NHM), número de granos por hilera (NGH) y peso hectolítrico (PHL).

Análisis estadísticos. Se utilizó el paquete SAS (SAS Institute, 1994) para realizar análisis de varianza, análisis de componentes principales y calcular la heterosis en porcentajes con respecto al promedio de los progenitores, utilizando la ecuación: $H_{p_{ij}} = \{[C_{ij} - (P_i + P_j)/2] / [(P_i + P_j)/2]\} \times 100$, donde $H_{p_{ij}}$ = heterosis en porcentaje, C_{ij} = valor de la cruce entre los progenitores i y j , P_i = valor del progenitor i , y P_j = valor del progenitor j . En el análisis de varianza, la variación entre los tratamientos se dividió en grupos (dialélico, progenitores, cruces adicionales, progenitores adicionales e híbridos comerciales testigo) y tratamientos dentro de grupo; la partición correspondiente se aplicó para la fuente de variación localidad x tratamiento.

El análisis de componentes principales se hizo con el propósito de elegir a las variables de mayor relevancia y menor colinealidad en la interpretación de los resultados, graficando las correlaciones de los dos primeros componentes principales con cada variable, información que junto con los coeficientes de determinación fue útil para elegir a las variables REN, IG, MP, DM, LGr, NHM, DFM y AP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis global. En el Cuadro 4.3, se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza combinado sobre las variables REN, IG, MP, DM, LGr, NHM, DFM y AP, que fueron elegidas mediante el análisis de componentes principales. Se aprecian diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre localidades, entre grupos y entre poblaciones (trat.) dentro de grupos para las variables REN, IG, MP, DM, LGr, NHM, DFM y AP, mientras que la interacción Loc x Grupo sólo resultó altamente significativa para REN y MP, y significativa para DM y AP. Entre poblaciones dentro de grupos hubo diferencias altamente significativas para todas las variables, y su interacción con localidad (Loc x Trat) mostró diferencias altamente significativas para las variables REN, MP, DM, LGr y DFM y significativas para AP.

Al observar las diferencias entre tratamientos dentro de cada grupo, en general, se detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) y significativas ($P \leq 0.05$) dentro de cada uno de los cinco grupos para las variables REN, IG, DM, LGr, NHM, DFM y

AP, mientras que MP en el grupo de los híbridos resultó no significativa (Cuadro 4.3). Las diferencias entre tratamientos dentro de cada grupo, considerando a la interacción con la localidad, resultaron significativas y altamente significativas para las variables DFM entre las cruzas del arreglo dialélico y entre progenitores adicionales, para REN, MP, DM, LGr entre las cruzas del arreglo dialélico y entre progenitores de dicho arreglo, para IG y LGr entre cruzas adicionales, no encontrándose significancia entre los híbridos comerciales para todas las variables, con excepción de DFM (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de la evaluación de cruzas entre poblaciones nativas del Altiplano de México para ocho variables. Tres localidades de Valles Altos de México. Primavera-Verano, 2006.

FV	GL	REN (t ha ⁻¹)	IG (%)	MP (Núm)	DM (cm)	LGr (cm)	NHM (Núm)	DFM (días)	AP (m)
Loc	2	268.68**	551.82**	5.17**	9.14**	2.56**	76.51**	59990.88**	19.59**
Rep (Loc)	6	17.46**	9.88**	0.05 ^{ns}	0.19*	0.09**	1.29 ^{ns}	207.62**	0.39**
Grupos	4	108.78**	54.04**	0.33**	4.80**	0.51**	130.64**	758.50**	2.13**
Trat (Grupo)	139	7.12**	23.63**	0.10**	1.02**	0.20**	20.94**	192.75**	0.32**
Trat (Dial.)	104	6.42**	17.20**	0.10**	0.84**	0.15**	20.07**	158.93**	0.23**
Trat (Prog.)	14	14.93**	72.27**	0.14**	2.68**	0.53**	44.08**	247.94**	0.85**
Trat (Cr. A.)	13	4.50**	18.99**	0.07**	0.73**	0.20**	10.61**	311.28**	0.23**
Trat (Prog. Adic.)	3	12.72**	50.62**	0.09*	2.04**	0.66**	4.48*	834.32**	1.30**
Trat (Hib.)	5	3.18*	16.85**	0.05 ^{ns}	0.30**	0.12**	10.74**	48.70**	0.28**
Loc*Grupo	8	4.15**	5.19 ^{ns}	0.09**	0.18*	0.02 ^{ns}	1.42 ^{ns}	16.61 ^{ns}	0.07*
Loc*Trat (Grupo)	278	2.53**	4.02 ^{ns}	0.04**	0.12**	0.02**	1.51 ^{ns}	14.49**	0.04*
Loc*Trat (Dial.)	208	2.43**	3.60 ^{ns}	0.04**	0.12**	0.02**	1.60 ^{ns}	13.08**	0.04 ^{ns}
Loc*Trat (Prog.)	28	5.16**	6.01*	0.06**	0.18**	0.03**	1.27 ^{ns}	11.53 ^{ns}	0.06**
Loc*Trat (Cr. A.)	26	1.56 ^{ns}	5.73*	0.03 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.03**	0.97 ^{ns}	10.15 ^{ns}	0.03 ^{ns}
Loc*Trat (Prog.A)	6	1.31 ^{ns}	3.16 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2.89 ^{ns}	91.88**	0.04 ^{ns}
Loc*Trat (Hib)	10	0.59 ^{ns}	3.14 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.86 ^{ns}	17.12*	0.03 ^{ns}
Error	858	1.25	3.57	0.03	0.09	0.02	1.62	9.31	0.03
Total	1295								
CV		19.60	2.10	16.00	5.8	10.7	8.6	3.4	7.1

GL= Grados de libertad; REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= días a floración masculina; AP= Altura de planta; CV= Coeficiente de variación.

Análisis por grupos. En promedio de las tres localidades, el grupo de los híbridos comerciales fue superior para seis de las ocho características, mientras que para DFM

y AP la mayor expresión correspondió al grupo de las cruzas dialélicas y al de sus progenitores (Cuadro 4.4). El grupo de las cruzas dialélicas y el de cruzas adicionales siguieron en orden de importancia en la expresión de las variables REN, IG, MP, DM, LGr, NHM, DFM y AP; los grupos de progenitores y progenitores adicionales presentaron la menor expresión en general para las variables consideradas. Al comparar al grupo de las cruzas dialélicas con el de sus progenitores, se observó superioridad del primero con respecto al segundo en la expresión de todas las variables (Cuadro 4.4). La heterosis promedio para REN fue de 31%, mientras que para los componentes de rendimiento fue menor: 9.4, 5.8, 4.2, 1.0% y 1.0% para MP, LGr, DM, IG y NHM, respectivamente; así mismo, para AP fue de 3.2% y para DFM de -1.8%.

Cuadro 4.4. Valores promedio por grupo de poblaciones del altiplano mexicano y sus cruzamientos para las ocho características consideradas. Tres localidades. Primavera-Verano, 2006.

Grupo	REN (t ha ⁻¹)	IG (%)	MP (Núm)	DM (cm)	LGr (cm)	NHM (Núm)	DFM (días)	AP (m)
Cruzas Dialélicas	5.90b	88.10a	1.05a	5.16b	1.27a	14.65c	89.83b	2.56a
Prog. de Cruzas Dialélicas	4.50c	87.29b	0.96b	4.95c	1.20b	14.49c	91.45a	2.48a
Cruzas Adicionales	5.72b	88.20a	1.01a	5.16b	1.28a	15.77b	87.83c	2.43b
Prog. de Cruzas Adicionales	3.73d	86.14c	0.95b	4.69d	1.07c	15.41b	88.19c	2.26c
Híbridos Comerciales	6.79a	88.44a	1.08a	5.49a	1.30a	17.40a	83.41d	2.27c
DSH _(0.05)	0.87	0.82	0.07	0.13	0.06	0.55	3.00	0.13

REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= días a floración masculina; AP= Altura de planta; DSH= Diferencia significativa honesta.

Análisis por localidad y grupo. Las variables REN, IG, MP, DM, LGr, NHM y AP mostraron mayor expresión en Santa Lucía en promedio de los 144 genotipos de los cinco grupos, situación observada para DFM en Zotoluca. En la interacción Loc x Grupo, las variables REN y MP resultaron altamente significativas, por lo que al analizar las medias por grupo en cada localidad, se observó que el grupo de los

híbridos comerciales alcanzó rendimientos de 7.51, 6.81 y 6.04 t ha⁻¹, mientras que el de las cruzas dialélicas de 6.88, 5.49 y 5.32 t ha⁻¹ en las localidades de Santa Lucía, Zotoluca y Mixquiahuala, respectivamente (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Valores promedio por grupo de poblaciones del altiplano mexicano y sus cruzas en cada localidad para las variables de mayor relevancia. Primavera-Verano, 2006.

Grupo	REN (t ha ⁻¹)	IG (%)	DM (cm)	MP (Núm)	LGr (cm)	NHM (Núm)	DFM (días)	AP (m)
Zotoluca, Apan, Hgo.								
Cruzas Dialélicas	5.49	86.75	4.97	1.04	1.18	14.49	103.21	2.50
Prog. de Cruzas Dialélicas	4.55	86.01	4.85	0.98	1.13	14.52	105.16	2.39
Cruzas Adicionales	5.44	86.91	5.02	1.03	1.19	15.83	101.31	2.32
Prog. Cruzas Adicionales	4.25	84.73	4.54	1.02	1.00	15.06	102.92	2.13
Híbridos Comerciales	6.81	87.84	5.49	1.17	1.25	16.91	96.11	2.20
Promedio general	5.31	86.45	4.97	1.05	1.15	15.36	101.74	2.31
Mixquiahuala, Hgo.								
Cruzas Dialélicas	5.32	88.72	5.21	0.93	1.34	14.33	85.06	2.38
Prog. de Cruzas Dialélicas	3.86	87.59	4.98	0.90	1.24	14.09	85.64	2.33
Cruzas Adicionales	5.27	89.27	5.15	0.90	1.32	15.22	83.02	2.30
Prg. de Cruzas Adicionales	2.60	86.73	4.75	0.83	1.10	15.45	83.50	2.18
Híbridos Comerciales	6.04	88.84	5.42	0.96	1.33	17.21	79.22	2.18
Promedio general	4.62	88.23	5.10	0.90	1.27	15.26	83.29	2.27
Santa Lucía, Texcoco, Edo. de México								
Cruzas Dialélicas	6.88	88.82	5.28	1.17	1.30	15.13	81.21	2.81
Prog. de Cruzas Dialélicas	5.08	88.28	5.02	1.01	1.23	14.87	83.56	2.72
Cruzas Adicionales	6.45	88.43	5.31	1.10	1.33	16.27	79.14	2.68
Prog. Cruzas Adicionales	4.34	86.96	4.78	1.02	1.11	15.72	78.17	2.47
Híbridos Comerciales	7.51	88.64	5.56	1.12	1.33	18.07	74.89	2.43
Promedio general	6.05	88.23	5.19	1.08	1.26	16.01	79.39	2.62
DSH _(0.05) Grupos	0.87	0.82	0.13	0.07	0.06	0.55	3.00	0.13
DSH _(0.05) Localidades	0.48	0.66	0.09	0.05	0.06	0.24	1.32	0.08

REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= Días a floración masculina; AP= Altura de planta; DSH= Diferencia significativa honesta.

Heterosis en rendimiento de grano (REN). Se observó que el rendimiento de grano presentó correlación positiva y altamente significativa (**) con sus componentes DM (0.47), LGr (0.43), IG (0.34) y MP (0.32) así como también con AP (0.33), y DFM (0.12).

En el Cuadro 6 se presentan las medias a través de los tres ambientes de evaluación de cada una de las cruzas y la heterosis porcentual con respecto al promedio de los progenitores para REN. Las poblaciones progenitoras con valor *per se* más alto fueron Gto-142, Col-03-64, Col-6784 y F_{HCH}-129F_n (entre 5.7 y 6.1 t ha⁻¹), mientras que el REN promedio a través de sus cruzas fue superior para las poblaciones Gto-208, Gto-142, Col-6784, F_{HCH}-129F_n, Zac-66, Oax-814, Tlax-151 y VS-22 (Mich-21) (entre 6.0 y 6.5 t ha⁻¹), siendo notoria la respuesta de las poblaciones Oax-814 y Zac-66, dado que como poblaciones presentaron rendimiento *per se* bajo (± 3.5 t ha⁻¹), pero en promedio de sus cruzas fueron sobresalientes. La heterosis en promedio global fue de 34%, porcentaje relevante ya que es superior al reportado por Vasal *et al.* (1995) en su evaluación sobre heterosis en germoplasma de maíz de Valles Altos. Por otra parte, en términos de heterosis general, los resultados obtenidos para REN en este trabajo son superiores a los reportados por Romero *et al.*, (2002), ya que obtuvo heterosis global con respecto al progenitor medio de 14.6%.

Debido a la estructura de la ecuación que la estima, el valor de la heterosis tiende a ser grande cuando alguno de los progenitores presenta un comportamiento pobre; de modo que Urg-II y Arg-III presentaron en promedio alta heterosis pero el rendimiento de sus cruzas es intermedio. El énfasis sobre las poblaciones Oax-814 y Zac-66 obedece a que su heterosis promedio, del orden del 50%, está asociado a la ocurrencia de al menos tres cruzamientos sobresalientes como resultado del mayor contraste en divergencia genética, mientras que las heterosis promedio para los otros progenitores sobresalientes fluctuó entre 22.8 y 33%. Por otra parte, se considera que el rendimiento promedio de las cruzas de las poblaciones Gto-142, Col-6784, F_{HCH}-129F_n y VS-22 (Mich-21) fue el más alto porque al buen comportamiento del progenitor se agrega el efecto de interacción, dando como resultado heterosis general alta, además de la excelente calidad de tallo y raíz que éstas presentaron. La población Mich-21, representada por la versión VS-22, ha sido de uso intenso en los programas de mejoramiento genético del altiplano de México; con esta información específica sobre las poblaciones en el estudio, se puede considerar que la población Gto-142, Col-6784 y F_{HCH}-129F_n pueden de manera directa ampliar la base de diversidad en los

programas de mejoramiento en Valles Altos; además, al considerar su origen geográfico puede estudiarse la posible detección de mejores materiales.

En el comportamiento de cruzamientos de manera individual la componente de interacción es importante, de modo que es deseable que un buen cruzamiento presente tanto efectos aditivos como de interacción positiva en grado óptimo. Es notable también, que en el grupo de cruzamientos superiores a los testigos comerciales participaron poblaciones progenitoras con origen geográfico divergente, factor que determinó la expresión heterótica promedio sobresaliente.

La cruce de mayor rendimiento fue la $F_{HC}H-129F_n \times Oax-814$ con 7.9 t ha^{-1} , que también tuvo un porcentaje de heterosis importante (66%) pero sin llegar al máximo registrado en el conjunto de cruces; la estimación de esta heterosis estuvo favorecida por el rendimiento bajo de la población Oax-814, considerándose dentro de un nivel aceptable ya que dos progenitores sobresalientes por su rendimiento promedio muestran heterosis porcentual importante (Cuadro 4.6).

En la Figura 1 se muestra el rendimiento de grano dividido en progenitor medio y heterosis, que corresponde a las cruces dialélicas de mayor rendimiento promedio y su heterosis porcentual correspondiente, así como la cruce VS-22 x Pob-85-C4 referida como uno de los patrones heteróticos que actualmente se han utilizado en la generación de híbridos comerciales para Valles Altos. Otro caso semejante es el cruzamiento VS-22 x Tlax-151, usado como patrón heterótico en híbridos de liberación reciente como el H-64E y H-66E, generados por el INIFAP para las condiciones de Valles Altos de México, por lo que el gráfico muestra la existencia de patrones heteróticos superiores a los ya identificados.

Es notoria la participación frecuente de Oax-814 y Zac-66 en los cruzamientos sobresalientes, lo que se relaciona con la ubicación latitudinal de dichas poblaciones ya que se ubican en los extremos del área de distribución de la raza Chalqueño.

Cuadro 4.6. Medias de rendimiento de grano ($t \cdot ha^{-1}$) (REN) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras *per se* (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.

Prog	2	3	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	21	22	Prom
Hgo-4 (2)	3.8	40.8	29.3	28.3	42.9	27.9	19.4	31.3	41.4	39.5	21.1	34.0	61.2	25.5	82.2	37.5
Dgo-189 (3)	5.3	3.6	45.9	25.7	42.2	13.6	12.5	48.1	27.0	46.5	16.1	43.2	68.0	47.7	43.2	37.2
Gto-208 (5)	5.5	6.1	4.7	24.5	19.7	20.7	9.4	14.4	34.7	62.0	8.2	30.1	52.4	33.1	83.6	33.4
Gto-142 (6)	6.0	5.9	6.4	5.7	31.0	32.6	14.4	7.8	27.4	54.0	7.8	31.8	55.1	23.5	39.2	28.8
Méx-633 (7)	6.0	6.0	5.6	6.8	4.7	16.9	12.6	6.6	48.7	18.3	31.1	0.6	36.0	21.3	46.1	26.7
Col-03-64 (8)	6.1	5.4	6.3	7.6	6.1	5.8	2.2	11.3	28.6	29.5	9.4	-39.3	30.0	32.6	8.5	16.0
Col-6784 (9)	5.9	5.5	5.9	6.7	6.0	6.1	6.0	5.4	51.9	57.9	-5.1	16.2	53.0	8.7	60.8	22.8
F _{HC} H-129F _n (10)	6.4	7.2	6.1	6.3	5.7	6.6	6.4	6.1	42.0	66.3	-0.3	5.3	48.9	24.3	30.1	24.4
Zac-66 (12)	5.1	4.5	5.5	5.8	6.0	6.0	7.2	6.7	3.4	59.2	65.1	40.2	85.7	59.6	98.8	50.7
Oax-814 (15)	5.0	5.3	6.6	7.0	4.8	6.0	7.5	7.9	5.5	3.5	28.4	58.5	80.8	37.2	83.2	51.5
Jal-335 (16)	5.4	5.2	5.3	5.8	6.5	6.0	5.3	5.6	7.1	5.5	5.2	25.7	51.8	25.6	35.3	22.9
Tlax-151 (18)	6.1	6.5	6.5	7.2	5.0	3.4	6.6	6.0	6.1	7.0	6.6	5.3	19.5	29.4	51.5	24.8
Urg-II (20)	5.0	5.2	5.5	6.3	4.9	5.4	6.5	6.4	5.5	5.4	5.8	4.7	2.3	29.3	27.9	50.0
VS-22 (21)	5.7	6.6	6.6	6.7	6.0	7.4	6.1	7.0	6.9	6.0	6.6	6.8	5.0	5.3	40.5	31.3
Arg-III (22)	5.5	4.3	6.4	5.5	5.1	4.4	6.7	5.4	5.7	5.3	5.0	5.8	3.1	5.3	2.3	52.2
Promedio	5.6	5.6	6.0	6.5	5.7	5.9	6.3	6.4	6.0	6.1	5.8	6.0	5.3	6.3	5.2	5.9/34.0

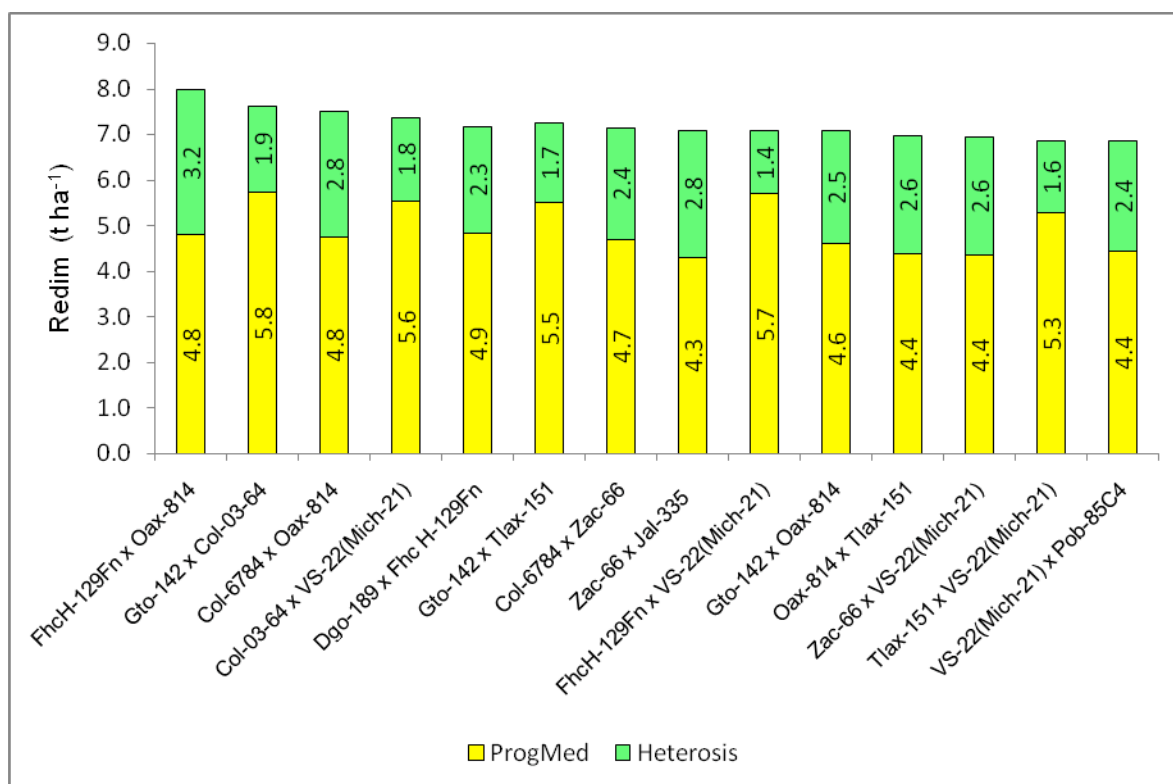


Figura 4.1. Rendimiento (progenitor medio y heterosis) de cruzas sobresalientes con relación a los patrones heteróticos VS-22 x Pob-85 C4 y Tlax-151 x VS-22. Primavera-Verano. 2006.

Heterosis en componentes del rendimiento. Entre los componentes de rendimiento se detectó asociación importante y altamente significativa de LGr con DM (0.82), IG (0.57) y con NHM (0.38), así como DM con IG (0.27) y con NHM (0.54). De acuerdo con la relación que guardan dichas características y la heterosis general promedio, se consideró a MP dentro de los de mayor relevancia de acuerdo con el valor promedio de heterosis alcanzado (9.2%), seguido por LGr y DM con heterosis de 6.9 y 4.4%, respectivamente.

En cuanto a MP, las poblaciones Col-6784, Zac-66 y Oax-814 tuvieron valores *per se* bajos, sin embargo, los promedios a través de sus cruzas fueron sobresalientes, lo que derivó en un considerable porcentaje de heterosis promedio para cada una de las poblaciones (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.7. Medias de mazorcas por planta (MP) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras *per se* (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.

Prog	2	3	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	21	22	Prom
Hgo-4 (2)	0.98	0.61	7.51	-5.32	11.51	1.69	17.65	6.00	16.17	21.55	1.14	3.37	7.32	7.96	-1.66	6.7
Dgo-189 (3)	0.90	0.83	21.26	12.00	10.52	3.65	5.72	21.93	3.90	9.53	-3.06	22.42	17.89	19.02	5.96	10.2
Gto-208 (5)	1.03	1.08	0.94	8.11	2.47	9.20	10.67	1.53	2.44	11.24	-1.74	5.14	16.77	7.51	26.98	9.2
Gto-142 (6)	0.99	1.09	1.11	1.11	7.35	3.70	10.30	1.89	-0.56	12.95	-3.19	7.37	17.04	2.13	2.59	4.9
Méx-633 (7)	1.02	0.93	0.92	1.06	0.86	1.21	2.81	5.82	21.80	8.23	11.51	-7.78	7.19	17.57	5.88	7.4
Col-03-64	1.00	0.88	1.06	1.01	0.91	0.99	10.39	-4.47	25.00	14.29	0.56	-6.15	5.46	11.86	-3.29	4.0
Col-6784	1.00	0.82	0.92	1.01	0.81	0.94	0.72	-1.69	44.45	27.85	1.96	9.67	29.08	3.27	31.65	14.6
F _{Hc} H-129F _n	1.18	1.27	1.11	1.20	1.11	1.07	0.97	1.24	12.04	19.03	-1.00	10.89	4.26	6.00	-0.49	4.3
Zac-66 (12)	1.08	0.89	0.93	0.99	1.06	1.17	1.16	1.19	0.88	16.28	16.17	13.61	34.20	30.53	26.74	18.8
Oax-814	1.22	1.02	1.10	1.21	1.02	1.16	1.12	1.36	1.11	1.03	3.86	15.85	21.89	9.39	16.13	14.9

Jal-335 (16)	0.99	0.88	0.94	1.01	1.02	0.99	0.87	1.10	1.08	1.04	0.98	5.61	6.10	6.81	-0.55	3.2
Tlax-151																
(18)	1.02	1.12	1.02	1.13	0.86	0.93	0.94	1.00	1.07	1.18	1.04	1.00	12.05	14.60	8.20	6.6
Urg-II (20)	0.98	0.99	1.04	1.14	0.91	0.97	1.01	1.09	1.16	1.14	0.97	1.03	0.84	9.76	0.59	13.5
VS-22 (21)	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.10	0.88	1.18	1.21	1.10	1.04	1.13	1.00	0.98	6.08	10.9
Arg-III (22)	0.99	0.99	1.26	1.10	1.00	0.98	1.16	1.13	1.21	1.20	1.00	1.10	0.94	1.07	1.03	8.9
Promedio	1.03	1.00	1.04	1.08	0.98	1.01	0.97	1.14	1.09	1.14	1.00	1.04	1.03	1.07	1.08	1.0/9.2

Como progenitores Zac-66 y Oax-814 presentaron heterosis promedio de 18.8 y 14.9%, respectivamente, heterosis que pudiera atribuirse a la mayor divergencia genética al ser originarias de los extremos del área geográfica de distribución del Chalqueño. Las poblaciones que siguieron en orden de importancia por la heterosis promedio que tuvieron fueron Col-6784 y VS-22 (Mich-21) con 14.6 y 10.9%, respectivamente, comportamiento que indica en todos los casos una reducción importante en el número de plantas sin mazorca, lo que finalmente contribuirá al incremento del rendimiento de grano; y es así que de los cruzamientos sobresalientes para REN, en esta variable tuvieron valores de heterosis positivos y de magnitud relevante (6 a 44%).

Para LGr, las poblaciones típicas de Chalqueño como Col-6784, Méx-633 y VS-22 (Mich-21) y la de Ancho (Col-03-64) presentaron los valores *per se* más altos (1.4 a 1.6 cm); en promedio de sus cruzamientos presentaron también valores sobresalientes a los que se agrega Zac-66, Oax-814 y Dgo-189 con buenas respuestas heteróticas, función de la divergencia genética, destacando para esta variable la población Dgo-189 con buena respuesta en sus cruza y heterosis promedio de 7.6%.

Los cruzamientos señalados en la Figura 1 como sobresalientes, presentan para LGr heterosis relevante que va del 1 al 19%, a excepción de tres cruzamientos donde la heterosis fue negativa, situación que se atribuye a la participación de VS-22 (Mich-21) como progenitor y que al combinarse con poblaciones de grano grande su heterosis resultó negativa y de bajo valor (Cuadro 4.8).

Cuadro 4.8. Medias de longitud de grano (LGr, cm) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras *per se* (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.

Prog	2	3	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	21	22	Prom
Hgo-4 (2)	1.04	8.42	-1.66	13.01	0.00	4.23	-2.66	3.43	0.93	5.91	4.50	7.58	22.98	0.92	33.54	7.2
Dgo-189 (3)	1.22	1.21	13.97	7.44	7.57	3.13	6.64	3.67	-0.44	10.74	10.56	5.75	26.13	1.29	1.40	7.6
Gto-208 (5)	1.15	1.43	1.30	-2.90	0.58	0.81	5.41	-4.23	0.21	11.47	-3.78	4.05	13.28	-0.62	12.36	3.5
Gto-142 (6)	1.26	1.28	1.21	1.18	3.61	10.74	10.04	13.58	11.95	7.47	9.18	0.90	32.76	5.20	15.10	9.9
Méx-633 (7)	1.31	1.50	1.45	1.43	1.58	1.64	-4.00	-9.43	-3.05	5.55	-8.63	3.46	17.15	-9.74	23.88	2.0
Col-03-64 (8)	1.30	1.37	1.39	1.46	1.54	1.46	-3.22	2.20	-9.78	3.44	-5.76	3.43	3.77	-3.72	13.50	1.3
Col-6784 (9)	1.22	1.43	1.46	1.46	1.47	1.42	1.47	4.16	7.54	16.49	2.86	2.80	19.50	-1.94	3.72	4.8
F _{Hc} H-129F _n																
(10)	1.09	1.18	1.13	1.28	1.20	1.29	1.32	1.07	3.48	17.26	6.28	6.32	40.67	-3.40	10.91	6.8
Zac-66 (12)	1.19	1.26	1.32	1.41	1.41	1.26	1.51	1.24	1.33	-2.50	19.34	1.69	13.90	-4.51	3.44	3.0
Oax-814 (15)	1.14	1.29	1.35	1.24	1.43	1.33	1.51	1.28	1.19	1.12	4.08	4.80	40.66	11.31	7.06	10.3
Jal-335 (16)	1.09	1.25	1.13	1.22	1.21	1.18	1.30	1.13	1.42	1.13	1.06	1.64	27.38	2.05	12.80	5.9
Tlax-151 (18)	1.26	1.33	1.36	1.26	1.49	1.33	1.43	1.26	1.34	1.27	1.20	1.31	23.24	3.31	22.78	6.1
Urg-II (20)	1.10	1.23	1.16	1.28	1.37	1.14	1.33	1.28	1.18	1.32	1.15	1.27	0.75	5.21	8.42	21.1
VS-22 (21)	1.22	1.31	1.33	1.35	1.34	1.37	1.40	1.18	1.29	1.39	1.24	1.39	1.12	1.38	8.01	1.0
Arg-III (22)	1.21	1.00	1.16	1.12	1.46	1.26	1.16	1.02	1.08	1.01	1.03	1.27	0.82	1.16	0.77	12.6
Prom	1.20	1.29	1.29	1.30	1.40	1.33	1.39	1.21	1.29	1.28	1.19	1.32	1.20	1.29	1.13	1.3/6.9

Con respecto a DM, Col-6784 y Méx-633, poblaciones típicas de Chalqueño del sureste del estado de México presentaron el mayor valor *per se*, sobresaliendo también por el porcentaje de heterosis promedio que alcanzaron; de la misma forma, destacaron las poblaciones Gto-142, Tlax-151, Oax-814 y Dgo-189, donde sus cruzamientos en la mayoría de los casos resultaron sobresalientes en heterosis (Cuadro 4.9). De acuerdo con dicho comportamiento, es importante destacar que tanto para el tamaño de grano como para grosor de mazorca, las poblaciones de la raza Chalqueño fueron las que influenciaron la expresión sobresaliente a través de sus cruzas, y las que aportaron incrementando la heterosis de forma significativa fueron las pertenecientes a las variantes de dicha raza.

En términos generales, tanto para rendimiento de grano como para sus componentes, las poblaciones Urg-II y Arg-III mostraron bajo comportamiento *per se*, además de un bajo promedio a través de sus cruzas. Al analizar la heterosis de los cruzamientos se observaron porcentajes relevantes que llevaron a que la heterosis promedio de dichas poblaciones fuera de las más sobresalientes, lo que permite corroborar la hipótesis de que a mayor divergencia genética mayor heterosis; sin embargo, por presentar tanto valores *per se* como promedios bajos no es factible considerarlas en primera instancia como patrones heteróticos útiles, ya que el comportamiento sobresaliente en heterosis se debe a la baja expresión que tuvieron como progenitores en cada uno de los cruzamientos.

Cuadro 4.9. Medias de diámetro de mazorca (DM, cm) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras *per se* (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.

Prog	2	3	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	21	22	Prom
Hgo-4 (2)	4.79	2.27	-1.57	7.80	-0.11	3.90	-1.05	-0.23	-5.51	-0.59	3.93	3.02	10.54	2.89	14.32	2.83
Dgo-189 (3)	5.01	5.01	3.94	5.01	4.38	5.78	3.09	1.76	4.29	8.67	8.23	4.71	15.54	1.31	5.51	5.32
Gto-208 (5)	4.89	5.28	5.14	-1.29	-0.95	3.55	2.85	-3.25	1.41	4.90	-1.19	4.65	8.89	2.79	13.24	2.71
Gto-142 (6)	5.38	5.36	5.10	5.19	3.26	8.25	4.66	3.45	5.94	3.75	5.72	0.54	17.44	8.33	6.40	5.66
Méx-633 (7)	5.08	5.42	5.21	5.46	5.38	2.95	1.50	-4.55	0.00	3.34	-2.33	1.06	10.47	-1.15	10.07	2.00
Col-03-64 (8)	5.18	5.39	5.34	5.61	5.43	5.18	1.73	0.76	-1.73	5.23	-1.30	0.43	1.84	3.10	15.33	3.56
Col-6784 (9)	5.22	5.56	5.61	5.73	5.66	5.57	5.77	-2.86	3.38	6.11	-0.31	2.96	15.70	1.01	2.94	2.98
F _{Hc} H-129F _n (10)	4.94	5.16	4.97	5.33	5.01	5.19	5.29	5.12	-0.33	3.09	-2.28	3.14	20.30	-1.50	3.92	1.53
Zac-66 (12)	4.67	5.27	5.19	5.44	5.23	5.04	5.61	5.09	5.09	-1.38	9.80	6.09	4.35	3.77	2.79	2.35
Oax-814 (15)	4.67	5.22	5.11	5.08	5.16	5.14	5.50	5.01	4.78	4.60	2.29	5.02	21.42	6.91	7.53	5.45
Jal-335 (16)	5.14	5.48	5.07	5.44	5.12	5.08	5.42	5.00	5.60	4.97	5.11	0.65	11.03	3.77	7.59	3.26
Tlax-151 (18)	5.11	5.31	5.38	5.19	5.31	5.18	5.61	5.29	5.42	5.11	5.16	5.13	14.46	4.19	19.19	5.01
Urg-II (20)	4.78	5.12	4.90	5.31	5.10	4.60	5.57	5.40	4.67	5.13	4.98	5.14	3.86	4.90	4.58	11.53
VS-22 (21)	5.14	5.18	5.32	5.63	5.23	5.36	5.54	5.09	5.34	5.24	5.36	5.39	4.76	5.21	7.88	3.44
Arg-III (22)	4.83	4.58	4.99	4.71	4.98	5.10	4.86	4.57	4.50	4.44	4.72	5.24	3.93	4.79	3.67	8.66
Prom	5.00	5.24	5.17	5.34	5.24	5.23	5.48	5.10	5.13	5.04	5.18	5.27	4.96	5.24	4.73	5.2/4.4

Heterosis en la floración y altura de planta (DFM y AP). Se detectó asociación altamente significativa entre ambas variables (0.48), pero AP fue la que mejor correlacionó con DM (0.51), LGr (0.46) y REN (0.32), de tal forma que dependiendo del objetivo del mejoramiento, tanto el comportamiento bajo como el alto en estas características ha sido de consideración para la generación de híbridos comerciales de maíz. El Cuadro 4.10 contiene los valores *per se* de las poblaciones progenitoras y los promedios y heterosis de sus cruzas para DFM, obteniéndose promedio y heterosis general de 89.8 días después de la siembra y -1.8%, respectivamente. Por el alto valor *per se* destacaron Dgo-189, Gto-208, Gto-142, Col-03-64 y F_{HCH}H-129F_n, y por el mayor promedio a través de sus cruzas Gto-208, Col-03-64 y F_{HCH}H-129F_n; sin embargo, al analizar la heterosis promedio, sólo Tlax-151 tuvo heterosis positiva en un nivel muy bajo (Cuadro 10). El 30.5% de las cruzas dialélicas tuvieron heterosis positiva y dentro de estas, las de mayor valor promedio en DFM fueron F_{HCH}H-129F_n x Jal-335 y Dgo-189 x F_{HCH}H-129F_n con heterosis de 3.4 y 0.9%, respectivamente.

Al analizar las cruzas individuales, se observó que F_{HCH}H-129F_n fue la de mayor influencia para determinar el mayor número de días a floración en los cruzamientos sobresalientes, la cual en su origen participó germoplasma de los estados de Méx. e Hgo. y pertenece a la raza Chalqueño. El comportamiento sobresaliente de la población se detectó al cruzarse con las poblaciones pertenecientes a las variantes de Chalqueño, como son Dgo-189, Gto-208, Zac-66, Oax-814, Jal-335 y VS-22 (Mich-21), principalmente. Para esta variable en particular, se detectó heterosis promedio negativa en 14 de las 15 población, lo que indica que en su mayoría la progenie redujo de manera importante el número de días a floración masculina, y con esto el ciclo de cultivo; es decir, el valor promedio de las cruzas fue menor que el promedio de los progenitores, lo cual es consistente con la heterosis promedio y heterosis de cruzas sobresalientes registrada para REN. La característica de precocidad es de importancia para los programas de mejoramiento genético ya que la heterosis tiende a aumentar precocidad.

Cuadro 4.10. Medias de días a floración masculina (DFM) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras *per se* (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.

Prog	2	3	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	21	22	Prom
Hgo-4 (2)	83.0	-7.6	-3.7	-6.4	-4.7	-3.9	-3.1	-3.5	-2.0	-1.0	-3.3	-3.6	-3.9	-5.5	4.2	-3.4
Dgo-189 (3)	81.9	94.3	-5.9	-6.1	-7.3	0.5	-1.4	0.9	-4.6	-1.5	-1.6	1.2	-2.1	-7.4	-5.0	-3.4
Gto-208 (5)	87.3	90.7	98.3	-4.8	-2.8	-3.5	-1.6	-2.8	-1.5	-2.3	-2.6	0.2	-1.8	-6.6	0.6	-2.8
Gto-142 (6)	84.0	89.7	92.8	96.6	-8.0	-5.3	-4.0	-4.6	-4.8	-5.3	-0.2	-4.8	0.2	-5.5	-8.6	-4.9
Méx-633 (7)	81.1	84.1	90.2	84.6	87.2	-5.4	-0.7	3.3	-2.9	2.3	-2.1	-1.9	4.1	3.2	8.9	-1.0
Col-03-64 (8)	85.3	94.9	93.1	90.4	86.0	94.6	-2.8	-3.1	2.2	0.9	0.2	5.7	-4.2	-5.4	4.9	-1.4
Col-6784 (9)	84.6	91.7	93.4	90.3	88.8	90.4	91.6	-3.4	-1.5	3.8	1.2	1.5	4.9	-3.4	-2.1	-0.9
F _{Hc} H-129F _n (10)	89.0	98.8	97.1	94.4	97.4	95.0	93.2	101.4	-2.7	-0.6	3.4	-2.2	2.6	0.7	-3.3	-1.1
Zac-66 (12)	85.4	88.6	93.4	89.4	86.7	95.0	90.1	93.8	91.3	-1.7	-1.3	0.5	2.0	-2.4	2.2	-1.3
Oax-814 (15)	87.2	92.3	93.6	89.9	92.3	94.8	95.9	96.8	90.7	93.2	0.4	-1.7	2.3	-2.5	-2.6	-0.7
Jal-335 (16)	83.9	90.9	91.9	93.3	87.0	92.7	92.1	99.2	89.7	92.2	90.4	1.2	-0.5	-4.6	-2.1	-0.8
Tlax-151 (18)	79.9	89.6	90.7	85.3	83.3	93.7	88.4	90.0	87.4	86.4	87.6	82.7	2.2	-2.6	6.7	0.2
Urg-II (20)	82.7	89.8	92.0	93.0	91.8	88.0	94.8	97.8	92.0	93.2	89.3	87.8	89.1	-9.2	-4.7	-0.6
VS-22 (21)	82.1	85.7	88.3	88.6	91.9	87.7	88.1	96.8	88.9	89.7	86.4	84.4	81.7	90.8	-3.5	-3.9
Arg-III (22)	88.7	86.2	93.3	84.0	95.0	95.3	87.6	91.2	91.2	87.9	87.0	90.7	84.0	85.9	87.2	-0.3
Promedio	84.5	89.6	92.0	89.3	88.6	91.6	90.7	95.0	90.2	91.6	90.2	87.5	89.8	87.6	89.1	89.8/-1.8

En el Cuadro 4.11 se muestran los valores promedio y heterosis porcentual de las cruzas dialélicas para AP. El valor promedio y heterosis general fue 2.6 m y 3.6%, respectivamente, y las poblaciones que tuvieron tanto valores *per se* altos como promedios sobresalientes a través de sus cruzas fueron Dgo-189, Gto-208, Méx-633, Col-03-64, Col-6784, F_{HCH}-129F_n, Oax-814 y Jal-335, pero ninguna de éstas presentó heterosis promedio considerable (Cuadro 4.11), característica importante para los programas de mejoramiento pues indica la existencia de combinaciones con posibilidades de reducir el porte de la progenie. Por otro lado, las poblaciones Hgo-4, Méx-633, Oax-814 y VS-22 (Mich-21) registraron valores promedio de heterosis sobresaliente, que para fines de la generación de híbridos comerciales, no son favorables dado que implica mayor porte de la planta, además de un mayor ciclo de cultivo. De las 105 cruzas que forman el dialelo, el 66% tuvieron heterosis positiva y dentro de éstas, las de mayor altura promedio fueron F_{HCH}-129F_n x Jal-335 y Dgo-189 x F_{HCH}-129F_n con heterosis de 10.7 y 5.6%, respectivamente (Cuadro 4.11), mismas que tuvieron mayor número de días a floración masculina. Un mayor número de días transcurrido de la siembra a la floración masculina, significa mayor duración en el ciclo de cultivo y esto está directamente relacionado con la altura que puedan alcanzar las plantas durante el ciclo vegetativo, características que en este estudio estuvieron determinadas por la población (F_{HCH}-129F_n) dada su frecuencia como progenitor en los cruzamientos sobresalientes en ambas variables y que es de ciclo tardío y porte alto.

Cuadro 4.11. Medias de altura de planta (AP, m) a través de tres ambientes de evaluación de las poblaciones progenitoras *per se* (en la diagonal) y de sus cruzas dialélicas (debajo de la diagonal) y porcentaje de heterosis de las cruzas (arriba de la diagonal). Primavera-Verano. 2006.

Prog	2	3	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	21	22	Prom
Hgo-4 (2)	2.03	1.02	2.39	-0.74	0.92	6.24	-4.94	4.52	-0.49	8.24	10.32	3.32	25.20	3.02	25.30	6.02
Dgo-189 (3)	2.37	2.66	-1.25	-6.87	-2.35	3.43	-2.69	5.59	1.27	3.83	1.34	-1.29	15.08	-8.22	0.29	0.65
Gto-208 (5)	2.40	2.63	2.66	-1.51	0.09	-2.01	-2.01	1.84	4.24	2.74	0.36	0.43	10.04	6.16	6.84	2.03
Gto-142 (6)	2.32	2.47	2.61	2.64	-2.14	-5.24	-3.52	1.03	-2.44	0.24	0.11	2.13	21.82	-0.74	-3.43	-0.09
Méx-633 (7)	2.26	2.49	2.55	2.49	2.44	-2.01	-0.06	5.70	4.92	5.97	2.54	-5.23	21.37	3.73	22.55	4.00
Col-03-64 (8)	2.57	2.83	2.68	2.58	2.57	2.81	-1.34	-5.43	-1.59	-0.38	-6.89	-5.98	10.02	2.53	12.29	0.26
Col-6784 (9)	2.31	2.67	2.69	2.64	2.63	2.78	2.83	-0.78	-2.54	2.58	-3.54	6.00	13.16	2.19	4.95	0.53
F _{Hc} H-129F _n (10)	2.55	2.91	2.80	2.77	2.79	2.67	2.81	2.84	3.37	1.98	10.66	-2.69	15.52	7.39	4.66	3.81
Zac-66 (12)	2.25	2.61	2.69	2.51	2.59	2.61	2.60	2.76	2.50	-2.08	2.84	2.74	12.21	-0.38	8.81	2.21
Oax-814 (15)	2.41	2.64	2.61	2.53	2.58	2.60	2.69	2.68	2.41	2.42	6.72	1.70	22.44	-1.92	14.36	4.74
Jal-335 (16)	2.54	2.66	2.63	2.61	2.57	2.51	2.61	3.00	2.61	2.67	2.58	1.43	9.25	-4.40	3.61	2.45
Tlax-151 (18)	2.33	2.54	2.58	2.62	2.34	2.49	2.82	2.59	2.56	2.49	2.57	2.49	14.72	3.75	15.01	2.57
Urg-II (20)	2.44	2.61	2.49	2.74	2.62	2.57	2.66	2.72	2.45	2.62	2.43	2.50	1.87	-1.35	8.23	14.12
VS-22 (21)	2.33	2.37	2.74	2.55	2.56	2.72	2.72	2.87	2.49	2.41	2.43	2.59	2.15	2.50	8.84	1.47
Arg-III (22)	2.50	2.32	2.46	2.22	2.69	2.67	2.51	2.51	2.42	2.50	2.35	2.55	2.07	2.42	1.95	9.45
Promedio	2.40	2.58	2.61	2.55	2.55	2.63	2.65	2.75	2.54	2.56	2.58	2.54	2.51	2.52	2.44	2.6/3.6

Las poblaciones que participaron con mayor frecuencia como progenitores en los cruzamientos sobresalientes para las ocho variables fueron la Gto-142, Méx-633, Col-03-64, Col-6784, F_{HCH}-129F_n y VS-22 (Mich-21), con origen en Guanajuato, en el Edo. de México y en Michoacán, pertenecientes a la raza Chalqueño, Chalqueño-Celaya y Chalqueño-Cónico.

En el grupo de cruzas adicionales se incluyeron cruzamientos que en lo posible abarcaran el área geográfica de los Valles Altos de México y que representaran a alguno de los patrones heteróticos que actualmente se utilizan, siendo el caso de la craza VS-22 (Mich-21) x Pob-85-C4 donde participa Mich-21 y una de las poblaciones del CIMMYT; sin embargo, tanto en este grupo como en el de las cruzas dialélicas se observaron comportamientos promedio sobresalientes en cruzamientos en los que participaron progenitores distintos a los descritos anteriormente, superando de forma notoria la expresión de los testigos y de sus propios progenitores, lo que indica la existencia de combinaciones heteróticas importantes y que aparte de los patrones ya definidos durante varios años, existen otros potenciales que puede ser utilizados en los programas de mejoramiento genético de maíz en México para generar híbridos y variedades mejoradas con propósitos diversos que satisfagan las necesidades de los productores (Cuadro 4.12).

Cuadro 4.12. Valores promedio de las cruzas adicionales e híbridos comerciales testigo incluidos en la evaluación de campo. Primavera-Verano. 2006.

No	Genealogía	REN							
		(t.ha ⁻¹)	IG (%)	MP (Núm)	DM (cm)	LGr (cm)	NHM (Núm)	DFM	AP (m)
Cruzas adicionales									
125	Qro-46 (1)x Hgo-4 (2)	5.33	87.77	1.02	4.87	1.19	16.34	89.56	2.40
126	Dgo-189 (3) x Qro-46 (1)	4.92	86.14	0.99	5.27	1.34	15.63	91.67	2.54
127	Gto-142 (6) x Qro-46 (1)	6.19	89.76	1.04	5.17	1.31	16.79	94.44	2.52
128	Méx-633 (7) x Qro-46 (1)	4.58	90.74	0.83	4.92	1.29	16.56	88.00	2.46
129	Qro-46 (1) x Oax-814 (15)	5.29	88.12	1.14	5.17	1.43	14.67	96.78	2.57
130	Méx-581 (17) x Dgo-189 (3)	6.09	87.61	0.98	5.38	1.32	14.44	92.67	2.52
131	Méx-581 (17) x Gto-208 (5)	5.97	88.43	1.04	5.46	1.39	15.48	90.89	2.54
132	Méx-581 (17) x Col-6784 (9)	6.42	91.21	0.86	5.66	1.59	16.16	89.11	2.57
133	Zac-66 (12) x Méx-581 (17)	6.70	87.69	1.13	5.28	1.33	17.59	92.22	2.67
134	Pob-85 C4 (24) x Zac-66 (12)	4.97	88.48	1.06	4.80	1.16	15.33	82.11	2.27
135	VS-22 (21) x Pob-85 C4 (24)	6.81	86.69	1.04	5.19	1.19	16.22	82.78	2.38
136	Pob-800 C5 (25) x Méx-581 (17)	6.23	87.67	0.96	5.37	1.26	16.59	80.78	2.25
137	Pob-800 C5 (25) x Tlax-151 (18)	5.33	87.43	0.97	5.16	1.18	15.63	79.56	2.27
138	Pob-800 C5 (25) x Oax-708 (23)	5.25	87.12	1.03	4.59	0.96	13.38	79.00	2.10
	Máximo	6.80	91.20	1.10	5.70	1.60	17.60	96.80	2.70
	Mínimo	4.60	86.10	0.83	4.60	0.96	13.40	79.00	2.10
	DSH _(0.05)	2.00	4.20	0.20	0.60	0.20	2.20	4.30	0.30
Híbridos comerciales testigo									
139	H-28	5.82	88.78	1.14	5.44	1.33	17.93	83.44	2.38
140	H-33	6.81	87.99	0.97	5.73	1.45	19.21	85.00	2.52
141	H-40	6.75	87.01	1.14	5.43	1.24	16.60	86.44	2.26
142	H-52	6.59	89.46	1.07	5.19	1.31	17.01	83.78	2.31
143	H-64-E	7.15	87.01	1.04	5.59	1.12	16.13	79.78	2.02
144	H-66-E	7.60	90.42	1.13	5.56	1.37	17.49	82.00	2.14
	Máximo	7.60	90.42	1.14	5.73	1.50	19.21	86.44	2.52
	Mínimo	5.82	87.01	0.97	5.19	1.10	16.13	79.78	2.02
	DSH _(0.05)	1.66	2.42	0.19	0.39	0.19	2.43	4.02	0.19

No= Número de genotipo; REN= Rendimiento de grano; IG= Índice de grano; MP= Número de mazorcas por planta; DM= Diámetro de mazorca; LGr= Longitud de grano; NHM= Número de hileras por mazorca; DFM= días a floración masculina; AP= Altura de planta; Med= Valor promedio; Máximo.= Valor promedio máximo; Mínimo.= Valor promedio mínimo; DSH= Diferencia significativa honesta.

CONCLUSIONES

Con base en el comportamiento *per se* y en los promedios expresados a través de sus cruzas para las variables evaluadas, las poblaciones Méx-633, Col-03-64, Col-6784 y $F_{HC}H-129F_n$ de la raza Chalqueño, y Gto-142, Zac-66, Tlax-151 y VS-22 caracterizadas como variantes de la misma raza, son las más aptas para generar combinaciones con potencial tanto para rendimiento de grano y sus componentes como para la expresión de otras características morfológicas y fenológicas, haciéndose notoria la expresión en las poblaciones de la raza Chalqueño al cruzarse con las variantes de la misma raza, y en segundo término cuando estas se cruzaron entre sí.

Las poblaciones Zac-66 y Oax-814 tuvieron bajo comportamiento *per se* para las características consideradas, pero el promedio a través de sus cruzas fue considerable, lo que se reflejó en porcentajes de heterosis relevantes como resultado de la divergencia genética, ya que dichas poblaciones se ubican en los extremos del área geográfica de distribución de Chalqueño.

BIBLIOGRAFÍA

- Allard R W (1999)** Principles of Plant Breeding. 2nd ed. John Wiley, New York, NY. USA. 254 p.
- Castillo G F, M M Goodman (1989)** Agronomic evaluation of Latin America maize accessions. Crop Sci. 29(4): 853-861.
- Coors J G, S Pandey (1999)**. The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. 524 p.
- Cress C E (1966)** Heterosis of the hybrid related to gene frequency differences between two populations. Genetics 53: 269-274.
- Crown J F (1999)** Dominance and overdominance. *In*: The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. J C Coors and S Pandey (eds.) American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. 524 p.
- Espinosa C A, A Carballo C (1987)** H-135 nuevo maíz híbrido de riego para la zona de transición El Bajío-Valles Altos. Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. CEVAMEX. Folleto Técnico No. 1. Chapingo, Edo. de México. 16 p.

Falconer D S, T F C Mackay (1996) Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman. Essex, England. 464 p.

Gámez V A J, M A Avila P, H Angeles A, C Díaz H, H Ramírez V, A Alejo J, A Terrón I (1996) Híbridos y Variedades de Maíz Liberados por el INIFAP hasta 1996. Publicación Especial No. 16. INIFAP, SAGAR. Toluca, Méx. 103 p.

García E (1988) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 217 p.

Gutiérrez S J R, M Luna F (1989) Selecciones para resistencia a sequía en un compuesto de maíz en Zacatecas. Rev. Fitotec. Mex. 12 (2): 94-104.

Gowen J W (ed.) (1952) Heterosis. Iowa State College Press, Ames. 552 p.

Hallauer A R, J B Miranda (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2nd ed. Iowa State University Press. Ames, IA, USA. 468 p.

Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, J M Hernández C, R Ortega P, M M Goodman (2004) Diversidad genética del maíz Chalqueño. Agrocienca 38: 191-206.

LAMP (1991) Catálogo de Germoplasma de Maíz, Tomo I y II. Proyecto Latinoamericano de Maíz. (LAMP). México, D. F. 678 p.

Márquez S F (1988) Genotecnia Vegetal. Tomo II. AGT Editor. México, D.F. 563 p.

Moll R H, W S Salhuana, H F Robinson (1962) Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. Crop Sci. 2: 197-198.

Moll R H, J H Lonquist, J Vélez F, E C Johnson (1965) The relationship of heterosis and divergence in maize. Genetics 52: 139-144.

Reyes C P (1985) Fitogenética Básica y Aplicada. AGT Editor. México, D.F. pp. 149-228.

Roberts L M (1950) Las razas mexicanas de maíz más útiles como material básico para el mejoramiento. *In*: Primera Asamblea Latinoamericana de Fitogenetistas. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Folleto Misceláneo No. 3. México. pp: 71-84.

- Romero P J, F Castillo G, R Ortega P (2002)** Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 107-115.
- Sánchez G J J, M M Goodman, C W Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54(1): 43-59.
- SAS Institute (1994)** The SAS System for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Tollenaar M, A Ahmadzadeh, E. A. Lee. 2004.** Physiological basis of heterosis for grain yield in maize. *Crop Sci.* 44:2086-2094.
- Vasal S K, G Srinivasan, F González C, G C Han, S Pandey, D L Beck, J Crossa (1992)** Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical x subtropical maize germoplasm. *Crop Sci.* 32: 1483-1489.
- Vasal S K, B S Dhillon, G Srinivasan, S D Mclean, J Crossa, S H Zhang (1995).** Effect of S₃ recurrent selection in four tropical maize populations on their selfed and randomly mated generations. *Crop Sci.* 35:697-702.
- Wallace H A, W L Brown (1956)** The great grandfather of hybrid corn: Charles Darwin. *In: Corn and its early fathers.* The Michigan State University Press. 134 p.

V. DISCUSIÓN GENERAL

El planteamiento de esta investigación, obedece a la necesidad de generar información relacionada con el potencial de la diversidad genética constituida por un sin número de poblaciones en Valles Altos, así como su aprovechamiento por los diversos programas de mejoramiento genético del maíz en México. Partiendo de que en los Valles Altos de México la diversidad genética del maíz es amplia, pero desde el inicio del mejoramiento genético del maíz en México, la base genética utilizada en la generación de híbridos ha sido reducida, y no obstante que ha transcurrido el tiempo ésta sigue siendo limitada. Diversos trabajos han sido enfocados a la detección de diversas poblaciones factibles de ser incorporadas a los programas de mejoramiento genético de maíz (Silva, 1992; Hernández, 1994; Balderrama *et al.*, 1997; Romero *et al.*, 2002 y Herrera *et al.*, 2004), en los cuales se resalta la existencia de materiales con potencial genético que igualan o superan a los patrones heteróticos usados desde tiempos pasados y aún en la actualidad en los programas de mejoramiento genético de diversas instituciones de investigación agrícola de nuestro país.

Evaluación de vigor

El maíz de la raza Chalqueño y sus variantes es predominante en los Valles Altos de México y el sistema de siembra tradicional en esas áreas aprovecha la humedad residual, por lo que con frecuencia la semilla se tiene que depositar a profundidades considerables para que quede en contacto con el suelo húmedo y así asegurar la germinación y emergencia. Esta práctica ha determinado que los maíces nativos presenten alto vigor; sin embargo, se ha observado variación entre y dentro de tipos de maíz de dicha zona.

Existe variabilidad genética importante entre genotipos de maíz para caracteres de vigor de semilla y de plántula (Fakorede y Ojo, 1981; Pérez *et al.*, 2007); lo que indica que la selección para estos atributos (semilla y plántula) puede ser efectiva en programas de mejoramiento genético.

Como parte importante para el análisis de datos, se consideró un análisis de componentes principales, por medio del cual se eligieron las variables de mayor relevancia para explicar el comportamiento de los materiales en estudio, por lo que al considerar los efectos de ACG, los primeros dos componentes principales (PRIN) explicaron el 75% (PRIN1 56 y PRIN2 19%) de la variación global de los caracteres originales. De acuerdo con el coeficiente de determinación de cada variable, en la primera componente principal (PRIN1) las variables con mayor participación fueron peso seco de hojas (PSH) (0.98), vigor de raíz (VR) (0.92), biomasa total (BT) (0.86), altura de planta (AP) (0.86), peso seco de mesocótilo (PSM) (0.86) y velocidad de emergencia VE (0.57), mientras que en el segundo componente, las variables de mayor peso fueron longitud del mesocótilo (LM) (0.81) y número de hojas liguladas (NHL) (0.64). De acuerdo con el comportamiento observado, se puede indicar que Gto-208, Col-03-64, Col-6784, F_{HCH}-129F_n, Dgo-189, Gto-142 y Jal-335 fueron sobresalientes, sin dejar de considerar el comportamiento intermedio que mostraron las poblaciones Méx-633, VS-22, Tlax-151, Hgo-4, Zac-66 y Oax-814 y a las de comportamiento inferior Urg-II y Arg-III

En el caso del análisis de componentes principales para los efectos de ACE, los primeros dos explicaron el 63% (PRIN1 50 y PRIN2 13%) de la variación global de las características originales. En el primer componente principal (PRIN1), de acuerdo con el coeficiente de determinación de cada variable, las de mayor participación fueron PSH (0.92), BT (0.80), AP (0.76), VR (0.69), PE (0.69), PSM (0.68) y VE (0.67), mientras que en el segundo tuvieron más peso las variables LM (0.40), NPA (0.34) y NHnoL (0.32), sobresaliendo los cruzamientos Col-03-64 x VS-22, Col-6784 x Oax-814, Méx-633 x Jal-335, Col-03-64 x Col-6784 y Dgo-189 x Col-03-64 entre otros.

El haber observado que los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) fueron importantes en la expresión de caracteres relacionados con el vigor de la semilla y de plántula en maíz, permite suponer que el vigor o la emergencia están determinados por muchos genes al igual que lo indica Dollinger (1985) para vigor de semilla en maíz; y que su herencia sería compleja como lo indica Lindstrom (1972).

Es importante señalar que los efectos de ACG y ACE fueron significativos, lo que indica que en el vigor de la semilla y de plántula están involucrados efectos genéticos aditivos y de dominancia como lo reportaron Ajala y Fakorede (1988) en maíz y Cho y Scott (2000) en soya.

Por otro lado, la variación para ACG fue de mayor magnitud que la de ACE. Al respecto Baker (1978), señala que la proporción relativa de los efectos de ACG y ACE determinada a través de los cuadrados medios indica el tipo de acción génica de los caracteres.

La falta de consistencia de los efectos de ACE en los caracteres estudiados (vigor de semilla y de plántula), indica que éstos no pueden predecirse con base en los valores de los efectos de ACG de los progenitores, como lo indican Revilla *et al.*, (1999); sin embargo, Reyes *et al.* (2004) señalan que la crusa simple será de alto valor de ACE si al menos una de sus líneas progenitoras es de alta ACG.

En gran parte de las regiones agrícolas que comprenden los Valles Altos de México prácticamente no se siembran variedades mejoradas; en estos lugares las condiciones climáticas y edáficas permiten el cultivo del maíz en el sistema de arrope o conservación de humedad residual. En este particular estilo de siembra, la semilla es depositada en el fondo del surco hasta una profundidad tal que ésta quede en contacto con la humedad guardada. Este sistema de siembra requiere semilla vigorosa, por lo que el método de cultivo ha ejercido una fuerte presión de selección en las poblaciones locales de maíz en esta característica, siendo el vigor de semilla de estas regiones más acentuado con respecto a semillas de otros lugares.

En este trabajo, al considerar el comportamiento *per se* y los efectos de ACG se encontró que poblaciones con buen vigor de semilla y de plántula como la velocidad de emergencia (VE) y la producción de biomasa total (BT), también presentaron como planta adulta buen rendimiento de grano (REN) y altura de planta (AP), principalmente, sobresaliendo las poblaciones Gto-142, Col-03-64, Col-6784, F_{HCH}-129F_n, Tlax-151 y

VS-22 (Mich-21). Estos resultados no concuerdan con los reportados por Ajala y Fakorede (1988), ya que ellos encontraron inconsistencia en la relación de los caracteres antes mencionados. Por otra parte, Antuna *et al.* (2003) indican que la calidad inicial de la semilla no influye en el desarrollo del cultivo, pero que es de gran importancia para el establecimiento inicial.

En cuanto a la valoración de la heterosis en etapas tempranas del desarrollo del maíz se ha estudiado poco, con el argumento de que las características del vigor de semilla y de plántula no se relacionan con las de la planta adulta, situación que en este trabajo no ocurrió y que da la pauta para que los mejoradores tengan herramientas para evaluar y seleccionar materiales que se puedan establecer en condiciones controladas, favoreciendo el ahorro de tiempo y espacio.

La interacción de las poblaciones progenitoras utilizadas en este trabajo y medida a través de los efectos de ACE de sus cruzas, fue variable al igual que los porcentajes de heterosis, mostraron relación ya que los mayores efectos correspondieron a altos porcentajes de heterosis, detectándose que los cruzamientos sobresalientes por su promedio, efectos de ACE o heterosis, fueron aquellos en los que participó como progenitor alguna población típica de la raza Chalqueño y a su vez al cruzarse entre sí o con alguna población de las variantes de dicha raza con mayor divergencia genética al tener su origen distante en el área geográfica de la raza Chalqueño.

Evaluación en Campo

Al igual que para la evaluación de vigor, se realizó un análisis de componentes principales para elegir a las variables de mayor relevancia y facilitar la interpretación del comportamiento de los genotipos evaluados en campo, por lo que al considerar los efectos de ACG, los primeros dos componentes principales (PRIN) explicaron el 56% (PRIN1 33 y PRIN2 23%) de la variación global de los caracteres originales. De acuerdo con el coeficiente de determinación de cada variable, en la primera componente principal (PRIN1) las variables de mayor relevancia fueron: altura de planta (AP) (0.73), diámetro de mazorca (DM) (0.72), longitud de grano (LGr9 (0.68),

peso hectolítrico (PHL) (0.65), altura de mazorca (AM) (0.63), porcentaje de acame de raíz (PAR) (0.62), porcentaje de acame de tallo (PAT) (0.50) y rendimiento de grano (REN) (0.49), mientras que en la segunda componente principal tuvieron mayor peso las variables número total de mazorcas (NTM) (0.61), mazorcas por planta (MP) (0.54), días a floración masculina (DFM) (0.49), días a floración femenina (DFF) (0.44), índice de grano (IG) (0.36), número de granos por hilera (NGH) (0.29), altura de mazorca (AM) (0.28) y porcentaje de mazorcas podridas (PMP) (0.28), de tal forma que se puede indicar que $F_{HCH-129F_n}$, Gto-142, Gto-208, Col-03-64, Col-6784, Dgo-189 y Méx-633, fueron sobresalientes, sin dejar de considerar el comportamiento intermedio que mostraron las poblaciones Zac-66, VS-22, Oax-814, Jal-335 y Tlax-151, y el comportamiento inferior de las poblaciones Hgo-4, Urg-II y Arg-III.

En el caso del análisis de componentes principales para los efectos de ACE, los primeros dos explicaron el 43% (PRIN1 25 y PRIN2 18%) de la variación global de las características originales. En la primer componente principal (PRIN1) las características de mayor participación fueron DM (0.70), LGr (0.65), AP (0.56), AM (0.55), REN (0.48), LM (0.24) e IG (0.24), mientras que en el segundo tuvieron más peso las variables DFF (0.58), DFM (0.54), NTM (0.38), NTP (0.35), NHP (0.28), NGH (0.23) y NHM (0.19), sobresaliendo los cruzamientos Col-03-64 x Arg-III, Arg-III x Tlax-151, Col-6784 x Urg-II, Arg-III x Méx-633, Dgo-189 x Col-03-64, $F_{HCH-129F_n}$ x Jal-335, Oax-814 x Urg-II, Tlax-151 x Urg-II, $F_{HCH-129F_n}$ x Urg-II, Gto-142 x Jal-335, Gto-142 x Urg-II, Gto-142 x VS-22, Hgo-4 x Arg-III, Urg-II x Méx-633, Gto-142 x Col-6784, Dgo-189 x Oax-814, $F_{HCH-129F_n}$ x VS-22, Jal-335 x Dgo-189, Tlax-151 x Zac-66 y Zac-66 x Urg-II, entre otros. Es importante mencionar que valores de ACE altos no necesariamente coinciden con valores agronómicos relevantes, valores que estuvieron influidos en este caso por la participación de Urg-II y Arg-III, con bajo efecto de ACE. Los cruzamientos de mayor valor agronómico en este conjunto de información corresponden a ACE conjunta intermedia en los que participan como progenitores las poblaciones típicas de la raza Chalqueño, así como sus variantes sobresalientes en donde se incluye a Zac-66, Oax-814 y Tlax-15, entre otras.

Se indicó que existe una relación entre las características de vigor de similla y de plántula con las de la planta adulta; aseveración que se respalda con los resultados obtenidos en los efectos de ACG y el análisis de componentes principales, donde tanto en la evaluación de vigor como en la de campo, las poblaciones sobresalientes fueron las mismas, además de que hubo coincidencia en cruzamientos tanto para efectos de ACE como para porcentajes de heterosis en ambas condiciones.

Con relación al objetivo referente a la medición de la heterosis respecto al promedio de los progenitores para rendimiento de grano, ésta se estimó en 34.0% en promedio, aunque fluctuó de -39.34 a 98.81%. Otros autores como Balderrama *et al.* (1997) estimaron promedios de 9%, Romero *et al.* (2002) reportan una heterosis intrarracial en Chalqueño de 5.8%. Los componentes del rendimiento se reflejan acumulados en la expresión del rendimiento; sin embargo, el número de mazorcas por planta (MP) fue el más importante de acuerdo a la heterosis general presentada (9.2%), le siguió LGr con 6.9% y DM con 4.4%; dichos resultados fueron más bajos que los obtenidos por De la Cruz *et al.* (2003) en su evaluación de heterosis en maíces de Jalisco, resultados que fueron mayores debido a que se usó germoplasma mejorado.

Dentro de Chalqueño y sus variantes, las mejores cruzas para rendimiento de grano y sus componentes fueron $F_{HC}H-129F_n \times VS-22$, $VS-22 \times Tlax-151$, $Tlax-151 \times Gto-142$, $Gto-142 \times Col-03-64$, $VS-22 \times Col-03-64$, $F_{HC}H-129F_n \times Dgo-189$, $Col-6784 \times Zac-66$, $Oax-814 \times Gto-142$, $VS-22 \times Pob-85 C4$, $Col-6784 \times Oax-814$, $Oax-814 \times Tlax-151$, $Zac-66 \times VS-22$, $Jal-335 \times Zac-66$ y $F_{HC}H-129F_n \times Oax-814$, utilizando al cruzamiento $VS-22 \times Pob-85 C4$ como referencia de uno de los patrones heteróticos utilizados en tiempos recientes, ya que contiene a Mich.21 (VS-22) por un lado y a una de las poblaciones del CIMMYT que más se ha usado en la generación de híbridos modernos de maíz, así como $VS-22 \times Tlax-151$ también considerado como uno de los patrones heteróticos en los híbridos recientes. Con estos cruzamientos sobresalientes se puede tener una idea clara de que la divergencia genética de los progenitores es un factor importante en para la expresión de la heterosis, resaltando que Zac-66 y Oax-814 fueron las poblaciones con heterosis superior, comportamiento que se atribuye a que

cada una se encuentra ubicada en los extremos geográficos de distribución de la raza Chalqueño.

Para lograr que las cruzas expresen buen rendimiento con heterosis aceptable, son necesarios dos aspectos: las características genéticas y la divergencia genética de los progenitores. En la presente investigación, en un buen número de las mejores cruzas sobresalientes participó VS-22 (Mich-21) como progenitor, lo que se atribuye a que es una población con cierto grado de mejoramiento genético y se han acumulado efectos aditivos y con ello mayores posibilidades de expresar efectos de dominancia cuando se cruza; sin embargo, se detectaron otras poblaciones iguales o más sobresalientes que VS-22, que con sólo mejoramiento practicado de manera tradicional e histórica por los productores mostraron superioridad en el rendimiento de grano y sus componentes. Poblaciones como estas son sin duda las deseables para incluir en los programas de mejoramiento genético, sin perder de vista la posibilidad de seguir explorando dentro de las regiones que comprenden los Valles Altos de México.

Tanto en la evaluación de vigor como en la de campo, las poblaciones Urg-II y Arg-III tuvieron un comportamiento *per se* bajo, al igual que el promedio a través de sus cruzas; no obstante, para efectos de ACE y porcentaje de heterosis hubo un número considerable de cruzamientos con altos valores, incluso algunos de ellos fueron los máximos registrados en el experimento. Dicho comportamiento parece estar de acuerdo con la hipótesis de que a mayor divergencia genética hay mayor heterosis; sin embargo, dichas poblaciones no son recomendables para usarse como fuentes de heterosis, ya que las mejores fuentes de heterosis se consideran aquellas donde de preferencia ambos progenitores tienen buen comportamiento como población y a través de sus cruzas, y en este caso los valores de heterosis fueron favorecidos por el bajo comportamiento que presentaron como progenitores.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

La evaluación de heterosis en etapas tempranas del desarrollo de maíz permite definir patrones heteróticos ahorrando tiempo y espacio en el proceso de selección de materiales sobresalientes, así como también, da idea de la capacidad de establecimiento de dichos materiales.

Las poblaciones que por su ACG resultaron sobresalientes fueron Gto-142, Col-03-64, Col-6784, $F_{HC}H-129F_n$, Zac-66, Tlax-151 y VS-22 (Mich-21), considerándose como las más aptas para generar combinaciones con potencial tanto para rendimiento de grano como para sus componentes y otras características.

El aprovechamiento como fuente de genes de algunas de las mejores combinaciones detectadas, pudiera superar a los híbridos actuales.

Se detectaron patrones heteróticos superiores a VS-22 x Pob-85 C4 y VS-22 x Tlax-151 usados como referencia en la generación de híbridos actuales.

La divergencia genética de las poblaciones fue un factor importante para la expresión heterótica, pero no determinante, ya que hubo combinaciones sobresalientes cuando se cruzaron entre sí las poblaciones típicas de Chalqueño, así como las de Guanajuato.

Las poblaciones Zac-66 y Oax-814 tuvieron heterosis relevante para rendimiento de grano y sus componentes, representando de la mejor manera la divergencia genética al ubicarse en los extremos del área geográfica donde se distribuye la raza Chalqueño.

La población de la raza Ancho adaptada a las condiciones de valles altos, debe considerarse para mejorar las características de tamaño de grano y de mazorca de otras poblaciones.

Las poblaciones Urg-II y Arg-III no parecen recomendables como fuentes de heterosis por su bajo comportamiento *per se* y bajos promedios a través de sus cruas.

VII. LITERATURA CITADA

- Ajala S O, M A B Fakorede (1988)** Inheritance of seedling-vigor and its association with mature plant traits in maize population at two levels of breeding. *Maydica* 33:121-129.
- 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(1): 11-17.
- Balderrama C S, A Mejía C, F Castillo G, A Carballo C (1997)** Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 137-147.
- Beker R J (1978)** Issues en diallel analysis. *Crop Sci.* 18: 533-536.
- Bruce A B (1910)** The Mendelian theory of heredity on the augmentation of vigor. *Crop Sci.* 32:677-682.
- Castillo G F, M M Goodman (1989)** Agronomic evaluation of Latin American maize accessions. *Crop Sci.* 29:853-861.
- Cho Y, R A Scott (2000)** Combining ability of seed vigor and seed yield in soybean. *Euphytica* 112:145-150.
- De la Cruz L L, J Ron P, J L Ramírez D, J J Sánchez G, M M Morales R, M Chuela B, S A Hurtado de la P, S Mena M (2003)** Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1): 1-10.
- De la Loma J L (1982)** *Genética General y Aplicada*. 3ª edición UTHEA. México, D. F. 752 p.
- Dollinger E J (1985)** Effects of visible recessive alleles on vigor characteristics in a maize hybrid. *Crop Sci.* 25:819-821.
- East E M (1908)** Inbreeding in corn. Connecticut Agric. Exp. Stn. Rep. pp. 419-428.
- Espinosa C A, M Tadeo R, R Martínez M, J Lothrop, S Azpíroz R, C Tut C, J Bonilla B, A María R, J P Pérez C, M A Ávila P, J Gámez V, Y Salinas M (2004)** H-50: Nuevo híbrido de maíz para los Valles Altos de México. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP. Méx. D. F. 19 p.
- Fakorede M A B, D K Ojo (1981)** Variability for seedling vigor in maize. *Exptal. Agric.* 17:195-201.

- Falconer, D S (1990)** Introducción a la Genética Cuantitativa. Trad. del Inglés por F. Márquez S. Segunda Edición, Tercera Impresión, Ed. CECSA. México, D.F. pp. 281-288.
- Gámez V A J, M A Avila P, H Angeles A, C Díaz H, H Ramírez V, A Alejo J, A Terrón I (1996)** Híbridos y Variedades de Maíz Liberados por el INIFAP hasta 1996. Publicación Especial No. 16. INIFAP, SAGAR. Toluca, Méx. 103 p.
- Gardner C O, S A Eberhart (1966)** Analysis and interpretation of the variety crosses diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.
- Griffing B 1956** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Hallauer A R, B. Miranda J (1981)** Quantitative Genetic in Maize Breeding. Iowa State University Press. Ames. Iowa. pp: 268-368.
- Hartmann H T, Kester D E, Davies T F (1990)** Principles of propagation by seed. In: *Plant Propagation, Principles and Practices*. Chapter 6. Prentice-Hall International, Inc. pp. 104-136.
- Hayman B I (1954)** The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39:789-809.
- Hernández C J M (1994)** Estimación de efectos genéticos en poblaciones nativas de maíz sobresalientes en Valles Altos Centrales, Bajío y Trópico. Tesis de Doctorado, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 190 p.
- Herrera C B E, F Castillo G, J J Sánchez G, J M Hernández C, R Ortega P, M M Goodman (2004)** Diversidad genética del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38:191-206.
- Hinkelman K (1976)** Diseños dialélicas y de cruza múltiples: ¿Qué información se obtiene de ellos? Trad. del inglés por F Castillo González. P 659-676 *In: E Pollak, O Kempthorne y T B Bailey Jr. (eds.). Proceedings on Quantitative Genetics, August 16-21 1976. Iowa State Univ. Press.*
- Jugenheimer W R (1990)** Maíz. ELSA. México. 841 p.
- LAMP (Proyecto Latinoamericano de Maíz) (1991)** Catálogo de Germoplasma de Maíz. Tomo II. México, D. F. 678 p.
- Lin C S (1972)** Analysis of diallel crosses between two groups where parental lines are included. *Biometrics* 28:612-618.

- Lindstrom E W (1972)** Inheritance of seed longevity in maize inbreds and hybrids. *Genetics* 27:154-160.
- Márquez S F (1988)** *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. AGT Editor, S. A. México, D. F. 665 p.
- Moll R H, W S Salhuana, H F Robinson (1962)** Heterosis and genetic diversity in varieties of maize. *Crop Sci.* 2:197-198.
- Moreno M E and C M Christensen (1971)** Differences among lines and varieties of maize in susceptibility to damage by storage fungi. *Phytopathology* 61:1498-1500.
- Pérez de la C F J, L Córdova T, A Santacruz V, F Castillo G, E Cárdenas S, A Delgado A (2007)** Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz Chalqueño. *Agric. Téc. Méx.* 33(1): 5-16.
- Plucknett D L, J T Williams, N J H Smith, N M Anishetty (1992)** *Los Bancos Genéticos y la Alimentación Mundial*. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. Centro Interamericano de Agricultura Tropical. Colección Investigación y Desarrollo No. 21. San José, Costa Rica. 257 p.
- Poehlman J M y D Allen (2003)** *Mejoramiento Genético de las Cosechas*. 2ª edición. Ed. Limusa. México. 511 p.
- Ram C, O Singh, R P S Kharb, P Kumari , T P Yadav (1991)** Seedling vigour in pigeon pea. *Seed Sci. Technol.* 19:627-631.
- Revilla P, A Butrón, R A Malval, A Ordás (1999)** Relationships among kernel weight, early vigor and growth in maize. *Crop Sci.* 39:654-658.
- Reyes L D, J D Molina G, M A Oropeza R, E Moreno P (2004)** Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):49-56.
- Rivera F H (1977)** Efecto de la diversidad genética en la heterosis de cruzas intervarietales de maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 98 p.
- Romero P J, F Castillo G, R Ortega P (2002)** Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 107-115.
- Silva C E G (1992)** Estudio agronómico y taxonómico de colecciones de la raza de maíz "Cónico", su colección central y perspectivas de uso en mejoramiento

genético. Tesis de Maestría, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 116 p.

Sprague G F, L A Tatum (1942) General vs. Specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34: 923-932.

Vasal S K, H Córdova (1996) Heterosis en maíz: Acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. Curso Internacional de Actualización en Fitomejoramiento y Agricultura Sustentable. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. pp: 32-54.

Vasal S K, H Cordova, S Pandey, Srinivasan (1999) Tropical maize and heterosis. *In:* J G Coors and S Pandey (ed.). *The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops.* ASA, CSSA, CIMMYT. Madison, WI. 524 p.

Velázquez C G A, C Tut C, J Lothrop, J Virgen V, Y Salinas M (2005) H-40: Híbrido de maíz de grano blanco para los Valles Altos de México. Folleto Técnico Núm. 21. SAGARPA-INIFAP. Méx. D. F. 24 p.

Villanueva V C, F Castillo G, J D Molina G (1994) Aprovechamiento de cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: análisis de progenitores y cruas. *Rev. Fitotec. Mex.* 17: 175-185.

Wellhausen E J, L M Roberts, E Hernández X en colaboración con P C Mangelsdorf (1951) Razas de maíz en México: su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D. F. 237 p.