

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Efectos genéticos y desempeño agronómico como criterio de selección de líneas, probadores e híbridos experimentales**

**Por:**

**JUAN MANUEL QUIROZ CHICO**

**T E S I S**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**Ingeniero Agrónomo en Producción**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2006.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**

Efectos genéticos y desempeño agronómico como criterio de selección de líneas, probadores e híbridos experimentales

**TESIS**

**Por:**

JUAN MANUEL QUIROZ CHICO

Que somete a la consideración de H. Jurado examinador como requisito para obtener el título de

**Ingeniero Agrónomo en Producción**

Aprobada por:

---

Dr. Humberto de León Castillo  
Asesor principal

---

Ing. Daniel Sámano Garduño  
Sinodal

---

Dr. Alfredo de la Rosa Loera  
Sinodal

---

Dr. Gaspar Martínez Zambrano  
Sinodal

---

M.C. Arnoldo Oyervides García  
Coordinador de la división de agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo del 2006

## *Dedicatoria.*

*Con amor, respeto y admiración a mis padres:*

*Juan Quiroz Ortiz.*

*Maria Elena Chico Arellano.*

*Por su amor, cariño, dedicación y por haber hecho de mi una persona de bien. Gracias por todas y cada una de las cosas que me han regalado, pero sobre todo, les agradezco el haberme dado la vida. Por eso y muchas otras cosas más les agradezco sincera y profundamente con todo mi amor y respeto. Gracias por ser los mejores padres.*

*A mis hermanos (as):*

*Jesús.*

*Sergio.*

*Maria del Carmen.*

*Maria Elena.*

*Por su cariño, confianza, motivación, comprensión y por el apoyo que me han brindaron en todo momento.*

*Gracias.*

*A mis sobrinos (as):*

*Daniela Jazmín.*

*Ana Karen.*

*Sergio Brayan.*

*Uriel.*

*Por los momentos de alegría que me han regalado, ya que con su tiernas sonrisas me hacen feliz.*

## *Agradecimientos.*

*A mi “ALMA TERRA MATER” por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de superarme y formarme profesionalmente.*

*Al Dr. Humberto de León Castillo. Mis más profundos y sinceros agradecimientos por su humildad, amistad, consejos, enseñanzas, y confianza que depositó en mí al darme la oportunidad de realizar este trabajo, además de brindarme su apoyo incondicional. Gracias.*

*Al Ing. Daniel Sámano Garduño. Por su amistad, apoyo, disponibilidad, colaboración, enseñanza y aportación en la realización este trabajo de investigación.*

*Al Dr. Alfredo de la Rosa Loera. Por su apoyo incondicional para la revisión de este trabajo de investigación. Además de ser una gran persona y brindarme su amistad.*

*Al Dr. Gaspar Martínez Zambrano. Por su colaboración en la revisión de este trabajo de investigación.*

*A mis compañeros y amigos de la Generación “C” de Ing. Agrónomo en Producción, así como a los de otras especialidades de la misma u otra generación que me brindaron su amistad y apoyo incondicional en todo momento.*

## CONTENIDO

---

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>DEDICATORIA.</b> .....  | i           |
| <b>AGRADECIMIENTO.</b> .....                                     | ii          |
| <b>CONTENIDO.</b> .....  | iii         |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS.</b> .....                                  | iv          |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.</b> .....                                    | 1           |
| Objetivos.....   | 3           |
| Hipótesis.....   | 3           |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.</b> .....                         | 4           |
| Patrones heteróticos. ....                                       | 4           |
| Aptitud combinatoria general y específica. ....                  | 6           |
| Probadores. ....   | 11          |
| <b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.</b> .....                          | 16          |
| Descripción del material genético. ....                          | 16          |
| Metodología. ....  | 19          |
| Descripción del área de estudio. ....                            | 19          |
| Descripción de la parcela experimental y fechas de siembra. .... | 19          |
| Labores de cultivo. ....   | 20          |
| Variables experimentales. ....                                   | 21          |
| Análisis estadísticos. ....                                      | 24          |
| Criterio de selección. ....                                      | 27          |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b> .....                         | 29          |
| <b>V. CONCLUSIONES.</b> .....                                    | 54          |
| <b>VI. RESUMEN.</b> .....  | 55          |
| <b>VII. BIBLIOGRAFÍA.</b> .....                                  | 57          |

## ÍNDICE DE CUADROS.

| <b>Cuadro</b> |  | <b>Pág.</b> |
|---------------|--|-------------|
| 3.1           | Genealogías de las líneas ideotipo y sus probadores QPM. ....  | 17          |
| 3.2           | Genealogías de las líneas QPM y sus probadores ideotipo.....   | 18          |
| 3.3           | Testigos comunes en los ensayos de rendimiento. ....   | 18          |
| 3.4           | Características geográficas y climatológicas de los ambientes de prueba. ....  | 19          |
| 3.5           | Estructura del análisis de varianza combinado para dos localidades.  | 25          |
| 4.1           | Cuadros medios de los análisis de varianza combinado para las cruzas de prueba utilizando como probador al grupo QPM y líneas del grupo Ideotipo a través de dos ambientes; Celaya, Gto. y La Piedad Mich. ....  | 30          |
| 4.2           | Cuadros medios de los análisis de varianza combinado para las cruzas de prueba utilizando como probador al grupo Ideotipo y líneas del grupo QPM, a través de dos ambientes; Celaya, Gto. y La Piedad Mich. .... | 37          |
| 4.3           | Efecto de aptitud combinatoria general para veinte líneas de dos grupos heteróticos (Ideotipo y QPM) para diez características agronómicas. ....   | 41          |
| 4.4           | Efecto de aptitud combinatoria general para dieciséis probadores de dos grupos heteróticos (Ideotipo y QPM) para diez características agronómicas. ....  | 43          |
| 4.5           | Cuadros medios para líneas dentro de cada probador del análisis de varianza combinado para nueve características agronómicas. ....   | 46          |
| 4.6           | Efectos de aptitud combinatoria específica para rendimiento y otras características agronómicas de los híbridos experimentales. ....   | 49          |
| 4.7           | Descomposición genética del rendimiento en ACG de los progenitores y ACE de los híbridos detectados como superiores. ....  | 51          |
| 4.8           | Concentración de medias de las variables agronómicas de los 15 híbridos de mayor rendimiento. ....   | 53          |

## I. INTRODUCCIÓN

Los patrones heteróticos explotados en la generación de híbridos para las regiones de México ubicadas entre los 1000 y 1850 MSNM (conocida por investigadores del Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” como área El Bajío) no están claramente establecidos, a eso se puede atribuir que actualmente exista poca literatura al respecto o que este disponible en muy baja escala, lo que si es evidente es la necesidad de obtener híbridos superiores, así como la existencia de gran diversidad genética de ese cultivo para esa región.

Esta situación invita a los mejoradores en activo, a identificar, dar seguimiento y enriquecer nuevos y competitivos patrones heteróticos para el área de referencia, las características especiales que imprescindiblemente deben reunir los nuevos grupos germoplásmicos, además de exhibir en cruzamientos dirigidos un alto grado de heterosis, deben tener un buen comportamiento agronómico, amplia y selecta diversidad genética y sobre todo ser excelentes fuentes derivadoras de líneas. Que asegure al máximo la extracción de líneas superiores para uso potencial en híbridos de alto rendimiento y buen comportamiento agronómico e industrial.

En la etapa de selección de líneas prometedoras para ser progenitoras de nuevos híbridos siguiendo un patrón heterótico, es común el uso de probadores para eficientar el

proceso de discriminación, al ahorrar trabajo por reducir el número de líneas que deben continuar bajo selección y para conocer el fondo genético.

Los materiales que pueden usarse como probadores en la identificación de líneas élite para un patrón heterótico determinado son varios, destacando el uso de líneas y cruzas simples principalmente, aunque pueden emplearse cruzas triples o dobles e incluso la misma población complementaria a las líneas bajo discriminación.

La decisión de que tipo de probador emplear va a depender de los objetivos del mejorador, es decir, si se tiene como meta hacer pruebas de capacidad combinatoria general, específica, así como la identificación de nuevos híbridos con potencial comercial, la decisión más adecuada es el uso de líneas o cruzas simples; si solo se desea ubicar líneas en el grupo complementario lo ordinario es emplear la población como probador.

El presente trabajo se realizó con el fin de identificar líneas complementarias más idóneas para la formación de híbridos con alto potencial de rendimiento, atractivo para los productores y que puedan tener un valor agregado, dentro de dos grupos de maíz denominados Idiotipo y QPM (quality protein maize) que integran un patrón heterótico prometedor, identificado por De León (2005). Así como también decidir cual probador dentro de cada grupo germoplásmico posee el mayor número de atributos para ser considerado como el ideal para futuras pruebas. Para lograr esto, se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis.



## **OBJETIVOS**

- Identificar líneas sobresalientes con buena aptitud combinatoria para las características agronómicas evaluadas.
- Identificar el probador que tenga la habilidad de discriminar eficientemente a las líneas, así como aquel que presente buena combinación híbrida.
- Identificar híbridos con alto potencial de rendimiento con buena adaptación para El Bajío.

## **HIPÓTESIS**

- Se espera que al menos, una línea tenga un comportamiento superior al resto.
- Se espera que al menos un probador sea diferente y superior a los demás, para discriminar líneas y por su combinación híbrida.
- En los híbridos experimentales evaluados se espera que al menos uno tenga un comportamiento superior a los demás.

## II. REVISION DE LITERATURA

### PATRONES HETEROTICOS

En todo programa de mejoramiento genético de maíz, la utilización de patrones heteróticos son de gran importancia en la formación de híbridos, ya que constituyen una estrategia que permite explotar y capitalizar la heterosis; así mismo, permiten utilizar en forma eficiente el germoplasma disponible para la generación de combinaciones híbridas (Terrón *et al.*, 1997).

Melchinger y Gumber (1998) definen patrón heterótico como un par de grupos heteróticos complementarios que al ser cruzados muestran una alta heterosis facilitando el desarrollo de híbridos potenciales. Así también, Saxena *et al.* (2000) da el nombre de patrón heterótico a la cruce entre líneas innatas, que tienen diferentes orígenes, para desarrollar híbridos de mayor importancia para explotar la heterosis e incrementar las probabilidades del éxito.

Por su parte, Pérez *et al.* (1991) mencionan que la identificación de un patrón heterótico se debe hacer mediante un dialélico, estimando aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) y que las cruces muestren alta respuesta heterótica.

Sin embargo, la determinación de un patrón heterótico se hace mediante el cruzamiento de dos grupos heteróticos diferentes, identificando los cruzamientos más heteróticos y al emplear a sus padres como probadores, estos serán útiles para clasificar el material en grupos heteróticos bien definidos (González *et al.* 1997).

Por su parte De León *et al.* (1999) evaluaron la respuesta de tres patrones heteróticos: Tropical por Bajío (TxB), Enano por Normal (ExN) y Precoz por Tardío (PxT), encontrando que el patrón (PxT) produjo los híbridos con la más alta varianza genética y con las mejores características agronómicas, solo que tiene dificultad en la sincronía de progenitores para la formación de híbridos, por lo cual los autores consideran al patrón (ExN), como la mejor estrategia para la formación de híbridos para el Bajío mexicano.

De acuerdo con Díaz *et al.* (1998) el mejoramiento genético en las regiones templadas de Estados Unidos a desarrollado líneas como B73 y Mo17 que han contribuido a el patrón heterótico más utilizado en el desarrollo de híbridos para las regiones templadas del mundo. Así también, Paliwal (2001) afirma que los patrones heteróticos más conocidos están compuestos por *Reid* y *Lancaster* y *Tuxpeño* en combinación con *ETO*. Además mencionan que *Tuxpeño* combina bien con los maíces duros de Cuba y con maíces duros de la costa tropical, mientras que *Tuson* x *Tuxpeño* combinan bien con los maíces duros de Cuba y con *Chandelle* además con *tropical x templado*.

Así también Ramírez *et al.* (2004) mencionan que la cruce de amarillo dentado-1 x amarillo cristalino-1 del germoplasma del INIFAP, resultó ser una opción para usarse como patrón heterótico en la formación de híbridos de grano amarillo de ciclo intermedio-tardío.

## **APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA**

En todo programa de mejoramiento genético de maíz es importante contar con los métodos o herramientas que permitan elegir sólo los materiales sobresalientes, siendo el diseño dialélico el primero que se utilizó para identificar las combinaciones superiores, originándose así, los conceptos de aptitud combinatoria general y específica.

Sprague y Tatum (1942) definen aptitud combinatoria como la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otras, medida por medio de su progenie, también dan el término de aptitud combinatoria general a el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas, a través de sus cruzamientos con un conjunto de líneas diferentes, y el de aptitud combinatoria específica como la desviación que presenta la progenie de una cruce con respecto al promedio de sus progenitores.

Por su parte, Robles (1982), Gutiérrez *et al.* (2004) y Sierra *et al.* (2004) mencionan que la aptitud combinatoria no debe determinarse solo con un individuo de la población si no con varios, a fin de poder seleccionar aquellos que exhiban la más alta

aptitud combinatoria. Estos autores también definen aptitud combinatoria general (ACG) como el comportamiento de una línea en combinaciones híbridas, y a la aptitud combinatoria específica (ACE) como caso en los cuales ciertas combinaciones lo hacen mejor (o peor) de lo que podrían esperarse en base al comportamiento promedio de las líneas.

Desde el punto de vista cuantitativo, la aptitud combinatoria general de una línea es el valor medio de la  $F_1$ 's de sus cruzas con otras líneas, además la actuación de una cruce en particular puede desviarse de la aptitud combinatoria general promedio de las líneas, a esta desviación se conoce como aptitud combinatoria especial (o específica) de la cruce. (Falconer 1970).

Por su parte, Clure *et al.* (1993); Molina y García (1996) indican que una línea de alta aptitud combinatoria general debe ser aquella que contiene en su genotipo una alta dotación de genes dominantes o parcialmente dominantes al carácter de interés y su contraparte, una línea con alta dotación de genes recesivos es una línea de baja aptitud combinatoria general, mientras que la alta aptitud combinatoria específica de dos líneas se deberán a la alta interacción entre los alelos de una línea con los alelos de otra.

Así también se ha observado que la determinación de la aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), permite conocer la forma en que actúan los genes de un carácter dado; si la acción es aditiva o no aditiva, así como la importancia de cada una. (Elizondo 2000). Además, este autor menciona que es posible

obtener un rápido avance en la mejora genética si se usan los genotipos de alta aptitud combinatoria.

Es por esto que en su intento por hacer más eficiente la estimación de la aptitud combinatoria general (ACG), los fitomejoradores han recurrido a diferentes métodos o procedimientos para su estimación. Mendoza (1988); Palacios y Ángeles (1990) los describen como:

- a) Prueba de mestizos.
- b) El empleo de cruzas dialelicas.
- c) El comportamiento de líneas *per se*.

El primer autor sugiere el empleo de líneas *per se* ya que este es un buen criterio inicial para descartar líneas progenitoras de híbridos en menor tiempo y con menos recursos, sin embargo la utilización de este método tiene 2 riesgos al utilizar solamente el rendimiento de las líneas *per se* como criterio para seleccionar progenitores, los cuales son:

1. Que las frecuencias y el nivel de rendimiento de híbridos superiores obtenidos al combinar líneas *per se* de alto rendimiento sean menores a las que se obtendrían al cruzar líneas de alta ACG.
2. Que se pierdan algunos híbridos de alto rendimiento factibles de lograrse con líneas de bajo rendimiento pero de alta heterosis.

Los fitomejoradores en su intento por conocer cual de los métodos es el más eficiente para conocer el valor genético de las líneas, su clasificación dentro de un grupo heterótico y la identificación de híbridos de alto rendimiento, se han dado a la tarea de realizar diversas investigaciones, para saber cual de ellos es el más eficiente, sin llegar a algo preciso, por lo cual se siguen empleando los tres, esto dependiendo de el objetivo del mejorador.

Por su parte, González *et al.* (1990), realizaron un trabajo en el cual utilizaron líneas de alto rendimiento *per se* sin considerar su ACG; líneas de alto rendimiento *per se* y alta ACG y líneas de alta ACG, estas líneas fueron evaluadas en un diseño bloques al azar. Los resultados obtenidos por estos autores fueron que: 1) la prueba de líneas *per se* fue tan eficiente como la de los mestizos para evaluar ACG de las líneas, teniendo además mayor poder discriminatorio; 2) que las líneas de alto rendimiento *per se* fueron a su vez de alta ACG y dieron lugar a híbridos de cruce simple de alto rendimiento. Por lo que concluyeron que la prueba de ACG es innecesaria para detectar líneas de alto rendimiento y de alta aptitud combinatoria específica.

Sin embargo, Pérez *et al.* (1991) sugieren la estimación de la aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) mediante cruzamientos dialélicos, ya que estos han sido efectivo para clasificar progenitores y sus cruces en maíz, como base para formar y establecer programas de mejoramiento por selección recíproca recurrente, en las cuales se pueden aprovechar los efectos aditivos y no aditivos de algún par de variedades que muestren una alta respuesta heterótica.

Gómez *et al.* (1988) evaluaron líneas avanzadas de maíz de origen diverso a través del diseño 4 Griffing para obtener híbridos superiores y estimar aptitud combinatoria de líneas para su aprovechamiento. Los resultados obtenidos fueron que las líneas con mayor efecto aditivos fueron: D7501-471-2 y LE-27; las líneas de Río Bravo formaron los híbridos experimentales con más altos efectos específicos; los híbridos experimentales que superaron al mejor testigo (H-511) fueron: LRB-14-413-7 x LE-36, D7501-471-2 x LE-27, D7501-471-2 X LE-36, D7501-471-2 x LRB-16-411-2, LRB-213-41 X LE-27, VS-521-34-2 X LRB-14-413-7, todos ellos formados con líneas de diferentes programas de mejoramiento genético.

Así también, Rivas y Barriga (2002) realizaron una investigación donde cruzaron 6 genotipos de cebada en un arreglo dialélico para evaluar la importancia de los efectos de la capacidad combinatoria y el tipo de acción génica para rendimiento de grano y 12 caracteres de calidad maltera. Donde el comportamiento de los híbridos F<sub>1</sub> fue analizado utilizando el modelo 1, método 2 de Griffing. El análisis de capacidad combinatoria general (ACG), de capacidad combinatoria específica (ACE) y la relación ACG/ACE, demostraron que ocho de los trece estudiados mostraron expresión asociada a efectos génicos de tipo aditivos. Por otra parte, señalan que la varianza génica aditiva aumenta a medida que se avanza en generaciones de autofecundación.



Vega y Bejarano (2004), realizaron un trabajo para determinar la capacidad combinatoria en un conjunto de 18 líneas endocriadas de maíz de diferentes procedencias, las cuales fueron escogidas por sus características como: alta capacidad combinatoria general, buen vigor y buen comportamiento *per se*. Estas líneas fueron evaluadas a través de un sistema de cruzamiento dialélico modificado o método 4 de Griffing. Al final del estudio los autores observaron que las mejores líneas para posteriores programas de hibridación fueron las líneas: Capitain 63-6-1, ETO B-2053, Col.- 21, Llera III-50 y 5- Cha- 51 en base a la magnitud de la varianza para capacidad combinatoria general y la específica asociada con las líneas: 72-BS8 (S) C1, 72-BS3. Además observó que la capacidad combinatoria específica está mayormente influenciada por los factores ambientales.

Por su parte Sámano y De León (2003), mencionan que los efectos de aptitud combinatoria general son de mayor importancia en la formación de híbridos ya que al cruzar dos o al menos un progenitor con valores altos en ACG aseguran híbridos con un alto potencial de rendimiento, mientras que los valores de ACE no muestran tan alta correlación con el rendimiento de los híbridos superiores.

## **PROBADORES**

Las etapas de selección de progenitores involucra el uso de probadores los cuales son esenciales para el éxito de un programa de mejoramiento de híbridos por lo que se

deberá elegir el probador adecuado para obtener información confiable sobre el comportamiento de las líneas y para determinar cuales se combinan bien con otras.

Se da el nombre de probador a la línea, variedad, híbrido o cualquier otro material genético con el cual se mide la aptitud combinatoria de un grupo de líneas endocriadas, por lo cual es importante contar con probadores que hagan una eficiente discriminación de líneas, a fin de detectar las más sobresalientes. Durón y López (1991).

Desde la adopción del cruzamiento línea pura por variedad para estudiar la aptitud combinatoria, se han propuesto como progenitores de las cruzas de prueba a otros probadores en lugar de las variedades de polinización abierta, ya que indudablemente el mejor probador es el que proporcione más información sobre el comportamiento de las líneas cuando se utilicen en otras combinaciones. (Allard 1980).

En cambio Jurgheimer (1981) establece que el tipo de probador que se debe usar para la evaluación de líneas puras en combinaciones híbridas depende principalmente de si la información deseada es sobre aptitud combinatoria general o específica; ya que debido a su heterogeneidad, las variedades de polinización libre y sintéticos generalmente se usan para determinar la aptitud combinatoria general, mientras que los progenitores femeninos de cruce simple constituyen excelentes probadores para determinar la aptitud combinatoria específica.

Sin embargo, Lobatos *et al.* (2002) mencionan que el mejor probador es una línea de baja aptitud combinatoria general (ACG) en comparación con la línea de alta ACG y la variedad original. Los criterios utilizados por el autor para determinar el mejor probador de la ACG fueron:

- 1) El coeficiente de variación genotípica (CVG). Bajo este criterio el mejor probador es aquel que presenta mayor variación entre sus mestizos.

- 2) El Coeficiente de divergencia (CD). Para este criterio el mejor probador, es el que permite el menor coeficiente de divergencia con respecto al orden previamente establecido de las líneas de aptitud combinatoria general (ACG) conocida.

- 3) El efecto del probador. Con base en este criterio, el mejor probador es aquel que presenta el menor efecto genotípico.

Por su parte Márquez (1988), considera que el probador adecuado es el probador homocigote recesivo, ya que permite mejor discriminación de las líneas a través de una mayor variación entre sus mestizos. Mientras que para Narro *et al.* (2003) el probador ideal es aquel que discrimina altamente las líneas y es un buen representante de todos los probadores. Además mencionan que el probador conveniente es aquel que muestre simplicidad en su uso, capacidad de clasificar las líneas y aumente la producción de una población usando cultivares seleccionados.

Por su parte, Vasal *et al* (1995) mencionan que existen diversas opiniones sobre el tipo de probador ideal a utilizar en una prueba de progenies, pero los autores sugiere que el mejor probador sería aquel que tenga baja frecuencia de alelos favorables, facilite la

discriminación entre progenies, reduzca las fases de evaluación y que además ayude a identificar híbridos sobresalientes.

Por otra parte, el comportamiento de los cruzamientos de prueba depende de la aptitud combinatoria general asociada a efectos aditivos y de la aptitud combinatoria específica que depende de las diferencias en frecuencias génicas para alelos con dominancia parcial a completa entre el material probado y los probadores. Además cuando se utilizan probadores divergentes en la evaluación de líneas, estas diferencias pueden reflejarse en la existencia de interacciones línea por probador, la cual es indicadora de la existencia de efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de las líneas con los probadores y que ponen en evidencia la presencia de dominancia y/o efectos epistáticos que involucran dominancia en el control del carácter en cuestión (Nestares *et al.*, 1999).

Palacios y Ángeles (1990) realizaron un estudio para determinar el tipo de probador más adecuado para la selección de líneas por ACG o ACE, utilizando una muestra de 41 líneas  $S_1$  de la variedad V-522 y 7 probadores con diferencias en cuanto a base genética. Reportaron que el mejor probador para evaluar líneas  $S_1$  por ACG resulto ser la población base V-520C, por producir una mayor variabilidad entre mestizos, mostrar menores índices de divergencia y por permitir seleccionar un mayor número de líneas con alta ACG. Mientras que el mejor probador para evaluar líneas por su ACE para rendimiento fue el híbrido doble H-507, por tener la media de rendimiento más alta en general y por combinarse con otras líneas en particular.

Los probadores son utilizados para establecer modelos heteróticos, mejoramiento entre poblaciones, formación y mejoramiento de nuevos grupos heteróticos, evaluación de la habilidad combinatoria de las líneas e identificación de las combinaciones específicas de híbridos (Pandey y Gardner, 1992; Paliwal, 2001). Mientras una línea endocriada probadora será útil para evaluar la aptitud combinatoria y para la identificación de combinaciones de cruza simple específicas, por otra parte un probador híbrido simple podrá ser útil para las combinaciones de tres vías y un probador no endocriado podrá ser necesario para identificar combinaciones híbridas mestizo x líneas endocriadas x líneas no endocriadas. (Paliwal, 2001).

Sin embargo, Zambezi *et al.* (1986) expresaron que los probadores que tiene una base genética estrecha, se han utilizado con éxito para la mejora de la capacidad combinatoria general (ACG) así como capacidad combinatoria específica (ACE) en el maíz, pero no se aceptan generalmente cuando son iguales a los probadores con una amplia base genética para este propósito.

El uso de probadores representa una estrategia metodológica alternativa en generaciones de híbridos (Sierra *et al.* 1998), ya que discriminan líneas nuevas y además sus cruzamientos pueden utilizarse directamente como híbridos comerciales esto se logra sí el probador es una línea o una cruza simple sobresaliente. Gómez *et al.* (1988).

### III. MATERIALES Y METODOS

El desarrollo del trabajo fue realizado con materiales derivados de dos grupos germoplásmicos con adaptación a la región de El Bajío, cuya descripción se presenta a continuación.

#### **Descripción del material genético utilizado**

**Grupo 1.** Grupo Ideotipo: población constituida por plantas con excelentes atributos agronómicos, que se originó de la transformación de plantas enanas a normales mediante un programa continuo de retrocruzas, donde el donador fue una población de amplia y selecta base genética con adaptación al área de El Bajío. Las principales características de tal población son: individuos de altura intermedia, hojas cortas y erectas, espiga compacta, madurez intermedia, alto índice de cosecha y perfecta adaptación a regiones con altitudes de 1000 a 2000 msnm.

**Grupo 2.** Grupo QPM (quality protein maize): constituido a partir de 10 líneas proporcionadas por el Programa de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), su particularidad es que muestran un alto contenido de los aminoácidos, lisina y triptofano, su grano es cristalino con adaptación al área del subtropico.

Se evaluaron 2 series de cruzas triples; una constituida por 10 líneas ideotipo y 9 probadores (cruzas simples) del grupo QPM cuya genealogía se puede apreciar en el Cuadro 3.1 y otra donde los híbridos triples fueron formados con 10 líneas QPM y 7 probadores (cruzas simples) del grupo ideotipo, mismas que se presentan en el Cuadro 3.2.

En la evaluación del comportamiento de esta serie de híbridos triples se usaron como testigos un grupo selecto de híbridos comerciales, de los cuales 5 son de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y el resto pertenecen a compañías privadas, liberados para la región de El Bajío, cuya descripción se observa en el Cuadro 3.3

Cuadro 3.1. Genealogías de las líneas ideotipo y sus probadores QPM.

| <b>Líneas Ideotipo</b> |                           | <b>Probador QPM</b> |                              |
|------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------------|
| 1                      | MLS4-1 RC4 N-7-1-1        | 8                   | (6320-6 x 6310*Bulk-13)      |
| 2                      | MLS4-1N-1-1-A-5-1-A       | 9                   | (CML-181 x 6310*Bulk-11)     |
| 3                      | 232-10-11-1 Rel N-19-4-2  | 10                  | (6310*Bulk-3 x 6310*Bulk-12) |
| 4                      | MLN                       | 11                  | (6310*Bulk-13 x 6320-5)      |
| 5                      | 255-18-19N-14-1-A-4-2-A   | 12                  | (6310*Bulk-11 x CML-181)     |
| 6                      | 255-18-19 RC4 N-20-2-1    | 13                  | (CML-173 x CML-174)          |
| 7                      | 53-36-37-N-10-2-A-1-1-A   | 14                  | (6310*Bulk-3 x 6310*Bulk-11) |
| 8                      | 232-10-11-1N-13-1-A-1-2-A | 15                  | (6310*Bulk-2 x 6320-6)       |
| 9                      | 255-1-1-N-11-1-A-2-4-A    | 16                  | (6310*Bulk-3 x 6310*Bulk-13) |
| 10                     | 232-10-11-1 RC4 N-13-1-2  |                     |                              |

Cuadro 3.2. Genealogías de las líneas QPM y sus probadores ideotipo.

| <b>Líneas QPM</b> | <b>Probador Ideotipo</b>                                 |
|-------------------|--|
| 11 6310*Bulk-12   | 1 (232-10-11-1N-13-1-A-1-2-A x 232-10-11-1 Rec N-19-4-2) |
| 12 6310*Bulk-11   | 2 (232-10-11-1N-13-1-A-1-2-A x MLS4-1 RC4 N-7-1-1)       |
| 13 CML-186        | 3 (255-1-1-N-11-1-A-2-4-A x 232-10-11-1 Rec N-19-4-2)    |
| 14 6320-6         | 4 (255-18-19N-14-1-A-4-2-A x 255-1-1-N-11-1-A-2-4-A)     |
| 15 6320-3         | 5 (232-10-11-1RC4N-13-1-2 x MLS4-1RC4 N-7-1-1)           |
| 16 CML-173        | 6 (53-36-37-N-10-2-A-1-1-A x 255-1-1-N-11-1-A-2-4-A)     |
| 17 6310*Bulk-3    | 7 (255-1-1-N-11-1-A-2-4-A x 232-10-11-1 RC4 N-13-1-2)    |
| 18 CML-181        |  |
| 19 CML-174        |  |
| 20 6310*Bulk-2    |  |

Cuadro 3.3. Testigos comunes en los ensayos de rendimiento.

| <b>Testigos comunes.</b> | <b>Procedencia</b> |
|--------------------------|--------------------|
| 1 AN-447                 | 1 U.A.A.A.N        |
| 2 AN-450                 | 2 U.A.A.A.N        |
| 3 AN-452                 | 1 U.A.A.A.N        |
| 4 AN-453                 | 2 U.A.A.A.N        |
| 5 (10-11 x ML) X CML-373 | 2 U.A.A.A.N        |
| 6 LINCE                  | 1 COMPAÑÍA PRIVADA |
| 7 LEOPARDO               | 1 COMPAÑÍA PRIVADA |
| 8 ZAPATISTA              | 1 COMPAÑÍA PRIVADA |
| 9 AGRARISTA              | 1 COMPAÑÍA PRIVADA |
| 10 RESISTENTE            | 1 COMPAÑÍA PRIVADA |

<sup>1</sup>= Híbridos comerciales.

<sup>2</sup>= Híbridos experimentales.



## Metodología

Los cruzamientos fueron formados en la localidad de Tepalcingo, Morelos en el ciclo Otoño-Invierno del 2001-2002, empleándose como hembras las cruza simples de cada grupo, que fueron cruzadas con las líneas del otro grupo para aplicar la metodología línea x probador para conocer el efecto de las líneas, probadores, así como su interacción, generando así 85 cruza triples del grupo QPM x Ideotipo y 70 del grupo Ideotipo x QPM. Todas estas cruza fueron evaluadas durante el ciclo P-V 2002 en dos localidades representativas de la región del Bajío Mexicano que se describen en el Cuadro 3.4.

**Cuadro 3.4.** Características geográficas y climatológicas de los ambientes de prueba.

| Ambiente         | Altitud (msnm) | Latitud Norte | Longitud Oeste | Lluvia anual (mm) | Temperatura media (°C) |
|------------------|----------------|---------------|----------------|-------------------|------------------------|
| Celaya, Gto.     | 1754           | 20° 32´       | 100° 49´       | 597               | 21                     |
| La Piedad, Mich. | 1700           | 20° 21´       | 102° 02´       | 700               | 17                     |

## Descripción de la parcela experimental y fecha de siembra

La siembra de los tratamientos se llevó a cabo bajo un diseño de bloques incompletos con dos repeticiones bajo un arreglo de alfa-lattice. La parcela experimental lo constituyo un surco de 0.75 m de ancho con 21 plantas por parcela a una distancia de 0.19 m entre planta y planta. Las fechas de siembra por ambiente de evaluación fueron: en Celaya, Gto., el 7 de mayo de 2002 y el 17 de abril de 2003, en la Piedad, Mich.

## **Labores culturales**

Siembra. Se realizó en el ciclo primavera-verano en los años 2002 y 2003, esta se realizó manualmente depositando dos semillas por golpe, para posteriormente realizar un aclareo a una planta para así obtener el número óptimo de plantas.

Fertilización. La fórmula aplicada en los dos ambientes fue 180-90-00 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente. Todo el fósforo y la mitad del nitrógeno se aplicaron al momento de la siembra, el resto del nitrógeno se aplicó al primer cultivo.

Riegos. El número de riegos fue variable en ambas localidades, sujetándose a la precipitación pluvial y en caso de ser necesario se aplicó agua rodada durante el desarrollo vegetativo, en función de los requerimientos del cultivo.

Control de malezas. En todos los ambientes de evaluación se utilizó un herbicida preemergente denominado Primagram Gold<sup>®</sup> (cuyo ingrediente activo es S-Metalaclor + atrazina) a razón de 4 L ha<sup>-1</sup> aplicado después del riego de siembra.

Control de Plagas. El combate de plagas se llevó a cabo durante el ciclo vegetativo del cultivo, teniendo prioridad durante las primeras etapas del desarrollo y crecimiento del mismo, de tal manera que no interfiera en las características experimentales.

Cosecha. Se cosechó por parcela útil, en forma manual para posteriormente registrar el peso de campo y contenido de humedad.

## **Variables agronómicas registradas**

- Días a floración femenina (DFF). Número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha cuando el cincuenta por ciento de las plantas presentaron estigmas receptivos.
- Días a floración masculina (DFM). Número de días transcurridos desde la siembra hasta la fecha cuando el cincuenta por ciento de las plantas presentaron anteras dehiscentes.
- Altura de planta (AP). Es la distancia en centímetros entre la base de la planta y el nudo de inserción de la hoja bandera.
- Altura de mazorca (AM). Es la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la mazorca principal.
- Acame de raíz (AR). Es el por ciento de plantas acamadas por parcela, considerando aquellas que presentaban una inclinación mayor de 30° con respecto a la vertical.
- Acame de tallo (AT). Es el número de plantas expresado en por ciento, que presentaron el tallo quebrado por debajo de la mazorca principal.
- Mala cobertura (MC). Es el por ciento de plantas cuya mazorca no se encontró cubierta totalmente por el totomoxtle (brácteas) en relación con el total de las mazorcas cosechadas en cada parcela.

- Plantas con *Fusarium* spp (PF). Por ciento de plantas que se observaron total o parcialmente dañadas por este hongo en cada parcela, con respecto al total de las plantas establecidas.
- Calificación de mazorca (CALMC). Es una calificación visual de las mazorcas cosechadas por parcela útil, que considera llenado de grano, sanidad, tamaño y uniformidad. La escala fue de 1 a 5 (1 muy buena, 5 muy mala).
- Prolificidad (PROL). Número de mazorcas cosechadas entre número de plantas cosechadas expresado en por ciento. Se estima mediante la siguiente formula:

$$\text{Mazorcas x 100 plantas} = \frac{\text{No.deMazorcas}}{\text{No.dePlantas}} \times 100$$

- Peso de campo (PC). Es el peso total de mazorcas cosechadas por parcela útil, expresado en kilogramos.
- Humedad de grano (CH%). Para obtener este dato, se tomó un número de mazorcas representativas de la parcela, a las cuales se les desgranó de 3 a 5 hileras para obtener cerca de 250 gramos; esta muestra se somete a medida en un aparato *Dickie Jhon*, que determina la humedad del grano. Esta medición se hace al momento de la cosecha.
- Rendimiento (Rend). Es la producción estimada por parcela experimental reportada en t ha<sup>-1</sup> de mazorcas al 15.5 % de humedad. Éste se obtuvo al multiplicar el peso seco (PS) por el factor de conversión (FC).

$$PS = \frac{(100 - \%H)}{100} \times PC$$

Donde: % H = porcentaje de humedad del grano a la cosecha por parcela y PC = peso de campo en kg.

$$FC = \frac{10000}{APU \times 0.845 \times 1000}$$

APU = área de parcela útil. Es el producto de la distancia entre surcos por la distancia entre matas por el número exacto de plantas por parcela; 0.845 = constante para transformar el rendimiento de peso seco al 15.5 % de humedad; 1000 = constante para obtener el rendimiento en t ha<sup>-1</sup>; y 10,000 = valor correspondiente a la superficie de una hectárea en m<sup>2</sup>.

**Rendimiento ajustado por covarianza.** Cuando el número de plantas cosechadas fue muy variable entre parcelas dentro de experimentos se realizó un análisis de covarianza, para estimar el efecto de esta variable en la expresión del rendimiento. Una vez comprobado que la covariable mostró efecto significativo mediante la prueba de F, el rendimiento fue ajustado mediante la siguiente fórmula.

$$\hat{Y}_{ij} = Y_{ij} - b_i (x - \tilde{A})$$

Donde:  $\hat{Y}_{ij}$  = rendimiento corregido por covarianza;  $Y_{ij}$  = rendimiento observado;  $b_i$  = coeficiente de regresión estimado;  $x$  = número de plantas cosechadas en la parcela;  $\tilde{A}$  = promedio de plantas cosechadas en el experimento.

### Modelo estadístico general.

El análisis de varianza se realizó en base al modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + R_{j(i)} + T_k + TL_{ik} + \mathcal{E}_{ijk}$$

### Descomposición de la suma de cuadrados.

Se realizó una descomposición de la suma de cuadrados de tratamientos para entender la contribución de los componentes a la variación total, (Cuadro 3.5) como sigue.

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_{ijkmn} = \mu + L_i + R_{j(i)} + CT_k + T_m + C_n + CTL_{ki} + TL_{mi} + CL_{ni} + \mathcal{E}_{ijkmn}. \\ \text{Modelo Estadístico de la subdivisión de los tratamientos.} \\ Y_{ijklmn} = \mu + L_i + R_{j(i)} + I_k + P_l + IP_{kl} + T_m + C_n + IL_{ki} + PL_{li} + IPL_{kli} + TL_{mi} + CL_{ni} + \mathcal{E}_{ijklmn} \end{array} \right.$$

Donde:

$Y_{ijk}$ ,  $Y_{ijkmn}$ ,  $Y_{ijklmn}$  = variable de respuesta;  $\mu$  = efecto de la media general;  $L_i$  = efecto de la  $i$ -ésima localidad;  $R_{j(i)}$  = efecto de  $j$ -ésimo bloque dentro de la  $i$ -ésima localidad;  $T_k$  = efecto del  $k$ -ésimo tratamiento;  $CT_k$  = efecto de la  $k$ -ésima cruza triple;  $I_k$  = Efecto de la  $k$ -ésima línea;  $P_l$  = Efecto del  $l$ -ésimo probador;  $IP_{kl}$  = Efecto de la  $k$ -ésima línea por el  $l$ -ésimo probador;  $T_m$  = Efecto del  $m$ -ésimo testigo;  $C_n$  = Efecto del contraste;  $LT_{ik}$  = efecto del  $k$ -ésimo tratamiento por la  $i$ -ésima localidad;  $CTL_{ki}$  = efecto de la  $k$ -ésima cruza triple por la  $i$ -ésima localidad;  $IL_{ki}$  = Efecto de la  $k$ -ésima línea por la  $i$ -ésima localidad;  $PL_{li}$  = Efecto de la  $l$ -ésimo probador por la  $i$ -ésima localidad;  $IPL_{kli}$  = Efecto

de la k-ésima línea por el l-ésimo probador por la i-ésima localidad;  $TL_{mi}$  = Efecto del m-ésimo testigo por la i-ésima localidad;  $CL_{ni}$  = Efecto del contraste por la i-ésima localidad;  $\epsilon_{ijk}, \epsilon_{ijkmn}, \epsilon_{ijklmn}$  = efecto del error experimental.

### 3.5. Estructura del análisis de varianza combinado para dos localidades.

| F.V                    | G.L             |
|------------------------|-----------------|
| Loc                    | l-1             |
| Rep/Loc                | (r-1)l          |
| Tratamiento            | t-1             |
| Cruzas Triples         | c-1             |
| Líneas                 | j-1             |
| Probadores             | p-1             |
| Línea x Probador       | (j-1)(p-1)      |
| Testigo                | e-1             |
| C. tr Vs T             | c-1 Vs e-1      |
| Tratamiento x loc      | (t-1) (l-1)     |
| Cruzas Triples x loc   | (c-1)(l-1)      |
| Línea x Loc            | (j-1)(l-1)      |
| Probador x Loc         | (p-1)(l-1)      |
| Línea x Probador x Loc | (l-1)(p-1)(l-1) |
| Testigo x loc          | (e-1)(l-1)      |
| C. tr Vs T x loc       | (c-1)(l-1)      |
| Error                  | Diferencia      |
| Total                  | lrtejp-1        |

### **Coeficiente de variación**

Se calculó el coeficiente de variación (CV), mediante la aplicación de la siguiente fórmula.

$$CV = \frac{\sqrt{CMEE}}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

CV = coeficiente de variación (%).

CMEE = cuadrado medio del error experimental.

$\bar{X}$  = media general.

### **Estimación de efectos de ACG para líneas.**

$$g_l = \frac{\chi_{i...}}{\text{Pr } L} - \frac{\chi_{...}}{l \text{ Pr } L}$$

$g_l$  = Aptitud combinatoria general de líneas.

### **Estimación de efectos de ACG para probadores.**

$$g_p = \frac{\chi_{.j.}}{lrL} - \frac{\chi_{...}}{l \text{ Pr } L}$$

$g_p$  = aptitud combinatoria general de probadores.



### **Estimación de efectos de ACE de los híbridos.**

$$g_h = \frac{\chi_{ij..}}{rL} - \frac{\chi_{i...}}{PrL} - \frac{\chi_{.j..}}{lrL} + \frac{\chi_{....}}{lPrL}$$

$g_h$  = aptitud combinatoria específica de híbridos.

Donde:

l = No. de líneas. P = No. de probadores. r = No. de repeticiones. L = No. de localidades.

Se empleo como DMS el error estándar de la media por 2.

### **Criterios de selección**

Se realizó un análisis de varianza para observar si existen diferencias entre localidades, bloques, cruzas de prueba, cruzas de prueba por localidad. En el análisis de varianza las fuentes de variación se se particionarán en líneas, probador y líneas por probador para observar a quien se le atribuye tal diferencia.

Si se detectan diferencias en las fuentes de variación líneas y probadores la selección se realizará en base a los efectos favorables (rendimiento y prolificidad (+) y

para el resto de las variables (-) de ACG, atendiendo la superioridad de las líneas o probadores, preferentemente en rendimiento, precocidad, sanidad y alturas buscando que sus efectos sean estadísticamente diferentes de cero. Sin embargo, también se dará oportunidad a aquellas líneas o probadores que muestren una tendencia favorable de comportamiento en las variables evaluadas a pesar de que estas no sean estadísticamente diferentes de cero, esto último por ser de interés para el programa de mejoramiento.

En la selección de probadores se tomó en cuenta otro criterio más adecuado para clasificarlos en base a la capacidad que tienen para discriminar líneas, siendo este criterio el valor de sus cuadrados medios exhibido por las líneas dentro de cada probador.

Por último los híbridos experimentales o cruza de prueba que muestren gran potencial genético y agronómico fueron identificados con base a los efectos de ACE, así como por su superioridad estadística en relación al comportamiento agronómico promedio de los híbridos comerciales utilizados como testigos.

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Para poder cumplir con los objetivos de este trabajo, así como también, aceptar o rechazar las hipótesis planteadas, en este capítulo se presentan los resultados estadísticos obtenidos de los análisis realizados para un patrón heterótico donde se realizaron dos diferentes análisis, el primer análisis está formado por líneas ideotipo y probadores QPM, mientras que el segundo esta integrado por líneas del QPM y probadores ideotipo, para poder identificar las líneas elites de cada población así como los probadores ideales para cada grupo germoplasmico del patrón heterótico.

En el Cuadro 4.1 se muestran los cuadrados medios del análisis combinado para los caracteres evaluados en el presente estudio, aunado a estos resultados, también se presentan los niveles de significancia de los valores de F, los cuales están referidos a la probabilidad de 0.01 (\*\*) y 0.05 (\*), indicando las diferencias existentes en los elementos que componen la fuente de variación.

En el error experimental existen diferencias en el número de grados de libertad entre los caracteres evaluados, esto es debido a que hubo datos perdidos.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinado para las cruzas de prueba utilizando como probador al grupo QPM y líneas del grupo Ideotipo a través de dos ambientes; Celaya, Gto. y La Piedad Mich.

| Variables                 | DFE |            | DFM        |     | AP         |           | AM  |            | PROLF |          | RMAPA |         | CALMC |          | REND |  |
|---------------------------|-----|------------|------------|-----|------------|-----------|-----|------------|-------|----------|-------|---------|-------|----------|------|--|
|                           | Gl  |            | Gl         |     | Gl         |           | Gl  |            | Gl    |          | Gl    |         | Gl    |          | Gl   |  |
| <b>Localidades</b>        | 1   | 30404.89** | 34756.45** | 1   | 67542.74** | 5621.38** | 1   | 57944.29** | 1     | 785.34** | 1     | 20.23** | 1     | 488.12** |      |  |
| <b>Rep (loc)</b>          | 2   | 3.66       | 9.11       | 2   | 1795.26**  | 1874.96** | 2   | 4329.31**  | 2     | 89.60    | 2     | 3.62**  | 2     | 4.63     |      |  |
| <b>Tratamientos</b>       | 84  | 38.03**    | 36.84**    | 84  | 541.53**   | 702.29**  | 84  | 1425.15**  | 84    | 84.40**  | 84    | 0.75**  | 84    | 18.97**  |      |  |
| <b>Cruza triple</b>       | 74  | 27.80**    | 25.08**    | 74  | 484.43**   | 609.57**  | 74  | 1500.73**  | 74    | 80.03**  | 74    | 0.77**  | 74    | 19.48**  |      |  |
| <b>Líneas</b>             | 9   | 46.53**    | 35.26**    | 9   | 1239.81**  | 1070.97** | 9   | 8074.78**  | 9     | 93.08**  | 9     | 2.79**  | 9     | 91.11**  |      |  |
| <b>Probador</b>           | 8   | 131.32**   | 122.00**   | 8   | 868.42**   | 1419.80** | 8   | 1910.75**  | 8     | 208.96** | 8     | 0.47*   | 8     | 11.57**  |      |  |
| <b>Lín x prob</b>         | 57  | 8.82       | 7.95       | 57  | 289.97     | 396.08*   | 57  | 416.56     | 57    | 56.30**  | 57    | 0.44**  | 57    | 7.63**   |      |  |
| <b>Testigo</b>            | 9   | 102.73**   | 105.71**   | 9   | 1059.43**  | 1539.89** | 9   | 777.00     | 9     | 127.67** | 9     | 0.50    | 9     | 15.72*   |      |  |
| <b>C. trip Vs testigo</b> | 1   | 184.11**   | 256.62**   | 1   | 0.34       | 10.37     | 1   | 1112.42    | 1     | 6.11     | 1     | 1.28*   | 1     | 8.65     |      |  |
| <b>Tratamiento x loc</b>  | 84  | 9.63       | 8.84       | 84  | 206.62     | 300.02    | 84  | 689.74*    | 84    | 43.94    | 84    | 0.31*   | 84    | 8.10**   |      |  |
| <b>C. triple x loc</b>    | 74  | 10.33      | 9.25       | 74  | 219.23     | 318.87    | 74  | 636.64**   | 74    | 46.49*   | 74    | 0.32*   | 74    | 7.91**   |      |  |
| <b>Loc x línea</b>        | 9   | 10.90      | 10.35      | 9   | 257.71     | 246.23    | 9   | 2197.99**  | 9     | 28.45    | 9     | 0.23    | 9     | 20.05**  |      |  |
| <b>Loc x prob</b>         | 8   | 23.33**    | 17.25*     | 8   | 151.90     | 329.81    | 8   | 360.22     | 8     | 44.88    | 8     | 0.29    | 8     | 9.87*    |      |  |
| <b>Loc x lín x prob</b>   | 57  | 8.28       | 7.90       | 57  | 207.36     | 326.89    | 57  | 433.71     | 57    | 49.09*   | 57    | 0.34*   | 57    | 5.83*    |      |  |
| <b>Testigo x loc</b>      | 9   | 4.08       | 5.06       | 9   | 98.48      | 175.72    | 9   | 1172.84    | 9     | 22.92    | 9     | 0.30    | 9     | 10.00    |      |  |
| <b>H Vs T x L</b>         | 1   | 7.75       | 11.73      | 1   | 152.88     | 31.59     | 1   | 92.80      | 1     | 27.14    | 1     | 0.00    | 1     | 4.09     |      |  |
| Error                     | 225 | 7.71       | 7.72       | 224 | 268.84     | 272.38    | 226 | 461.26     | 224   | 31.38    | 226   | 0.23    | 226   | 4.26     |      |  |
| C.V. (%)                  |     | 3.15       | 3.22       |     | 7.11       | 13.59     |     | 16.40      |       | 10.51    |       | 14.01   |       | 13.90    |      |  |
| Media                     |     | 88.57      | 86.89      |     | 230.65     | 124.29    |     | 123.90     |       | 53.95    |       | 3.38    |       | 14.68    |      |  |
| Máximo                    |     | 111.00     | 109.00     |     | 290.00     | 175.00    |     | 300.00     |       | 71.00    |       | 5.00    |       | 24.08    |      |  |
| Mínimo                    |     | 70.00      | 68.00      |     | 164.00     | 70.00     |     | 59.00      |       | 36.00    |       | 2.00    |       | 4.79     |      |  |
| Error estándar            |     | 1.33       | 1.33       |     | 7.86       | 7.91      |     | 10.26      |       | 2.69     |       | 0.23    |       | 0.99     |      |  |

Rep (loc)= repeticiones dentro de localidades; lín x prob= línea por probador; C.trip = crusa triple; loc= localidad; Lin= línea; prob= probador; H Vs T\*Loc= híbrido *versus* testigo por localidad.; C.V. (%)= coeficiente de variación; Gl= grados de libertad para el análisis de varianza; \*, \*\* =Significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; DFE= días a floración femenina; DFM= días a floración masculina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; PROLF= prolificidad; RMAPA= relación mazorca planta; CALMC= calificación de mazorca; REND= rendimiento.

Para la fuente de variación localidades se presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) para todas las características agronómicas evaluadas, estas son atribuibles a que las localidades de evaluación no presentan las mismas condiciones climáticas, edáficas y no se dieron las mismas prácticas de manejo.

Para repeticiones dentro de localidades se encontró diferencia altamente significativa para altura de planta y mazorca, prolificidad, calificación de mazorca lo que indica que el diseño utilizado permitió detectar las diferencias ocasionadas por el ambiente de evaluación y este efecto ya no se acumulo en el error, es decir, el bloqueo fue efectivo, en cambio fueron no significativas para días a floración femenina y masculina, relación mazorca planta y rendimiento, esto se atribuye a que las repeticiones se comportaron de igual manera haciendo que no fuera eficiente para estas variables.

En la fuente de tratamiento se encontró diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) para todas las características evaluadas, estas diferencias se debieron a que los tratamientos involucraron cruza triples y testigos y por lo tanto era esperado, detectar diferencias, presumiblemente debido a la variabilidad genética, lógico entre esto tipos de materiales.

En cruza triples se encontró diferencias altamente significativas para todas las variables, estas son atribuidas a la diversidad genética que presentan los progenitores y que se exhiben en el híbrido.

Al detectar diferencias en las cruzas triples, estas se subdividieron en los efectos de líneas, probadores y la interacción entre ellos, encontrando diferencias altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) para líneas en todas las variables agronómicas, de esto se infiere que existe variabilidad genética entre líneas dentro de este grupo, lo cual permitirá detectar líneas con buenos atributos agronómicos y alto valor genético, las cuales podrán ser utilizadas para colocarlas dentro de los materiales élite del programa así como potenciales progenitoras de nuevos híbridos con buen potencial agronómico.

En la subdivisión de los efectos de probadores sólo la característica calificación de mazorca presento diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) y el resto de las características mostraron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), lo que se atribuye a que cada probador tiene características genotípicas y fenotípicas propias y diferentes, lo cual permitirá la identificación de aquellos que exhiban el mayor potencial genético para ser progenitores de nuevos híbridos, esto probablemente también tiene relación con la capacidad que muestran los probadores para discriminar líneas.

La interacción línea por probador presento diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) para relación mazorca-planta, calificación de mazorca, rendimiento, mientras que para altura de mazorca fue significativa ( $P \leq 0.05$ ). Esto indica que las líneas cambian de comportamiento relativo al ser cruzadas con diferentes probadores, se infiere además, que este resultado esta asociado con la capacidad de los probadores para discriminar líneas.

En el caso de los testigos se encontraron diferencias al 0.01 de probabilidad para cinco de las características evaluadas (DFF, DFM, AP, AM y RMAPA), así como para rendimiento al 0.05 de probabilidad y el resto de las variables evaluadas no presentaron diferencias significativas. Las diferencias encontradas reafirman la gran diversidad que existen en los híbridos que están en el mercado, ya que cada uno de estos tienen por lo menos una característica que les permite ser atractivo para un grupo de productores, ya sea su precocidad, arquitectura de planta o rendimiento.

El contraste que se incluye en la subdivisión de tratamientos se hizo para comparar el potencial agronómico de los materiales experimentales (cruzas triples) con respecto a los testigos, y encontró diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para días a floración masculina y femenina, y significativa ( $P \leq 0.05$ ) para calificación de mazorca, no encontrándose diferencia significativa para el resto de las variables. Esta ausencia de diferencias estadísticas hace suponer que los materiales experimentales tienen un potencial agronómico similar a los híbridos que se encuentran actualmente en el mercado, esto es de importancia ya que los híbridos triples tendrán la oportunidad de competir en el mercado. Teniendo la necesidad de identificar a aquellos que sean superiores.

Para la interacción de tratamientos por localidad se encontró diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) en rendimiento y significativa ( $P \leq 0.05$ ) para prolificidad y calificación de mazorca, estas diferencias, que muestran los materiales hacia los ambiente de evaluación, indican ausencia de estabilidad; para el resto de las variables no se detectó diferencias estadísticas lo que indica que son estables.

La interacción línea por localidad en la mayoría de las características no se encontraron diferencias estadísticas, a excepción de prolificidad y rendimiento donde se encontraron diferencias al 0.01 de probabilidad.

Para la fuente de variación de localidad por probador se encontró diferencia altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) para días a floración femenina y significativa para ( $P \leq 0.05$ ) días a floración masculina y rendimiento, para el resto de las variables no se encontró diferencia.

La triple interacción de localidad, línea y probador solo mostró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) para relación mazorca-planta, calificación de mazorca y rendimiento.

Las diferencias estadísticas encontradas en las interacciones (loc x línea, loc x probador y loc x línea x probador) indican que el orden y valor relativos de los materiales fueron diferentes a través de los ambientes evaluados, mientras que donde no existió significancia indica que son estables.

Para la fuente de variación testigos por localidad no presentó significancia debido a que los testigos se mantienen estables en los ambientes de evaluación.



En el cuadro 4.1 también se presentan los coeficientes de variación, la media y los valores máximos, mínimos y error estándar de la media de las características evaluadas donde se observa que los coeficientes de variación son aceptables (3.15 a 16.40%) para las características evaluadas con base en los rasgos se consideró que existe buena amplitud entre estas variables para seleccionar buenos genotipos. Con respecto a las medias de cada variables obtenida se utilizara para seleccionar líneas y probadores para obtener híbridos triples con alto potencial genético.

En el Cuadro 4.2 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para dos localidades donde se utilizo como probador a, el grupo ideotipo y como línea al grupo QPM. Debido a que los resultados de este cuadro son muy semejantes al cuadro 4.1 no se discutirá ampliamente para no ser repetitivo, solo se mencionaran las diferencias principales que existen entre ambos análisis.

En cruza triples para ambos análisis mostraron diferencias altamente significativas para todas las variables bajo estudio, sin embargo cabe destacar que cuando se utilizó como probador a el grupo QPM presento mayor variabilidad (cuadrados medios mas altos) para prolificidad, relación mazorca planta y rendimiento, en cambio cuando se utilizó el grupo ideotipo como probador mostró mayor variabilidad para días a floración femenina y masculina, altura de planta y mazorca y calificación de mazorca, por lo cual se puede observar que existe variabilidad en la mayoría de las características evaluadas cuando se utiliza como probador al grupo ideotipo.

Así también se puede observar que cuando se utilizo como probar al grupo QPM la variabilidad de las cruzas triples se atribuye a las líneas para 4 de las variables evaluadas (AP, PROLF, CALMC Y REND) y a los probadores para el resto de las variables (DFF, DFM, AM Y RMAPA), por presentar mayor variabilidad para estas variables evaluadas. Así también se puede observar que cuando se utilizó el grupo ideotipo como probador las líneas presentaron mayor variabilidad (cuadrados medios más altos) para todas las variables evaluadas. Por lo cual se puede considera que en el grupo QPM existe mayor variabilidad genética.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios de los análisis de varianza combinado para las cruzas de prueba utilizando como probador al grupo Ideotipo y líneas del grupo QPM a través de dos ambientes; Celaya, Gto. y La Piedad Mich.

| Variablen                   |     | DFE        | DFM        | AP        | AM        | PROLF     | RMAPA    | CALFMC  | REND      |
|-----------------------------|-----|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|
|                             | GI  |            |            |           |           |           |          |         |           |
| <b>Localidades</b>          | 1   | 36265.73** | 40008.46** | 3447.38** | 22.86     | 2.07      | 152.49*  | 25.10** | 355.795** |
| <b>Rep (loc)</b>            | 2   | 92.88**    | 104.90**   | 95.06     | 292.01    | 1825.01** | 39.30    | 0.65    | 98.970**  |
| <b>Tratamientos</b>         | 79  | 51.17**    | 48.72**    | 537.14**  | 569.27**  | 536.75**  | 69.42**  | 0.90**  | 10.534**  |
| <b>Cruza triple</b>         | 69  | 37.95**    | 35.81**    | 489.18**  | 465.21**  | 540.32**  | 63.46**  | 0.82**  | 9.829**   |
| <b>Líneas</b>               | 9   | 213.21**   | 200.59**   | 1310.67** | 1603.54** | 1433.53** | 223.55** | 1.93**  | 22.312**  |
| <b>Probador</b>             | 6   | 36.67**    | 33.17**    | 403.55    | 285.26    | 1247.86** | 98.75**  | 1.40**  | 17.999**  |
| <b>Lín x prob</b>           | 49  | 8.18       | 8.11       | 367.31**  | 297.63    | 309.67    | 32.27    | 0.57**  | 7.480*    |
| <b>Testigo</b>              | 9   | 131.44**   | 129.05**   | 829.25*   | 1376.03** | 506.03*   | 123.04** | 1.36**  | 16.858**  |
| <b>C. triple Vs testigo</b> | 1   | 207.29**   | 187.49**   | 933.12*   | 337.54    | 648.24    | 0.05     | 1.90*   | 0.341     |
| <b>Tratamientos x loc</b>   | 79  | 9.00       | 7.98       | 246.51    | 274.39    | 367.30    | 37.04    | 0.32    | 7.479*    |
| <b>C. trip x loc</b>        | 69  | 9.66       | 8.33       | 250.48    | 265.00    | 396.26    | 35.02    | 0.29    | 7.356*    |
| <b>Loc x línea</b>          | 9   | 25.29**    | 18.07*     | 84.12     | 373.87    | 389.43    | 70.01*   | 0.13    | 11.049*   |
| <b>Loc x prob</b>           | 6   | 5.72       | 8.33       | 204.50    | 143.43    | 707.42*   | 16.33    | 0.71*   | 9.703     |
| <b>Loc x lín x prob</b>     | 49  | 7.77       | 6.79       | 293.50    | 269.11    | 377.79    | 31.82    | 0.28    | 6.697     |
| <b>Test x loc</b>           | 9   | 3.63       | 4.19       | 244.37    | 248.81    | 199.25    | 28.78    | 0.39    | 5.618     |
| <b>H Vs T x L</b>           | 1   | 11.83      | 17.49      | 26.41     | 1184.50*  | 0.00      | 274.16** | 2.05*   | 33.131**  |
| Error                       | 157 | 7.68       | 7.71       | 223.17    | 264.92    | 287.88    | 30.60    | 0.32    | 4.833     |
| C.V. (%)                    |     | 3.17       | 3.25       | 6.68      | 14.00     | 14.92     | 10.48    | 16.39   | 14.953    |
| Media                       |     | 88.85      | 87.40      | 218.24    | 118.05    | 115.92    | 54.00    | 3.39    | 14.472    |
| Máximo                      |     | 110.00     | 111.00     | 260.00    | 165.00    | 186.00    | 75.00    | 5.00    | 26.036    |
| Mínimo                      |     | 68.00      | 66.00      | 155.00    | 50.00     | 80.00     | 32.00    | 1.00    | 7.898     |
| Error estándar              |     | 1.39       | 87.70      | 7.49      | 8.16      | 8.51      | 2.77     | 0.28    | 1.102     |

Rep (loc)= repeticiones dentro de localidades; lin x prob= línea por probador; C.trip = cruza triple; loc= localidad; Lin= línea; prob= probador; H Vs T\*Loc= híbrido *versus* testigo por localidad.; C.V. (%)= coeficiente de variación; GI= grados de libertad para el análisis de varianza; \*, \*\* =Significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; DFF= días a floración femenina; DFM= días a floración masculina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; PROLF= prolificidad; RMAPA= relación mazorca planta; CALMC= calificación de mazorca; REND= rendimiento

La importancia de clasificar las líneas por su valor genético, es porque permiten conocer el comportamiento de estas en función de su dotación genética aditiva, lo que permitirá estimar la aportación de cada línea a su progenie, así como hacer cruzamientos dirigidos utilizando líneas genéticamente complementarias lo cual permitirá explotar la diversidad genética y heterosis.

En el Cuadro 4.3 se presenta los valores de aptitud combinatoria general, de veinte líneas de las cuales diez pertenecen al grupo ideotipo (1 a 10) y el resto (11 a 20) al grupo QPM, para las características agronómicas bajo estudio.

Para la variable rendimiento se encontraron efectos favorables diferentes a cero en siete de las líneas evaluadas, de las cuales cinco pertenecen al grupo ideotipo (1, 2, 3, 4, y 5), y dos, al grupo QPM (11 y 12), donde el valor mas alto lo exhibió la línea 1 con un aportación arriba de la media a su descendencia híbrida de  $2.18 \text{ tha}^{-1}$

Se considera que la cruce entre estas líneas aumentará la posibilidad de generar descendientes híbridos con mayor potencial de rendimiento principalmente cuando el cruzamiento se realice entre líneas de diferente grupo germoplásmico.

Cabe destacar que las líneas del grupo ideotipo presentan mayores efectos aditivos para rendimientos que el grupo QPM.

Para las características días a floración femenina y masculina las líneas que mostraron ser más precoces sin sacrificar significativamente el rendimiento, son las líneas 1, 3, 5, 12, 13 y 16, lo cual indica que tienen la característica de originar híbridos precoces; de éstas, la línea doce tiene la particularidad de ser una de las más

precoces para ambas características (DFF y DFM), además de aportar alto rendimiento.

En altura de planta y mazorca las líneas que tienden a reducir la altura en sus descendientes híbridos son la 11 y 16, esta última refleja más efectos favorables para estos caracteres. Por parte del grupo ideotipo la línea que tiende a reducir la altura es la 10; solo que tiene efectos no favorables para rendimiento, pero exhibe buenos atributos para las demás características a excepción de DFF y DFM.

En la característica acame de raíz y tallo la línea 2 del grupo ideotipo muestra atributos favorables para generar combinaciones tolerantes al acame, además es una de las que aporta valores más altos para rendimiento. La línea 10 es la que presenta valores más altos para tolerancia al acame, solo que presenta valores negativos para rendimiento. Por parte del grupo QPM la única línea sobresaliente para este carácter es la 11 y es la que exhibe valor más alto para rendimiento.

Para plantas con *Fusarium* y mala cobertura las líneas que no presentan problemas de sanidad y cobertura en sus combinaciones son las líneas 1, 2 por parte del grupo ideotipo, mientras que por parte del grupo QPM, es la 11. Cabe destacar que estas líneas son las que exhiben más alta ACG para rendimiento, por lo cual se espera que al realizar cruzamientos entre las líneas sobresalientes de cada grupo, originaran híbridos tolerantes para estas características, además con alto rendimiento.

En el grupo ideotipo la línea que mostró habilidad para heredar efectos positivos para prolificidad fue la línea cinco. Por parte del grupo QPM la línea que sobresale es la 14 tomando en cuenta que no sacrifica rendimiento. Estos resultados indican el potencial de estas líneas, las cuales pueden utilizarse en combinaciones dirigidas para mejorar el rendimiento por unidad de superficie, al utilizarse en futuros programas de hibridación que expresen una alta prolificidad.

Las líneas sobresalientes identificadas se muestran en el Cuadro 4.3 se pueden cruzar dentro del mismo grupo y servir como probador del otro grupo o cruzarse entre los grupos para obtener cruza simples sobresalientes y con excelente características agronómicas.

En el Cuadro 4.3 cabe destacar que debido a que las líneas de ambos grupos presentan efectos desfavorables para algunas de las características bajo estudio, se recomienda hacer mejoramiento hacia ambos grupos ya sea por el método de selección gamética o convergente.

Cuadro 4.3 Efecto de aptitud combinatoria general para veinte líneas, de dos grupos heteróticos (Ideotipo y QPM), para diez características agronómicas.

| Líneas                  | Genealogía                | REND   | DFF    | DFM    | AP      | AM      | AR      | AT     | PF     | MC      | PROLF   |
|-------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|
| <u>Líneas Ideotipo.</u> |                           |        |        |        |         |         |         |        |        |         |         |
| 1                       | MLS4-1 RC4 N-7-1-1        | 2.87*  | -0.32  | -0.44  | 6.30    | 4.11    | 5.89    | 4.06   | -2.40  | -6.33*  | -11.25* |
| 2                       | MLS4-1N-1-1-A-5-1-A       | 2.17*  | 0.18   | 0.20   | 3.75    | 8.08*   | -5.59*  | 1.42   | -1.57  | -11.43* | -15.46* |
| 3                       | 232-10-11-1 Rel N-19-4-2  | 1.75*  | -0.32  | -0.11  | 6.13*   | 1.68    | -2.20   | 11.36* | 2.23   | -3.46   | -13.17* |
| 4                       | MLN                       | 0.54*  | 0.81   | 1.06*  | 5.80*   | 5.71*   | 1.24    | 2.16   | 1.85   | -6.01*  | -13.97* |
| 5                       | 255-18-19N-14-1-A-4-2-A   | 0.51*  | -0.67  | -0.34  | 1.10    | 2.21    | 2.60    | -2.57  | -4.12* | 17.09*  | 21.50*  |
| 6                       | 255-18-19 RC4 N-20-2-1    | -0.04  | -0.42  | -0.34  | 5.05    | 0.78    | 8.04*   | -2.92  | -3.61  | -4.65   | -7.42   |
| 7                       | 53-36-37-N-10-2-A-1-1-A   | -1.18* | -1.96* | -1.95* | -3.18   | -3.06   | 12.63*  | -0.79  | 8.61*  | -5.60*  | 16.41*  |
| 8                       | 232-10-11-1N-13-1-A-1-2-A | -1.33* | 1.82*  | 1.69*  | -4.94   | -5.10   | -9.14*  | -2.01  | -4.23* | 1.50    | -5.32   |
| 9                       | 255-1-1-N-11-1-A-2-4-A    | -1.62* | 0.35   | 0.07   | -10.53* | 0.29    | -9.56*  | 0.11   | 0.85   | 18.40*  | -3.56   |
| 10                      | 232-10-11-1 RC4 N-13-1-2  | -2.42* | 1.58*  | 0.93*  | -8.20*  | -11.67* | -10.39* | -7.34* | -1.60  | -4.36*  | 3.65    |
| <u>Líneas QPM</u>       |                           |        |        |        |         |         |         |        |        |         |         |
| 11                      | 6310*Bulk-12              | 1.51*  | 2.18*  | 1.49*  | -5.99*  | -3.23   | -0.67   | -1.33  | -4.79* | -3.24   | -0.56   |
| 12                      | 6310*Bulk-11              | 1.44*  | -2.42* | -2.34* | 1.82    | -3.67   | 1.13    | -0.78  | -2.91  | 7.07*   | -4.14   |
| 13                      | CML-186                   | -0.01  | -2.44* | -2.34* | 1.40    | -7.02*  | 0.75    | 1.86*  | 1.11   | 0.61    | -9.86   |
| 14                      | 6320-6                    | -0.02  | 3.69*  | 3.68*  | 3.01    | 5.29    | -1.32   | -1.40  | -2.71  | -4.53   | 10.46   |
| 15                      | 6320-3                    | -0.13  | 4.04*  | 4.03*  | 7.30*   | 7.28*   | 1.51    | -0.61  | -4.07* | 8.58*   | 12.19   |
| 16                      | CML-173                   | -0.16  | -3.69* | -3.73* | -10.95* | -14.50* | -1.90   | 0.91   | 3.07   | 1.98    | -4.08   |
| 17                      | 6310*Bulk-3               | -0.22  | 0.70   | 0.85   | -6.99*  | -2.30   | 1.28    | 0.20   | 3.85   | -4.28   | 5.73    |
| 18                      | CML-181                   | -0.70  | -2.21* | -1.79* | -3.10   | 0.70    | -1.50   | -0.51  | 4.94*  | 4.98*   | 1.14    |
| 19                      | CML-174                   | -0.94* | -0.25  | -0.47  | -1.99   | 10.78*  | 0.33    | 0.40   | 1.85   | -6.88*  | -6.99   |
| 20                      | 6310*Bulk-2               | -1.00* | 2.65*  | 2.77*  | 14.68*  | 8.20*   | 0.39    | 1.02   | -0.46  | -9.90*  | 2.04    |

\*= Nivel de significancia al <0.05; REND= rendimiento; DFF= días afloración femenina; DFM= días a floración masculina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; AR= acame de raíz; AT= acame de tallo; PF= plantas con *fusarium*; MC= mala cobertura; PROLF= prolificidad.

En el Cuadro 4.4 se presentan los valores de los efectos de ACG de dieciséis probadores, destacando entre ellos el probador 2 que exhibe efectos positivos y diferentes de cero para rendimiento con una aportación arriba de la media de 0.65 t ha<sup>-1</sup> a su descendencia híbrida, además presenta efectos favorables para las variables altura de planta, altura de mazorca, acame de tallo y mala cobertura, aunque presenta efectos desfavorables diferentes de cero para días a floración masculina. Por lo cual puede ser empleado como progenitor de nuevos híbridos, siempre y cuando su contraparte muestre efectos genéticos favorables para precocidad, acame de raíz y prolificidad, con la finalidad de obtener híbridos con alto potencial para rendimiento y con buenas características agronómicas.

El probador 3 puede ser considerado como excelente progenitor para híbridos, aunque haya presentado efectos igual a cero, pero estos son positivos y pueden aportar 0.11 t ha<sup>-1</sup> a su descendencia, además exhibe características favorables para las demás variables, con excepción de mala cobertura y prolificidad. Por lo cual se espera que al cruzarse con una línea que tenga alto potencia genético, poder obtener híbridos que puedan competir con los híbridos comerciales.

El probador 4 es uno de los que exhibe valores favorables, y estadísticamente diferente de cero para días a floración femenina y plantas con *Fusarium*. Sin embargo muestra valores igual a cero para rendimiento, días a floración masculina, altura de planta, acame de raíz y prolificidad. Para el resto de las variables evaluadas presenta efectos desfavorables pero no diferentes de cero. Asimismo para que este probador



Cuadro 4.4. Efecto de aptitud combinatoria general para dieciséis probadores, de dos grupos heteróticos (Ideotipo y QPM), para diez características agronómicas.

| Prob                      | Genealogía   | REND   | DFE    | DFM    | AP     | AM     | AR     | AT     | PF     | MC      | PROLF   |
|---------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| <u>Probador Idiologo.</u> |  |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |
| 1                         | (232-10-11-1N-13-1-A-1-2-A x 232-10-11-1 Rec N-19-4-2) | 0.75*  | 0.37   | 0.42   | 3.06   | -1.11  | 0.11   | 0.24   | 0.43   | -8.50*  | -5.30*  |
| 2                         | (232-10-11-1N-13-1-A-1-2-A x MLS4-1 RC4 N-7-1-1)       | 0.65*  | 0.65   | 1.01*  | -0.17  | -1.00  | 1.38   | -0.31  | 0.82   | -10.64* | -4.30   |
| 3                         | (255-1-1-N-11-1-A-2-4-A x 232-10-11-1 Rec N-19-4-2)    | 0.11   | 0.02   | -0.09  | -6.30* | -2.58  | -0.71  | 0.35   | -3.04  | 7.10*   | -4.26   |
| 4                         | (255-18-19N-14-1-A-4-2-A x 255-1-1-N-11-1-A-2-4-A)     | 0.08   | -0.93* | -0.80  | -2.41  | 2.78   | -1.78  | 0.80   | -3.20* | 20.28*  | 4.08    |
| 5                         | (232-10-11-1RC4N-13-1-2 x MLS4-1RC4 N-7-1-1)           | -0.09  | 0.22   | -0.08  | 4.26   | -3.75  | 2.48*  | -0.80  | -1.25  | -11.68* | -3.49   |
| 6                         | (53-36-37-N-10-2-A-1-1-A x 255-1-1-N-11-1-A-2-4-A)     | -0.60  | -1.60* | -1.51* | 1.99   | 2.89   | -1.09  | -0.67  | 5.79*  | 7.84*   | 10.47*  |
| 7                         | (255-1-1-N-11-1-A-2-4-A x 232-10-11-1 RC4 N-13-1-2)    | -1.06* | 1.48*  | 1.16*  | -2.41  | 2.43   | -0.64  | 0.49   | -1.03  | -2.05   | 2.08    |
| <u>Probador QPM</u>       |  |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |
| 8                         | (6320-6 x 6310*Bulk-13)                                | 1.23*  | 2.28*  | 2.15*  | 3.25   | 9.01*  | -0.24  | 7.86*  | 3.47*  | -0.30   | 7.39*   |
| 9                         | (CML-181 x 6310*Bulk-11)                               | 0.37   | -1.69* | -1.64* | 4.16   | -3.29  | -5.50* | -2.10  | 0.65   | -0.81   | -1.63   |
| 10                        | (6310*Bulk-3 x 6310*Bulk-12)                           | 0.33   | 1.87*  | 1.27*  | -1.18  | 1.86   | 1.56   | 1.49   | -3.14  | 1.16    | -1.68   |
| 11                        | (6310*Bulk-13 x 6320-5)                                | 0.24   | 1.99*  | 2.39*  | 0.96   | 7.98*  | -3.12  | 4.08   | 3.09   | -4.71*  | 10.74*  |
| 12                        | (6310*Bulk-11 x CML-181)                               | -0.01  | -1.91* | -1.52* | 1.23   | -4.24  | 2.99   | 3.19   | 0.36   | 6.88*   | -2.10   |
| 13                        | (CML-173 x CML-174)                                    | -0.36  | -2.11* | -2.07* | -6.22* | -8.82* | 0.66   | -1.28  | -0.88  | 4.48*   | -10.60* |
| 14                        | (6310*Bulk-3 x 6310*Bulk-11)                           | -0.65* | 0.18   | 0.06   | -0.68  | -4.50  | -1.06  | -6.78* | -3.01  | -5.76*  | -5.40   |
| 15                        | (6310*Bulk-2 x 6320-6)                                 | -0.70  | 2.12*  | 2.32*  | 11.24* | 3.39   | 14.71* | -7.04  | -2.72  | -6.48*  | 12.10*  |
| 16                        | (6310*Bulk-3 x 6310*Bulk-13)                           | -0.88* | -1.23* | -1.32* | -6.78* | 0.26   | -0.58  | -2.56  | -0.25  | 2.49    | -1.92   |

\*= Nivel de significancia al 0.05; Prob= Probador; REND= rendimiento; DFE= días a floración femenina; DFM= días a floración masculina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; AR= acame de raíz; AT= acame de tallo; PF= plantas con *fusarium*; MC= mala cobertura; PROLF= prolificidad.

pueda ser empleado como progenitor de nuevos híbridos es importante que su contraparte muestre comportamiento favorable para altura de mazorca, acame de tallo y mala cobertura.

Otro de los probador sobresaliente para la formación de nuevos híbridos, es el 9 que exhibe efectos favorables y estadísticamente diferente de cero para días a floración femenina y masculina y acame de raíz, mientras que es igual a cero para rendimiento con una aportación  $0.37 \text{ t ha}^{-1}$  a su descendencia híbrida, así como para altura de mazorca, acame de tallo y mala cobertura, pero presenta efectos no favorables para altura de planta, plantas con *Fusarium* y prolificidad.

El probador 13 presenta valores de ACG favorables y estadísticamente diferentes de cero para días a floración femenina y masculina, altura de planta y mazorca, y valor favorables igual a cero para acame de tallo y plantas con *Fusarium*, para mala cobertura y prolificidad presentan efectos desfavorables y estadísticamente diferente de cero, para acama de raíz y rendimiento muestra valores estadísticamente igual a cero, sólo que para rendimiento su valor es de  $-0.36 \text{ t ha}^{-1}$  en promedio en cada uno de sus cruzamientos, por lo que puede ser empleado como progenitor de nuevos híbridos si su contraparte muestra buen comportamiento favorable para las características que este carece.

En el Cuadro 4.5 se presentan los cuadrados medios para líneas dentro de cada probador del análisis de varianza combinado para nueve características agronómicas, para detectar cual de los probadores es más eficiente para la discriminación de líneas en base a la intensidad de los cuadrados medios de cada

probador, ya que los cuadrados medios son indicadores de la varianza de las líneas dentro de cada probador.

Por parte del grupo ideotipo el probador 5 muestra cuadrados medios más altos para la variable rendimiento y acame de raíz, por lo cual es el mejor para discriminar líneas para estas características; para las características de días a floración femenina y masculina, y altura de mazorca, el probador 3 es el que tiene mayor poder de discriminar líneas que presenten las características anteriormente mencionadas, ya que presenta los valores más altos en cuadrados medios para estas características; mientras que el probador 2 presenta más poder de discriminación para altura de planta; para plantas con *Fusarium* el que exhibe mayor cuadrado medio es el 6; así también el probador 4 es el muestra mas atributos para discriminar líneas para la característica de mala cobertura, para prolificidad el probador 7 exhibe valor superior para la discriminación de líneas con esta característica.

Así también para el grupo QPM se eligieron los probadores que mostraran valores más altos respecto a sus cuadrados medios del análisis de varianza, para las características bajo evaluación, encontrando que el probador 10 presento los valores superiores para rendimiento, días a floración femenina y masculina por lo que se considera excelente probador para discriminar líneas en estas características; así también el probador 9 es el más sobresaliente para la discriminación de altura de planta y plantas con *Fusarium*; los probadores que presentan cuadrados medios superiores para las variables de altura de mazorca, acame de raíz, mala cobertura y prolificidad son los probadores 12, 15, 13 y 8, respectivamente para cada variable,

por lo que se consideran buenos probadores para discriminar líneas que expresen estas características.

Cuadro 4.5 Cuadrados medios para líneas dentro de cada probador del análisis de varianza combinado para nueve características agronómicas.

| Probador                  | REND  | DFE   | DFM   | AP     | AM     | AR      | PF     | MC      | PROLF   |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|
| <u>Probador Ideotipo.</u> |       |       |       |        |        |         |        |         |         |
| 5                         | 15.41 | 42.34 | 34.61 | 315.28 | 297.38 | 95.22   | 65.89  | 264.73  | 276.89  |
| 2                         | 14.63 | 41.80 | 44.01 | 696.70 | 627.84 | 30.31   | 162.75 | 58.92   | 393.57  |
| 3                         | 13.09 | 47.93 | 47.70 | 416.55 | 644.53 | 14.63   | 19.59  | 536.86  | 452.85  |
| 7                         | 10.32 | 47.38 | 44.49 | 196.88 | 431.47 | 39.94   | 53.72  | 393.53  | 920.94  |
| 1                         | 7.19  | 40.27 | 36.45 | 465.59 | 445.45 | 25.62   | 112.45 | 141.47  | 225.12  |
| 6                         | 3.12  | 24.50 | 24.42 | 647.27 | 370.20 | 11.85   | 171.24 | 293.07  | 435.07  |
| 4                         | 1.76  | 22.67 | 21.51 | 589.45 | 585.00 | 2.89    | 27.82  | 594.54  | 549.78  |
| <u>Probador QPM.</u>      |       |       |       |        |        |         |        |         |         |
| 10                        | 33.64 | 25.90 | 22.41 | 399.27 | 382.06 | 310.06  | 67.95  | 513.31  | 927.60  |
| 8                         | 29.66 | 6.77  | 4.53  | 562.03 | 388.05 | 502.17  | 199.67 | 816.23  | 2587.99 |
| 14                        | 25.68 | 14.43 | 13.66 | 288.79 | 286.71 | 343.60  | 243.67 | 618.07  | 944.38  |
| 11                        | 17.47 | 20.39 | 18.44 | 328.22 | 196.30 | 86.63   | 263.97 | 209.39  | 1975.65 |
| 16                        | 17.36 | 7.68  | 5.75  | 438.18 | 609.10 | 536.01  | 401.12 | 1032.11 | 1228.18 |
| 9                         | 17.11 | 6.61  | 6.97  | 725.91 | 376.03 | 167.91  | 429.11 | 892.06  | 1179.95 |
| 12                        | 16.17 | 10.72 | 9.25  | 569.69 | 937.16 | 412.07  | 75.75  | 591.08  | 1376.13 |
| 15                        | 8.14  | 12.66 | 8.86  | 225.06 | 575.61 | 2069.26 | 100.47 | 615.65  | 2312.24 |
| 13                        | 4.50  | 21.86 | 16.99 | 273.88 | 812.07 | 411.30  | 172.14 | 1087.24 | 766.20  |

REND= rendimiento; DFE= días a floración femenina; DFM= días a floración masculina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; AR= acame de raíz; PF= plantas con *fusarium*; MC= mala cobertura; PROLF= prolificidad.

En el cuadro 4.6 se muestran los híbridos más sobresalientes, tomando como característica principal aquellos que presentan los mejores efectos de aptitud combinatoria específica para rendimiento.

Los híbridos que muestran efectos favorables en ACE para la mayoría de las variables agronómicas son el 76, 78, 2, 4, 79, 5, 80 y 17, cuyos atributos son descritos a continuación.

El híbrido 76 presenta efectos favorables y diferentes de cero, para rendimiento aportando 2.89 t ha<sup>-1</sup> a sus híbridos, además muestra resultados

favorables, aunque estadísticamente iguales a cero, para días a floración femenina, altura de mazorca, acame de raíz.

El híbrido 78 exhibe efectos genéticos favorables y diferentes de cero para rendimiento con una aportación de 2.39 t ha<sup>-1</sup> a la cruce, además presenta efectos favorables pero estadísticamente iguales a cero para precocidad, altura de mazorca, acame de raíz y tallo, plantas con *Fusarium*, mala cobertura y prolificidad.

Otro de los híbridos sobresalientes es el 2 ya que muestra efectos favorables y diferentes de cero para rendimiento con una aportación de 2.27 t ha<sup>-1</sup> a sus híbridos, además de presentar efectos favorables, aunque no diferentes de cero para días a floración femenina y masculina, altura de planta y mazorca, acame de raíz y tallo, plantas con *Fusarium*, mala cobertura y prolificidad. Cabe mencionar que este híbrido es el más sobresaliente ya que es el único que presenta efectos favorables para todas las características agronómicas evaluadas.

El híbrido 4 fue seleccionado por mostrar diferencia estadística diferente de cero para rendimiento con un aporte de 2.18 t ha<sup>-1</sup> a sus descendientes híbridos, mientras que para días a floración femenina y masculina, altura de planta, acame de raíz y plantas con *Fusarium* exhibe características favorables, aunque estadísticamente iguales a cero, sin embargo presento efectos no favorables y diferentes de cero para altura de mazorca, así también acame de tallo, mala cobertura y prolificidad presentan efectos no favorables pero igual a cero.

El híbrido 79 se incluyó en este Cuadro por ser uno de los que expresan efectos de ACE de rendimiento más altos y diferente de cero ( $2.15 \text{ t ha}^{-1}$ ), así también por exhibir efectos favorables, aunque no lograron diferenciarse de cero para días a floración femenina, acame de raíz y tallo, plantas con *Fusarium* y prolificidad.

El híbrido 5 presenta efectos genéticos favorables diferente de cero para altura de planta y rendimiento con una aportación estimada por cruce de  $2.02 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que altura de mazorca, acame de tallo, plantas con *Fusarium*, mala cobertura y prolificidad presenta valores favorables igual a cero.

El híbrido 80 fue seleccionado por exhibir efectos favorables aunque estadísticamente igual a cero para rendimiento con un aporte de  $1.94 \text{ t ha}^{-1}$  a sus descendientes híbridos, así también para días a floración femenina y masculina, altura de planta, acame de tallo, mala cobertura y prolificidad.

El híbrido 17 fue seleccionado por exhibir efecto favorables y diferente de cero para altura de mazorca, además de presentar valores favorables igual a cero para rendimiento ( $1.05 \text{ t ha}^{-1}$ ), precocidad, altura de planta, mala cobertura y prolificidad.

Cuadro 4.6 Efectos de aptitud combinatoria específica para rendimiento y otras características agronómicas de los híbridos experimentales.

| PROB | LIN | HIB | REND  | DFE     | DFM     | AP       | AM       | AR    | AT     | PF    | MC    | PROLF  |
|------|-----|-----|-------|---------|---------|----------|----------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 5    | 11  | 76  | 2.89* | -0.26   | 0.18    | 2.24     | -1.08    | -1.08 | 0.73   | 0.29  | 1.89  | -8.36  |
| 2    | 12  | 77  | 2.53* | -0.83   | -0.82   | 21.36*   | 20.38*   | 1.71  | 2.18   | -2.41 | -7.96 | -6.48  |
| 2    | 16  | 78  | 2.39* | -1.56   | -1.93   | 6.63     | -3.79    | 0.24  | 0.00   | -2.14 | -5.61 | 10.47  |
| 10   | 4   | 2   | 2.27* | -0.50   | -0.47   | -9.02    | -6.36    | -2.86 | -6.79  | -1.06 | -2.09 | 4.50   |
| 12   | 4   | 4   | 2.18* | -0.72   | -0.93   | -1.43    | 11.74 *  | -4.54 | 7.51   | -2.31 | 1.44  | -1.08  |
| 5    | 18  | 79  | 2.15* | -0.11   | 0.21    | 4.35     | 8.75     | -2.25 | -0.09  | -1.94 | -4.83 | -1.06  |
| 11   | 5   | 5   | 2.02* | 0.87    | 0.81    | -17.21 * | -6.48    | 0.21  | -11.65 | -6.82 | -9.31 | 15.36  |
| 3    | 11  | 80  | 1.94  | -0.31   | -0.81   | -2.20    | 7.76     | 0.36  | -0.08  | 5.08  | -3.39 | 7.40   |
| 4    | 20  | 81  | 1.93  | -1.82   | -1.62   | -3.00    | 3.47     | 0.36  | 0.28   | 3.41  | 0.60  | -2.79  |
| 1    | 20  | 82  | 1.82  | 0.63    | 0.92    | 6.53     | 13.61    | 2.97  | -0.15  | 5.53  | 7.13  | 3.85   |
| 8    | 3   | 7   | 1.63  | -0.53   | 0.07    | 3.72     | 9.26 *   | 5.12  | -5.86  | -4.81 | -1.67 | -4.86  |
| 11   | 2   | 10  | 1.46  | -2.74 * | -2.98 * | 6.64     | -4.86    | 4.40  | 6.35   | 1.38  | 2.96  | -13.18 |
| 16   | 1   | 11  | 1.33  | -2.27   | -1.88   | 2.83     | -12.41 * | 3.88  | 13.36  | 1.05  | -5.09 | 2.77   |
| 1    | 12  | 86  | 1.08  | 0.19    | 0.02    | -1.87    | -4.51    | 0.23  | -0.86  | -1.77 | 1.66  | 1.52   |
| 10   | 2   | 17  | 1.05  | -1.87   | -1.61   | -6.97    | -19.24 * | 4.22  | 2.95   | 0.60  | -1.66 | 6.24   |

\*Significativo al nivel de probabilidad 0.05; PROB= Probador; LIN = Línea; HIB= Híbrido; REND= rendimiento; DFE= días a floración femenina; DFM= días a floración masculina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; AR= acame de raíz; AT= acame de tallo; PF= plantas con *fusarium*; MC= mala cobertura; PROLF= prolificidad.

En el Cuadro 4.7 se presentan la descomposición genética de los progenitores por ACG y ACE que participaron en la formación de los híbridos con valores más alto rendimiento dentro de cada grupo.

En este Cuadro se puede observa que el híbrido 77 es el que exhibe el más alto rendimiento teniendo aportaciones estadísticamente significativas de ACG de sus progenitores, así como de ACE del híbrido, es decir todos los efectos genéticos que más influyen en este comportamiento fueron favorables.

Para el hibrido 79 sus progenitores presentaron efectos negativos de ACG para rendimiento, por tanto se asume que su potencial de rendimiento es debido a efectos de ACE es decir, la expresión de este carácter esta controlada por genes de efectos no aditivos o de dominancia.

Otros híbridos que mostraron todos los efectos genéticos positivos fueron 2, 80 y 17, atribuyéndosele a esta situación su alto potencial de rendimiento.

Tres de los híbridos incluidos en el cuadro 4.7 indican que mostraron un alto potencial de rendimiento por los efectos favorables estadísticamente diferente de cero en ACE además de que recibieron efectos aditivo positivo de uno de sus progenitores (76, 78, 4).



En el híbrido 5 cabe destacar que a pesar de recibir efectos negativo ACG de uno de sus progenitores se ubica dentro de los 9 mejores en rendimiento, lo cual se atribuye a efectos de dominancia (ACE) es decir la cruce (11 x 5) de sus progenitores permitieron explotar y capitalizar la heterosis lo cual indica que el rendimiento se debe a la formación de un patrón heterótico.

Cuadro 4.7 Descomposición genética del rendimiento en ACG de los progenitores y ACE de los híbridos detectados como superiores.

| No. | HIB | MED HIB | ACE    | PROB | ACG    | LÍNEA | ACG      |
|-----|-----|---------|--------|------|--------|-------|----------|
| 1   | 76  | 18.79   | 2.89 * | 5    | - 0.09 | 11    | 1.52 *   |
| 2   | 77  | 19.09   | 2.53 * | 2    | 0.65 * | 12    | 1.44 *   |
| 3   | 78  | 17.35   | 2.39 * | 2    | 0.65 * | 16    | - 0.16   |
| 4   | 2   | 17.82   | 2.27 * | 10   | 0.33   | 4     | 0.55 *   |
| 5   | 4   | 17.40   | 2.19 * | 12   | - 0.01 | 4     | 1.55 *   |
| 6   | 79  | 15.84   | 2.15 * | 5    | - 0.09 | 18    | - 0.70   |
| 7   | 5   | 17.46   | 2.03 * | 11   | 0.24   | 5     | - 0.51 * |
| 8   | 80  | 18.04   | 1.94   | 3    | 0.11   | 11    | 1.52 *   |
| 9   | 17  | 18.23   | 1.05   | 10   | 0.33   | 2     | 2.17 *   |

\* Significancia al 0.05, HIB = Híbrido, MED HIB = Media del Híbrido, ACE = aptitud combinatoria específica, PROB = probador, ACG = aptitud combinatoria general.

En el Cuadro 4.8 se presentan los 15 híbridos con mayor potencial de rendimiento y su desempeño en otras variables agronómicas. Todos los híbridos incluidos en este cuadro superan estadísticamente a la media de rendimiento de los testigos, así como en otras de las variables agronómicas bajo estudio.

El híbrido 77 fue uno de los que mostró alto potencial de rendimiento (19.09  $\text{tha}^{-1}$ ), además de exhibir buena sincronía floral, precocidad, porte de planta intermedio (241 cm.), tolerancia al acame y a plantas con *Fusarium*. Por lo cual este híbrido se identificó con potencial para ser explotado comercialmente con doble propósito (grano y forraje).

Cabe destacar que ambos progenitores del híbrido 77 presentaron efectos de ACG positivos y diferentes de cero, así también la cruce presenta efectos de ACE positivos y diferentes de cero, por lo que era de esperarse que este híbrido presentara alto potencial agronómico.

Otro de los híbrido sobresalientes es el 76 que mostró alto potencial de rendimiento ( $18.79 \text{ t ha}^{-1}$ ) además de ser de ciclo intermedio, presenta buena sincronía floral, buen porte de planta (219 cm.), no muestra problema de acame, ni presenta problema de *Fusarium* y presenta plantas con más de una mazorca por planta, lo que se refleja en el rendimiento.

Por ultimo, el híbrido 78 fue elegido por presentar un rendimiento de  $17.35 \text{ t ha}^{-1}$ , además presentar buena sincronía floral, precocidad y presentar porte de planta baja, (214 cm.) así también por exhibir mejores características agronómicas que la de los testigos.

El resto de los híbridos incluidos en este cuadro presentan buenos rendimientos solo que tienen algunos problemas de sincronía, acames o problemas de sanidad.

Cuadro 4.8 Concentración de medias de las variables agronómicas de los 15 híbridos de mayor rendimiento.

| PRO       | LIN       | HIB       | REND         | DFE | DFM       | AP   | AM        | AR   | AT         | PF     | MC         | PROLF  |          |      |          |        |          |     |          |       |            |    |
|-----------|-----------|-----------|--------------|-----|-----------|------|-----------|------|------------|--------|------------|--------|----------|------|----------|--------|----------|-----|----------|-------|------------|----|
| 8         | 3         | 7         | 19.29        | A   | 90        | AB   | 89        | AB   | 244        | ABC    | 144        | A      | 16       | ABC  | 26       | AB     | 11       | ABC | 10       | ABCDE | 113        | BC |
| <b>2</b>  | <b>12</b> | <b>77</b> | <b>19.09</b> | A   | <b>86</b> | CDE  | <b>85</b> | CDE  | <b>241</b> | ABCDE  | <b>134</b> | ABCDE  | <b>7</b> | CD   | <b>3</b> | G      | <b>2</b> | C   | <b>8</b> | ABCDE | <b>101</b> | C  |
| <b>5</b>  | <b>11</b> | <b>76</b> | <b>18.79</b> | A   | <b>91</b> | A    | <b>89</b> | AB   | <b>219</b> | GHIJK  | <b>110</b> | GHIJ   | <b>3</b> | D    | <b>0</b> | G      | <b>1</b> | C   | <b>7</b> | BCDE  | <b>104</b> | BC |
| 8         | 1         | 44        | 18.63        | A   | 91        | A    | 89        | AB   | 247        | A      | 143        | AB     | 19       | AB   | 24       | ABCD   | 12       | ABC | 9        | ABCDE | 122        | B  |
| 11        | 2         | 10        | 18.56        | A   | 88        | ABCD | 87        | ABCD | 242        | ABCD   | 136        | ABCD   | 9        | BCD  | 25       | ABC    | 13       | AB  | 2        | E     | 106        | BC |
| 10        | 2         | 17        | 18.23        | A   | 89        | ABC  | 87        | ABCD | 226        | DEFGHI | 115        | FGHIJ  | 13       | ABCD | 19       | ABCDEF | 6        | BC  | 4        | E     | 113        | BC |
| 3         | 11        | 80        | 18.04        | A   | 91        | A    | 88        | ABC  | 204        | K      | 120        | DEFGHI | 2        | D    | 0        | G      | 4        | BC  | 20       | AB    | 119        | BC |
| 16        | 1         | 11        | 18.00        | A   | 85        | DE   | 83        | E    | 233        | ABCDEF | 116        | FGHIJ  | 22       | A    | 28       | A      | 9        | ABC | 7        | BCDE  | 114        | BC |
| 10        | 4         | 2         | 17.82        | A   | 91        | A    | 89        | AB   | 226        | DEFGHI | 126        | BCDEF  | 13       | ABCD | 10       | FG     | 8        | ABC | 9        | ABCDE | 113        | BC |
| 9         | 3         | 21        | 17.79        | A   | 87        | BCDE | 86        | BCDE | 245        | AB     | 127        | ABCDEF | 12       | ABCD | 23       | ABCDE  | 11       | ABC | 9        | ABCDE | 119        | BC |
| 1         | 12        | 86        | 17.74        | A   | 87        | BCDE | 86        | BCDE | 221        | FGHIJ  | 109        | IJK    | 4        | CD   | 0        | G      | 3        | BC  | 20       | AB    | 108        | BC |
| 11        | 5         | 5         | 17.46        | A   | 91        | A    | 90        | A    | 216        | IJK    | 128        | ABCDEF | 13       | ABCD | 3        | G      | 3        | BC  | 19       | ABC   | 172        | A  |
| 12        | 4         | 4         | 17.40        | A   | 87        | BCDE | 86        | BCDE | 236        | ABCDEF | 138        | ABC    | 13       | ABCD | 26       | AB     | 10       | ABC | 18       | ABCD  | 107        | BC |
| <b>2</b>  | <b>16</b> | <b>78</b> | <b>17.35</b> | A   | <b>84</b> | E    | <b>83</b> | E    | <b>214</b> | IJK    | <b>99</b>  | J      | <b>2</b> | D    | <b>2</b> | G      | <b>9</b> | ABC | <b>5</b> | DE    | <b>118</b> | BC |
| 12        | 3         | 23        | 17.26        | A   | 88        | ABCD | 87        | ABCD | 234        | ABCDEF | 103        | IJ     | 22       | A    | 19       | ABCDEF | 18       | A   | 21       | A     | 108        | BC |
| Med       |           |           | 18.10        |     | 88        |      | 87        |      | 230        |        | 123        |        | 11       |      | 14       |        | 8        |     | 11       |       | 116        |    |
| Med. Tes. |           |           | 14.29        |     | 91        |      | 90        |      | 228        |        | 123        |        | 11       |      | 5        |        | 8        |     | 11       |       | 115        |    |
| DMS       |           |           | 2.08         |     | 2.8       |      | 2.8       |      | 15.8       |        | 16.8       |        | 11.2     |      | 10.4     |        | 10.6     |     | 13.0     |       | 19.3       |    |

Med= media de las variables; Med. Tes.= media de los testigos; PRO= probador; LIN= línea; HIB= híbrido; REND= rendimiento; DFF= días a floración femenina; DFM= días a floración masculina; AM= altura de mazorca; AP= altura de planta; AR= acame de raíz; AT= acame de tallo; PF= plantas con fusarium; MC= mala cobertura; PROLF= prolificidad.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye lo siguiente:

- Las líneas que sobresalieron por poseer efectos positivos de ACG y diferente de cero para rendimiento y que además exhiben efectos favorables para el resto de las características agronómicas evaluadas, son las líneas 1, 2, 11, 12 y la 5.
- Los mejores probadores para discriminar líneas fueron el 8 y 2 al presentar mayor variación genética para rendimiento y otras características, mientras que para ser utilizadas como progenitores de nuevos híbridos fueron el 2 y 9.
- Los híbridos experimentales que poseen mayor potencial agronómico fueron 77, 76 y 78 con rendimientos de 19.09, 18.78 y 17.35 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, superando estadísticamente a la media de los testigos, presentando mejores características favorables en todas las variables agronómicas estudiadas.

## **VI. RESUMEN**

Es importante contar con probadores eficientes que permitan hacer una eficiente discriminación e identificación de líneas superiores con alto potencial genético y agronómico para la formación de nuevos híbridos. El presente trabajo se realizó con el objetivo de identificar las líneas más sobresalientes de dos grupos germoplásmicos (de maíz con adaptación a El Bajío y Subtropical) considerando su aptitud combinatoria, identificar los mejores probadores, así como seleccionar híbridos experimentales. Para ello se evaluaron veinte líneas y dieciséis probadores pertenecientes a dos grupos heteróticos (Ideotipo y QPM), que constituyen un patrón heterótico con adaptación a El Bajío.

Los cruzamientos fueron formados en la localidad de Tepalcingo, Morelos en el ciclo otoño-invierno del 2001-2002, empleándose como hembras las cruces simples de cada grupo, las que fueron cruzadas con las líneas de otros grupos (línea x probador) para después ser evaluadas en dos localidades: Celaya Gto. y la Piedad Mich., en Verano del 2002 bajo un diseño de bloques incompletos con un arreglo alfa látice, con dos repeticiones por localidad. El paquete estadístico que se utilizó para obtener los resultados del análisis línea x probador fue efectuado en el programa SAS.

Los resultados obtenidos indicaron que en ambos grupos (Ideotipo y QPM), existe variabilidad genética para seguir realizando mejoramiento con buenas expectativas de éxito.

Las líneas que mostraron efectos positivos de ACG y diferente de cero para la variable agronómica de rendimiento fueron siete, pero las que destacan 1, 2, 11, 12 y 5 por exhibir mayores efectos favorables para las variables bajo estudio. En la sección de los mejores probadores para discriminar líneas de alto rendimiento fueron el 2 y 8, mientras que para ser utilizadas como progenitores de nuevos híbridos fueron el 2 y 9.

Los híbridos experimentales seleccionados (Cuadro 4.8) presentan rendimientos superiores a la de la media de los testigos, pero los que destacan son el 77, 76 y 78; por presentar mejores características favorables que la de la media de los testigos.

## LITERATURA CITADA

- Allard R. W. 1980. Principio de la Mejora Genética de las Plantas. 4ª edición. Editorial Omega. S. A. Barcelona. P. 284.
- Claire I. V. T., Molina G. J. D., Vasal K. S. y Martínez G. A. 1993. Aumento del potencial de rendimiento mediante selección e hibridación en maíz (*Zea mays* L.). II. Aptitud combinatoria de líneas autofecundadas. Agrociencia Serie Fitociencia. Vol. 4. Num. 2. Pp. 53 - 63.
- De León C. H., Ramírez. E., Martínez. G., Oyervides. A., De La Rosa. A. 1999. Evaluación de diversos patrones heteróticos en la formación de híbridos de maíz para El Bajío mexicano. Agronomía Mesoamericana 10(1):31-35.
- De León C. H. 2005. Estudio y Clasificación de Grupos Germoplásmicos para la Constitución de Patrones Heteróticos en Maíz. Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 92p. (en línea) disponible en: <http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/maiz/analresp.pdf>
- Díaz de la C. J., Taba. S., Rivas R. M. 1998. Patrones heteróticos de las accesiones del banco de germoplasma para el pre-mejoramiento. *In: memoria de XVII Congreso de Fitogenética* (eds). Ramírez V. P., Zavala G. F., Gómez M. N O., Rincón S. F., Mejía, A. Acapulco, Gro. P.217.
- Durón I. J. R. y López P. E. 1991. Comparación entre probadores para la evaluación de líneas S<sub>2</sub> de maíz (*Zea mays* L.) Revista UAAAN Agraria Científica. Vol. 7. Num. 2. Pp. 200 – 212.

- Elizondo B. J. 2000. Aptitud combinatoria de 13 genotipos de soya en siembra de invernadero en el sur de Tamaulipas. *In: memoria de XVIII. Congreso Nacional de Fitogenética.* (eds). Zavala, G. F., Ortega, P. R., Contreras. J. A., Benítez, R. I. y Guillen, A. Irapuato, Guanajuato. P. 84.
- Falconer D. S. 1970. Introducción a la Genética Cuantitativa. 1ª edición. Editorial continental. S. A. México. D.F. P.335.
- Gómez M. N., Valdivia B. R. y Mejia A. H. 1988. Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Revista Fitotecnia Mexicana.* Vol. 11. Pp. 104 – 119.
- González G. J., Molina G. J. D. y Martínez G. A. 1990. Implicación del rendimiento *per se* y de la ACG de las líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays* L.) en la predicción de cruza simples de alto rendimiento. *Agrociencia serie Fitociencia.* Vol. 1. Num. 2. Pp. 29 – 42.
- González S., Córdova. H., Rodríguez. S., De León. H. y Serrato M. V. 1997. Determinación de un patrón heterótico a partir de la evaluación de un dialélico de diez líneas de maíz subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 8:1-7.
- Gutiérrez D. R. E., Espinoza B. A., Palomo G. A., Lozano G. y Antuna G. O. 2004. Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana.* Pp. 7-10.
- Jurgenheimer R. W. 1981. Variedades Mejoradas. Métodos de Cultivo y Producción de Semilla. Editorial Limusa, México. P. 217.
- Márquez S. F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II. AGTESA. México. 563 p.
- Melchinger A. E., and Gumber K. R. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. *In: Concepts and Breeding of Heterosis in Crop Plants.* Lamkey, K. R., and J.E. Staub. (eds). Madison, Wisconsin. Pp: 29-44.



- Mendoza O. L. E. 1988. Formación de híbridos de sorgo para grano. Comportamiento *per se* de las líneas y su aptitud combinatoria general. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 11. Pp. 34 – 47.
- Molina G. J. D. y García Z. J. J. 1996. Uso de líneas de alta y baja aptitud combinatoria general (ACG) como probadores de la ACG de líneas autofecundadas de maíz. *In*: Memoria del XVI. Congreso de Fitogenética. (eds). Saghún, C. J., Ramírez, V. P. y Castillo, G. F. Texcoco, México. P. 230.
- Narro. L., Pandey. S., Crossa J., De León. C. and Salazar F. 2003. Using Line x Tester Interaction for the Formation of Yellow Maize Synthetics Tolerant to Acid Soils. Crop Sci. 43:1718-1728. Disponible en. <http://crop.scijournal.org/cgi/content/abstract/43/5/1718>
- Nestares. G., Frutos. E. y Eyhérbide. G. 1999. Evaluación de líneas de maíz cristalino colorado por aptitud combinatoria. Revista PAB Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Vol. 34. Num. 8. (en línea). Disponible en. [http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/ecd4ca3ff88efcfa032564cd004ea083/cce1596138e09133032567fc00732a6f/\\$FILE/PAB398-96J.pdf](http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/ecd4ca3ff88efcfa032564cd004ea083/cce1596138e09133032567fc00732a6f/$FILE/PAB398-96J.pdf)
- Lobatos O. R., Molina G. D., López R. J de J. y Mejia C. J. A. 2002. Criterios para elegir al mejor probador de la aptitud combinatoria general en líneas de maíz. *In*: Memoria del XIX Congreso Nacional de Fitogenética, Saltillo. Coah. México. P.129
- Pandey S. and Gardner C.O. 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Advances in Agronomy*. Vol. 48: 1-87.
- Palacios V. O. y Ángeles A. H. H. 1990. Comparación de probadores para evaluar líneas S<sub>1</sub> de maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia serie Fitociencia*. Vol. 1. Num.1. Pp. 123-141.

- Paliwal. R. L. 2001. El maíz en el trópico., mejoramiento y producción. Departamento de agricultura organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). (en línea). Disponible en. [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/003/X7650S/x7650s16.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/X7650S/x7650s16.htm)
- Pérez, T. R. A., Carballo, Q. A., Castillo, G. F. y Covarrubias, P. J. 1991. Identificación de patrones heteróticos en un grupo de variedades precoces de maíz. *Agrociencia serie Fitociencia*. Vol. 2. Num. 2. Pp.69-79.
- Ramírez D. J. L., Chuela B. M., Soltero D. L., Franco M. J., Morfin V. A., Vidal M. V. A., Vallejo D. H.L., Caballero H. F., Delgado M. H., Valdivia B. R. y Ron, P. J. 2004. Patrones Heteróticos de Maíz Amarillo Para la Región Centro-Occidente de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 27 Pp. 13-17.
- Rivas P. R y Barriga B. P. 2002. Capacidad combinatoria para rendimiento de grano y caracteres de calidad maltera en cebada (*Hordeum vulgare* L.). *Agric. Téc.*, jul., Vol. 62, No.3, p.347-356. (en línea). Disponible. [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S03658072002000300001&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S03658072002000300001&script=sci_abstract&tlng=es)
- Robles S. R. 1982. Terminología genética y Fitogenética. 2ª edición. Editorial Trillas, S. A. de C. V. México. D.F. P. 16.
- Sámano G. D y De León C. H (2003). Efectos de aptitud combinatoria en dos poblaciones de maíz adaptadas al Bajío. Informe de resultados de investigación, UAAAN. (en línea). Disponible.<http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/maiz/efectapt.pdf>
- Saxena V.K., Malhi N. S., Singh N.N., Vasal S.K. 2000. Heterosis in maíz: Grouping patterns. *In: proceeding of the seventh Asian Regional Maize Workshop* (eds). Vasal, S.K., F.G Cenicero and F. Xing Ming. PCARRD, Los Banos, Abstracts. Pp. 14.

- Sierra M. M., Márquez S. F., Valdivia B. R., Cano R. O. y Rodríguez M. F. A. 1998. Aptitud combinatoria general y específica de líneas tropicales de maíz usando probadores. *In: Memoria del XVII. Congreso de Fitogenética.* (eds). Ramírez, P. V., Rincón, S. F y Contreras, M. A. Acapulco, Guerrero. P. 252.
- Sierra M. M., Márquez S. F., Valdivia B. R., Córdova O. H., Lezama G. R. y Pescador R. A. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México.* 30:169-181.
- Singh K. R. and Chaudary D. B. 1985. Line x Tester analysis. 3<sup>a</sup> edición. *Biometrical Methods in quantitative Genetic Analysis.* Pp 205 – 214.
- Sprague G. G. and Tatum A. L. 1942. General vs specific combining ability in single cross of corn. *Journal Am. Soc. Agron.* 34:923 – 932.
- Terrón. A., Preciad. E., Córdova. H., Milckelson. H y López. R. 1997. Determinación de patrones heteróticos de 30 líneas de maíz derivadas de la población 43SR. *Agronomía Mesoamericana* 8(1):01-07.
- Vasal K. S., Mcleann S. D., San Vicente F. M. and Ramanujam K. S. 1995. heterotic patterns and tester. Overview. CIMMYT Maize program Internationally Manager External Review of Breeding Strategies and Methodologies. 1995. Briefing Document.
- Vega. U. y Bejarano. A. 2004. Estudio de la capacidad combinatoria en líneas de maíz (*zea mays L.*) a través de cruzamientos dialélicos. *Agronomía Tropical.* 25(5):419-434. (en línea). Disponible. [http://www.redpavfpolar.info.ve/agrotrop/v25\\_5/v255a002.html](http://www.redpavfpolar.info.ve/agrotrop/v25_5/v255a002.html)
- Zambezi B. T., Horner E. S. and Martin F. G. 1986. Inbred lines as Tester for general combining ability in maize. *Crop Sci.* 26: 908 – 910.