

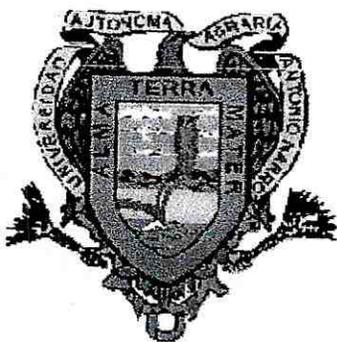
**CARACTERÍSTICAS GENÉTICAS Y APTITUD COMBINATORIA EN
HÍBRIDOS CON LÍNEAS ÉLITE DE MAÍZ**

CÉSAR GUERRERO GUERRERO

TESIS

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

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
AGRARIA
ANTONIO NARRO
Unidad Laguna
Dirección de postgrado**

Asesor Principal: Dr. Armando Espinoza Banda

Torreón, Coahuila, México.

OCTUBRE 2009

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIRECCIÓN DE POSTGRADO

CARACTERÍSTICAS GENÉTICAS Y APTITUD COMBINATORIA EN
HÍBRIDOS CON LÍNEAS ÉLITE DE MAÍZ

TESIS

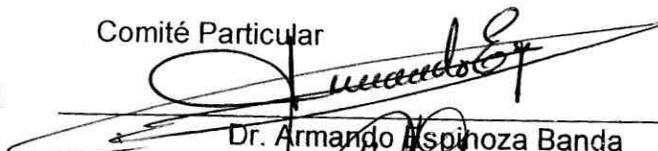
CÉSAR GUERRERO GUERRERO

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y
aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

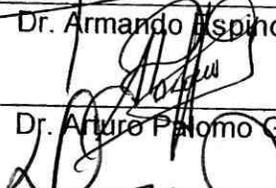
DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

Comité Particular

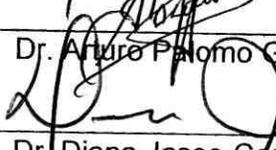
Asesor principal


Dr. Armando Espinoza Banda

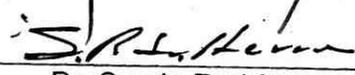
Asesor


Dr. Arturo Palomo Gil

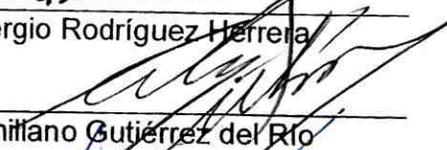
Asesor

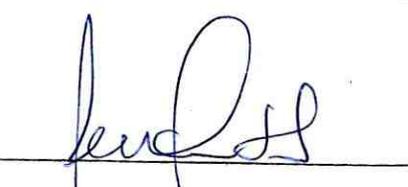

Dr. Diana Jasso Cantú

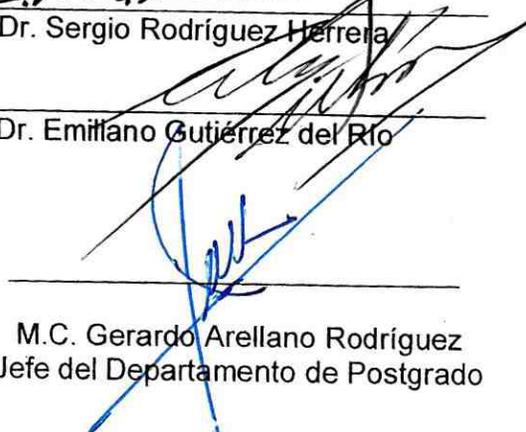
Asesor


Dr. Sergio Rodríguez Herrera

Asesor


Dr. Emiliano Gutiérrez del Río


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado


M.C. Gerardo Arellano Rodríguez
Jefe del Departamento de Postgrado

Torreón, Coahuila, México

OCTUBRE 2009

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitirme terminar esta nueva etapa de la vida, ya que nada sucede sin su voluntad.

Al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico para realizar los estudios.

A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" quien me abrió sus puertas para seguir preparándome durante esta etapa de la vida esperando haber sido de provecho durante mi estancia y al egresar, con mas conocimientos, motivación, experiencia y mejores planes espero poder participar en algo para el desarrollo de nuestro país.

A mis **asesores** por sus consejos, dirección, aportaciones y por su valioso tiempo y dedicación para el desarrollo del presente trabajo.

A mis maestros por brindarme sin restricción sus conocimientos y amistad. A todos mis amigos, otros que recientemente me brindaron su amistad.

Al Dr. Armando Espinoza Banda, por haber aceptado ser mi asesor principal y haber confiado totalmente en mí y por sus aportaciones en la revisión del escrito final de tesis. Gracias Doctor.

Al Dr. Arturo Palomo Gil, por aceptar ser asesor y brindarme todo el apoyo y asesoría técnica científica para llevar a cabo la investigación.

A la Dra. Diana Jasso Cantú, por su valiosa amistad y revisión del escrito final de tesis.

Al Dr. Sergio Rodríguez Herrera, por su asesoría y revisión del escrito final de tesis.

Al Dr. Emiliano Gutiérrez del Río, por sus sugerencias brindadas y revisión del escrito final de tesis.

Al M.C. Gerardo Arellano Rodríguez, por su excelente amistad y apoyo que siempre nos ofreció en forma desinteresada. Mil gracias

A nuestra secretaria de postgrado María Esther Peña Revueltas, por su apoyo brindado durante mi estancia en el postgrado.

A todos mis compañeros de postgrado en especial a Héctor Zermeño González y J. Guadalupe Luna Ortega, por su valiosa y desinteresada amistad.

DEDICATORIA

Con un cariño muy especial a la memoria de mi padre Juan Manuel Guerrero Velazquez, por haberme siempre apoyado y orientado a realizar mis estudios con respeto bondad y comprensión.

A mi madre María del Pilar Guerrero Salas, por su paciencia y apoyo para realizar todos mis estudios con amor y dirección.

A mis hermanos Hogla, Elisa, Juan, José, Sandra, Pilar, y flor, por la unión que nos une. Gracias a todos.

A mi esposa Norma Angélica Hernández Salas, por su paciencia y apoyo en todo momento para realizar estos estudios.

A mis hijos Elisa, César y Juan, por estar conmigo siempre y por su apoyo en todo momento.

COMPENDIO

CARACTERISTICAS GENÉTICAS Y APTITUD COMBINATORIA EN HÍBRIDOS CON LÍNEAS ÉLITE DE MAÍZ

Por

César Guerrero Guerrero

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” Unidad
Laguna**

Torreón, Coahuila de Zaragoza, México. Junio de 2009

En la Comarca Lagunera se siembra anualmente 24,000 ha⁻¹ de maíz forrajero y 15,000 ha⁻¹ de maíz de grano, con promedio de rendimiento de 42,000 t ha⁻¹ de forraje verde y 3.3 t ha⁻¹ de grano. El presente trabajo de investigación se realizó en dos etapas, la primera consistió en la formación de cruza en el año 2006 y la segunda en la evaluación de las mismas en 2007 en tres localidades: en los campos experimentales de la UAAAN-UL y en el ejido El Niágara municipio de Aguascalientes durante la primavera y en la UAAAN-UL durante el ciclo verano, las evaluaciones se realizaron en un ensayo uniforme en bloques al azar con dos repeticiones. El objetivo principal de este trabajo fue el de estimar y cuantificar los efectos genéticos involucrados en las cruza de maíz forrajero, además de seleccionar híbridos experimentales con altos rendimientos de forraje verde. Se evaluó el comportamiento agronómico de 128 cruza de maíz derivadas de 16 líneas elite utilizadas como hembras y ocho líneas elite usadas como macho,

utilizando el Diseño II de Carolina del Norte propuesto por Comstock y Robinson (1948). Se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) para los machos, hembras y cruzas, también se estimaron los componentes genéticos de varianza aditivos (σ^2A) y no aditivos (σ^2D). Los efectos más importantes fueron los no aditivos (σ^2D) en casi todas las variables, con un valor de 210 para rendimiento de forraje verde, los aditivos (σ^2A) fueron de menor magnitud, pero sólo importantes para altura de elote (AE). Los híbridos de mayor rendimiento promedio de forraje verde (RFV) fueron 6x4, 6x6 y 8x6 con 123.04, 122.69 y 120.18 t ha⁻¹ respectivamente, la mayor aptitud combinatoria general (ACG) se observó en los machos 6 y 8, en tanto que en las hembras fueron: la 9, 6 y 4; y en la aptitud combinatoria específica (ACE) las mejores cruzas para rendimiento de forraje verde fueron 6x4, 6x6 y 8x6.

Palabras Clave: Aptitud combinatoria, híbridos experimentales, líneas élite.

ABSTRACT

GENETIC TYPICAL AND COMBINATORY APTITUDE IN HYBRIDS WITH LINES MAIZE ELITE

By

César Guerrero Guerrero

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

**UNIVERSIDAD AUTONÓMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” Unidad
Laguna**

Torreón Coahuila, México. Jun 2009

In the Comarca Lagunera, 24,000 ha of forage corn and 15,000 ha of grain corn grow each year, with 42 t ha⁻¹ of forage yield and 3.3 t ha⁻¹ of grain production. The present work was realised in two stages, first formation of single crosses in 2006 year and second was the evaluation of the same in 2007 in three localities: in the experimental field from the UAAAN-UL and in Ejido Niágara municipality of Aguascalientes during the spring and in the UAAAN-UL during the summer cycle, the evaluations were realised in a complete randomized block design with two replications. The main objective of this work was to estimate and to quantify the involved genetic effects in the single crosses of forage corn, though choice experimental hybrids with high yield of green forage (GFY). Were evaluated the agronomic behaviour of 128 crosses of corn derived from 16 inbred lines used as female parents and eight inbred lines used as male, using a North Caroline designs I proposed by Comstock and Robinson (1948). Effects of general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) were estimated to the male,

female and single crosses, also were estimated the genetic components of variance additives (σ^2A) and nonadditives (σ^2D). More important effects were the nonadditives in almost all traits, with a value of 210 for green forage yield (GFY), the additive effects (σ^2A) were smaller, but only important for high ear (HE). Hybrids with major average yield of green forage were 6x4, 6x6 and 8x6 with 123.04, 122.69 and 120.18 t ha⁻¹ respectively, the major general combining ability (GCA) was observed in male 6 and 8, whereas in the female were: 9, 6 and 4; and in the specific combining ability (SCA) the best single crosses for green forage yield were 6x4, 6x6 and 8x6.

Key words: Combining ability , experimental hybrids, inbred lines.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO.....	iii
COMPENDIO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	2
LITERATURA REVISADA.....	4
DISEÑOS GENÉTICOS.....	4
HÍBRIDOS.....	5
HÍBRIDO SIMPLE.....	6
HÍBRIDO DOBLE.....	7
HÍBRIDO TRILINEAL.....	7
APTITUD COMBINATORIA.....	7
APTITUD COMBINATORIA GENERAL.....	8
APTITUD COMBINATORIA ESPECÍFICA.....	9
HEREDABILIDAD.....	9
HETEROSIS.....	11
FORRAJE.....	12
ARTÍCULO I.....	18
ARTÍCULO II.....	43
LITERATURA CITADA.....	67
APÉNDICE.....	72
Anexo 1. Carta de recepción FITOTECNIA MEXICANA Art. I.....	73
Anexo 1. Carta de recepción FITOTECNIA MEXICANA Art. II.....	74

INTRODUCCIÓN

El maíz es la planta cultivada más importante de América a pesar de haber sido domesticada por el hombre en el área de Mezo América, en el que está comprendido el sur de México. El maíz ocupa el primer lugar en la producción mundial de cereales con 609'181,620 t M (Muñoz, 2004) donde nuestro país ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, escenario en el cual EUA aporta un poco mas del 40 % de la producción (García, 2004). En México el cultivo del maíz es la base de la alimentación de sus habitantes y el cultivo más importante de la agricultura nacional, produce 21.1 millones de toneladas al año, sin embargo, aún no ha sido posible alcanzar la autosuficiencia en la producción por lo que el país se ve obligado a importar grandes cantidades de grano, 8.4 millones de toneladas anuales que es el 25% del consumo nacional (Calderón *et al*, 2005). En México el cultivo de maíz ocupa 8.5 millones de hectáreas, equivalente al 50.3 % de la superficie cultivada (Espinosa, 2004); antes del TLCAN se importaban 2.5 millones toneladas de maíz y, 8.5 en 2003, lo que pone de manifiesto la falta de soberanía alimentaria (García, 2004). El maíz es el grano mas cosechado en el mundo, después del petróleo es el que tiene mayor variedad de usos sin olvidar que este último se esta acabando (Espinosa, 2004). En varios estados de la Republica el cultivo de maíz es el sustento directo de millones de personas, donde el consumo promedio diario Per capita es 286 gr por persona y aporta el 47% de las calorías diarias necesarias (Tron, 2004). La Comarca Lagunera es una de las cuencas lecheras más importantes en el ámbito nacional, cuenta con aproximadamente 214 mil cabezas de ganado bovino lechero en producción, las cuales producen 1.73 millones de litros de

leche diarios (Espinoza *et al*, 2003). Donde se siembra una superficie de 39,413. ha⁻¹ con una producción de 1'058,352.8 t (SAGARPA, 2005). La magnitud de este sistema de producción plantea la necesidad de proponer estrategias concernientes a la producción de forraje para su manutención, por lo que se ha seleccionado el maíz como un forraje de importancia, ya que se considera como una planta de la cual se obtiene una alta producción, además de ser energético (Espinoza *et al*, 2003). La investigación en maíz forrajero se ha enfocado a incrementar la producción y el valor energético, además de eficientar la producción de materia seca por m³ de agua. En la actualidad el 93% de los agricultores usa materiales mejorados (Aguilar *et al*, 2000), el resto de los productores utiliza variedades criollas y ocasionalmente semillas de generaciones segregantes, procedentes de progenies de híbridos (Gutiérrez, 2002). Reta *et al* (2002) indican que es posible obtener hasta 80 t ha⁻¹ de forraje fresco y 24 t ha⁻¹ de forraje seco (30% de materia seca) con un contenido de grano de 45-50%. El objetivo del presente trabajo fue estimar y cuantificar la acción génica involucrada en las cruces de maíz forrajero a partir de líneas elite así como la aptitud combinatoria general, específica y su caracterización. Considerando la estimación de los componentes genéticos de algunos rasgos agronómicos para seleccionar híbridos experimentales con alto rendimiento en forraje verde.

HIPÓTESIS

Ho₁: Las cruces simples de maíz presentan igual comportamiento para rendimiento y las características evaluadas. Ho₁ t₁ = t₂ = t₃ =t_n.

H₀₂: Las líneas y las cruzaas simples de maíz evaluadas, presentan efectos iguales de aptitud combinatoria general ACG y aptitud combinatoria especifica ACE.

LITERATURA REVISADA

Eastmont y Robert (1992), mencionan que el fitomejoramiento es y seguirá siendo la herramienta más importante para mantener una elevada productividad. Hallauer y Eberhart (1976) consideran muy importante utilizar el método de selección recurrente para mejorar una población original y obtener líneas sobresalientes, híbridos y variedades sintéticas de manera continua.

DISEÑOS GENÉTICOS

Diseños Carolina del norte

Comstock y Robinson (1948), en Carolina del Norte, propusieron tres tipos de diseños genéticos, según la forma de apareamiento de los progenitores:

Diseño I. En este esquema, cada progenitor usado como macho se aparee con un grupo de progenitores hembras, en donde cada una de las hembras solo participa en una sola cruce. Este diseño permite las estimaciones de las varianzas aditivas y de dominancia, las progenies descendientes del mismo macho son medios hermanos y forman parte del mismo grupo.

Diseño II. Llamado también diseño factorial, las características básicas de este diseño con el dialélico, son totalmente diferentes, pero la información obtenida de ambos es similar. En el diseño dialélico los mismos padres son

usados como machos y como hembras, mientras que en este diseño un grupo de padres son usados como machos y un grupo diferente de padres son usados como hembra, en diseño dialélico a medida que se incrementan los progenitores se incrementan al doble las cruzas que se deberán de evaluar en comparación con este diseño, además las esperanzas de los cuadrados medios de los machos y las hembras, equivalen a la ACG y la de la interacción machos x hembras equivale a la ACE (Hallauer y Miranda, 1988).

Diseño III. Este modelo ha sido usado primeramente en poblaciones F2 de maíz para determinar efectos de ligamientos en la estimación de varianzas aditivas, varianzas de dominancia y el grado de dominancia de los genes que afectan un carácter determinado. Las progenies evaluadas son desarrolladas por retrocruzas de plantas So individuales de la población F2, hacia ambos progenitores de la F1 (líneas endogámicas), hay un par de progenies por cada macho de F2 que deberá ser evaluada (Márquez, 1988).

Híbridos

De la Loma (1954) menciona que la hibridación es la producción de ejemplares que presentan nuevas combinaciones o agrupaciones de caracteres y generalmente mayor vigor y producción. La hibridación es un método de mejoramiento genético con mayor rendimiento en la producción de maíz, ya que los resultados reflejan un incremento marcado en la producción sobre los niveles de rendimiento en las variedades.

La hibridación, es un método de mejoramiento genético con mayor eficiencia en la producción de maíz, ya que los resultados reflejan un incremento marcado en productividad sobre los niveles de rendimiento de las variedades de polinización libre, debido a que se explota directamente el fenómeno del vigor híbrido o heterosis (CIMMYT, 1987).

Márquez (1988), define a la hibridación como un método genotécnico en las plantas, que es el aprovechamiento de la generación F_1 proveniente del cruzamiento entre dos poblaciones P_1 y P_2 (poblaciones paternas). Las poblaciones P_1 y P_2 son dos poblaciones cualesquiera de la misma especie y por lo tanto, pueden tener la estructura genotípica a los objetivos que se persigan en la utilización comercial de la generación F_1 , o bien para su aprovechamiento como paso inicial o intermedio en la relación de algún otro método genotécnico.

López y Chávez (1995), mencionan que el maíz híbrido es la primera generación de una cruce entre líneas autofecundadas involucrando el proceso de híbridos. La obtención de líneas autofecundadas es por autopolinización, la determinación de estas líneas autofecundadas puede cambiarse en cruces positivas y para la producción de semilla. Estos mismos autores, presentan la siguiente clasificación de híbridos:

Híbrido Simple

Es un híbrido creado mediante el cruzamiento de dos líneas endogámicas, la semilla de híbridos F_1 es la que se vende a los agricultores

para la siembra, por lo común los híbridos simples son más uniformes y tienden a presentar un mayor potencial de rendimiento en condiciones ambientales favorables.

Híbrido Doble

El híbrido doble se forma a partir de cuatro líneas autofecundadas, es decir es la progenie híbrida obtenida de una cruce entre dos cruces simples, los híbridos dobles no son tan uniformes como las cruces simples, por lo que presentan mayor variabilidad; es importante señalar que una cruce simple produce mayor rendimiento que una triple y esta a su vez más que una doble.

Híbrido Trilineal

Se forma con tres líneas autofecundadas, es decir son el resultado de un cruzamiento entre una cruce simple y una línea autofecundada. La cruce simple como hembra y la línea como un macho. Con frecuencia se puede obtener mayores rendimientos con una cruce triple que con una doble, aunque las plantas de una cruce triple no son tan uniformes como las de una cruce simple.

APTITUD COMBINATORIA

La estimación de la aptitud combinatoria de una línea endogámica es fundamental para la formación de híbridos y variedades sintéticas.

Inicialmente, la aptitud combinatoria fue un concepto general, utilizada para la clasificación de una línea en relación con su comportamiento en cruzas, actualmente se estima en familias, variedades, cruzas simples o cualquier material que se use como progenitor (Martínez, 1983).

El análisis de la aptitud combinatoria tiene mayor uso en programas de mejoramiento que son diseñados para explotar heterosis mediante la producción de híbridos F_1 (Meredith, 1984). Estos análisis también proveen información acerca del tipo de acción génica que esta presente en la población base, lo cual ayuda en la selección del material progenitor para ser usado en la producción de cruzas y poblaciones segregantes. Gutiérrez *et al.* (2002), Comenta que la aptitud combinatoria se refiere a la capacidad de un individuo o de una población de combinarse con otras, la capacidad es medida por medio de su progenie y debe determinarse por varios individuos de la población no en uno solo, con el fin de poder seleccionar u obtener los cruzamientos más adecuados para poder sustituir los híbridos comerciales.

Aptitud combinatoria general

Sprage y Tatum (1942). Definieron la aptitud combinatoria general (ACG) como el comportamiento promedio o general de una línea en una serie de cruzas. Matzinger (1963), menciona que la aptitud combinatoria general (ACG) esta relacionada con los genes de efectos aditivos y/o no aditivos.

Jungenheimer (1985), dice que los probadores deben seleccionarse por su capacidad para combinar las líneas con otras. La aptitud combinatoria

general (ACG) es el desempeño promedio de una línea pura en algunas combinaciones híbridas. La aptitud combinatoria general proporciona información sobre que líneas puras deben producir los mejores híbridos cuando se cruzan con muchas otras líneas. Se pueden usar probadores adecuados para determinar que líneas pueden sustituirse en los híbridos actuales o usarse en nuevos híbridos prometedores.

Aptitud combinatoria específica

(Sprague y Tatum, 1942). La aptitud combinatoria específica es el resultado del efecto de dos líneas en particular. Esta medida no es característica de cada línea en particular, si no de una combinación especial de padres de líneas. Poehlman (1987) menciona que se pueden obtener información sobre la aptitud combinatoria específica (ACE) de los clones, mediante el ensayo comparativo de las cruza simples entre ellos. Se cruzan 10 o más de los clones originales con progenies de poli-cruzas sobresalientes, para formar cruza simples en todas las combinaciones posibles (también se llama a este cruzamiento dialelo). Se compara el comportamiento de las progenies de las cruza simples, para determinar la aptitud combinatoria específica (ACE) de los clones.

HEREDABILIDAD

Chávez (1995), expresa que la heredabilidad se refiere a la capacidad que tienen los caracteres para transmitirse de generación en generación, es

decir, que esta se pueda considerar como el grado de parecido entre los individuos de una generación y la siguiente.

Córdova y Vasal (1996), comentan que la heredabilidad para rendimiento aumenta conforme cambia de medios hermanos a hermanos completos y a progenies autofecundadas S_1 y S_2 . Silva (1999), nos dice que la heredabilidad se utiliza para estimar los parámetros genéticos y las correlaciones fenotípicas, además para identificar genotipos con altos rendimientos. La heredabilidad en sentido estricto como el cociente de la varianza aditiva sobre la varianza fenotípica y la función más importante de la heredabilidad es su papel predictivo, que expresa la confiabilidad del valor fenotípico como indicador del valor reproductivo que determina su influencia en la siguiente generación. El éxito en cambiar las características de la población puede predecirse sólo a partir del conocimiento del grado de correspondencia entre los valores genotípicos y los reproductivos que es medido a través de la heredabilidad, indicando el grado en que el fenotipo refleja al genotipo para un carácter particular en una población de plantas, pero lo más importante es la porción de la variación fenotípica observada de planta que es reflejada en la descendencia.

La heredabilidad en el sentido más amplio o genotípica, incluye los diferentes tipos de acción génica y se define como la relación entre la varianza genotípica y la varianza observada en una población de plantas.

$$(H^2) = (\sigma^2G / \sigma^2P) \times 10$$

La heredabilidad en el sentido estrecho o genética es la relación de la varianza genética aditiva, expresada en porcentaje, y la variación fenotípica observada.

$$(h^2) = (\sigma^2A / \sigma^2P) \times 100$$

HETEROSIS

Según Hallauer y Miranda (1988), la formación y producción de híbridos se basa en explotar el fenómeno denominado "heterosis" e indican que Shull en 1914 usó este término, pero no incluyó una descripción de los mecanismos genéticos involucrados en la expresión. Márquez (1988), menciona la interpretación del concepto sugerido cuando en 1952 Shull hace un resumen de sus investigaciones, como: El mayor vigor, tamaño, fructificación, velocidad de desarrollo, resistencia a plagas y enfermedades, a regiones climáticas de cualquier clase, manifestado por los organismos cruzados al compararse con los organismos endogámicos correspondientes, como resultados específicos de la disimilitud en la constitución de los gametos paternos. Lamkey y Edwards (1999) indican que esta definición frecuentemente es interpretada como que no indica las bases genéticas de la heterosis, porque describe básicamente los fenotipos que resultan de la cruce de dos líneas endogámicas. Phillips (1999) indica que aún la heterosis es la base de un gran negocio para satisfacer las necesidades de alimento en el mundo aunque todavía no se conocen las bases genéticas moleculares de este importante fenómeno biológico.

FORRAJE

Núñez *et al.* (2003) definen al forraje como aquellos alimentos voluminosos lo contrario de los concentrados que tienen gran cantidad de fibra y su valor nutritivo es bajo, pero proporcionan un alto valor energético al ganado. Como representante de este grupo están el ensilado, henificado, pastos y rastrojos. Los maíces que actualmente se utilizan son seleccionados por su capacidad de producción de materia seca y hay poco interés en alta calidad nutritiva (Núñez *et al.*, 1999). Peña *et al.* (2004) comentan que ninguno de los híbridos de maíz usados para la producción de forraje en México han sido desarrollados en programas de mejoramiento genético para aumentar la producción y la calidad del forraje, sino que fueron desarrollados para rendimiento de grano. Un maíz para forraje deberá proveer un alto rendimiento de biomasa por unidad de área, desde 40-90 t ha⁻¹ de forraje verde en un corto tiempo y un valor nutritivo de bueno a excelente dependiendo de la etapa de crecimiento en que se encuentre el cultivo al momento de la cosecha (Wong, 2004). Clark *et al.* (2002), reportan que el ganado lechero alimentado con híbridos de maíz seleccionados para forraje rindieron mas leche con mayor contenido de proteína y que el consumo de materia seca fue mayor que el alimentado con maíz normal. Por lo general se considera que los híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad e forraje (Geiger *et al.*, 1992; Peña *et al.*, 2003) por lo que un alto porcentaje de mazorca o un alto índice de cosecha favorecen incrementos en la calidad nutritiva del forraje, sin embargo, en algunos casos también se relacionan negativamente con la digestibilidad de la planta sin elote (Peña *et al.*, 2003), con algunas excepciones, la porción de

mazorcas correlacionan de manera alta y significativa con la digestibilidad de la planta total, esto significa que la selección de los materiales con alta proporción de mazorca podría favorecer una mayor calidad de forraje.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, V. A.,** García H. L. A. y Luévano G. A. 2000. El impacto social y económico de la ganadería lechera en la Región Lagunera. Séptima edición. Grupo Industrial LALA, Torreón, Coah. p. 207.
- Antuna, G. O.,** F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruiz T. y L. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicas y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Rev. Fitotec. Méx. Vol. 26(1): 11-17.
- Calderón, E. A.,** M. Tadeo R. 2005. Selección de variedad de maíz ante la incidencia de carbón de la espiga, en zona de transición y valles altos. Porque sembrar Maiz, Tonalli centli, tiempos del maíz. No1, Editorial Sinergia rural S.A. de C.V. p 24-25.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)** 1987 CIMMYT-Hechos y tendencias mundiales relacionadas con el maíz 1986: Aspectos económicos en la producción de semilla de variedades comerciales de maíz en los países en desarrollo. México. P. 210-223.
- Chávez, A.,** J. L. y López E. 1995. Mejoramiento de plantas 1. UAAAN. México. 158 p.
- Clark, P.W.,** Kelm S., Endres M, 2002. Effect of feeding a corn hybrid selected for leafiness as silage or grain to lactating dairy cattle J. Dairy Sci. 85:607-612.
- Comstock R E, H F Robinson (1948).** The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. Biometrics 4:254-266.

- Córdova**, H. S. Y S. K. Vasal, 1996. Estrategias en el desarrollo y mejoramiento del germoplasma del maíz orientado a la agricultura sustentable.
- De la Cruz**, E., Rodríguez S., Estrada M., Mendoza, J. y Brito, N. 2005. Análisis dialéctico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. 21(41): 19-26.
- De la Loma**, J. L. 1954. Genética General Aplicada. Segunda edición. Editorial UTEHA. México. 427 p.
- Eastmond**, A. Y M. L. Robert, 1992. Biotecnología y Agroecología: paradigmas opuestos. Agro – ciencia 3: 7-22.
- Espinoza**, B. A., E. G. Del Rió, A. P. Gil, J. J. L. García. 2003. Efectos Genéticos en cruzas entre híbridos comerciales de maíz Forrajero.
- Espinosa**, C. A., Tadeo R. M. 2004. Selección de variedad de maíz ante la incidencia de carbón de la espiga, en zona de transición y valles altos. Tonalli centli, tiempo del maíz, editorial No 1. Editorial Sinergia rural S.A. de C.V. p 24.
- García**, B. A. E. 2004. Porque sembrar maíz, Tonalli centli, tiempo del maíz. No.1 . Editorial Sinergia rural S.A. de C.V. p 9.
- Gutiérrez**, R. E., A. Palomo, A. Banda y E. Lázaro 2002. Aptitud Combinatoria y Heterosis para Rendimiento de Línea de Maíz en la Comarca Lagunera. Revista fitotecnia Mexicana, 25:271-277.
- Hallauer**, R. A., and Miranda F.O. 1988. Quantitative Genetics in maize breeding. The Iowa State University Press Ames, Iowa, 50010. First Edition 468 p.

- Hallauer**, A. R. And S.A. Eberhart. 1976. Reciprocal full – sib selection. Crop Sci. 10: 315-316.
- Jungenheimer**, W. R. 1985. Maíz. Variedades mejoradas, método de cultivo y producción de semillas. Editorial LIMUSA. México. P. 841.
- Lamkey**, K. L. and Eduards J. W. 1999. Quantitative genetics of heterosis. The genetics and exploitation of heterosis in crops J. G. Coors and S. Pandey ED.
- Martínez**, G. A. 1983. Diseño y análisis de experimentos de cruza dialélicas. Segunda edición. Colegio de postgraduados. Chapingo, México p 250.
- Márquez**, S. F. 1988. Genotecnia vegetal. Tomo II. Primera edición. Editorial AGTESA. México. P 563.
- Matzinger**, D.F. 1963. Experimental estimates of genetics parameters and their applications in self-fertilizing plants. In W. D. Hanson and H. F. Robinson (Eds). Statistical genetics and plant breeding. Nas-Nrc. No. 982.
- Meredith**, W. R. Jr. 1984. Quantitative genetics. In R. R. J. Kohel and C. F. Lewis (eds). Cotton Amer. Soc. Agron. Monograph 24 Madison, Wis. USA.
- Muñoz**, O. A. 2004. Porque sembrar Maíz, Tonalli centli, tiempos del maíz. No 1, Editorial Sinergia rural S.A. de C.V. p 8-9.
- Peña**, R. A. G. Núñez H., F. González C, 2003. Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. Téc. Pecu. Méx. 41(1):63-74.

- Phillips**, R. L. 1999. Research needs in heterosis. The genetics and exploitation of heterosis in crops. J. G. Coors and S. Pandey ED.
- Poehlman**, J. M. 1987. Mejoramiento genético de las cosechas. Primera edición. Editorial LIMUSA. México. P 453.
- Reta**, S. D. G., M. A. Gaytán, A. J. Carrillo 2002. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. Revista Fitotecnia Mexicana. 23: 37-48.
- SAS** Institute, Inc. SAS. b. 1988.
- Sprague**, G. F. and L. A. Tatum. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. J. Amer. Soc. Agron. 34: 953-932.
- Silva**, S. R. 1999. Heredabilidad y correlaciones fenotípicas en líneas avanzadas de trigo. XVII Congreso Nacional SOMEFI. Sociedad Mexicana de Fitogenética 2002. P 246.
- Tron**, C. E. 2004. La problemática de la cadena maíz tortilla, Tonalli centli, tiempos del maíz. No1, Editorial Sinergia rural S.A. de C.V. p 43-44.
- Wong**, R. R., E. Gutiérrez D. R. 2004. Formación de híbridos simples de maíz para grano y forraje adaptados al norte de México. Proyecto de investigación doctoral UAAAN-UL.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN HÍBRIDOS SIMPLES DE LÍNEAS ENDOGÁMICAS PARA MAÍZ DE GRANO

GENETICS PARAMETER DETERMINATION IN SINGLE HYBRIDS FROM ELITE LINES FOR GRAIN CORN

César Guerrero Guerrero*, Armando Espinoza Banda, Arturo Palomo Gil, Sergio Rodríguez Herrera, Diana Jasso Cantú, Emiliano Gutiérrez del Río y J. Guadalupe Luna Ortega.

Departamento de Postgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Periférico y Carr. a Santa Fe. Torreón, Coahuila. Tel. 01 (871) 729-7676, Fax 01 (871) 729-7610, Ext. 7676. Correo electrónico: cesar_gg47@hotmail.com

* Autor para correspondencia

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en dos etapas, la formación de las cruzas en 2006 en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna y la evaluación de las mismas en el Ejido el Niágara municipio de Aguascalientes Ags, en el 2007 durante el ciclo de primavera. El material genético utilizado estuvo constituido por 24 líneas, siete de ellas provenientes del programa de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL), cuatro líneas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y 13 líneas del programa del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El objetivo principal fue determinar los componentes genéticos de cruzas simples de maíz de grano e identificar las mejores combinaciones híbridas para producir y comercializar a corto plazo. Las 128 nuevas cruzas formadas, fueron evaluadas con el diseño de apareamiento de Carolina del Norte II (Comstock y Robinson 1948), en base a los principales componentes de rendimiento. También se estimó la aptitud combinatoria general (ACG), sobresaliendo los progenitores macho M4, M1 y M5, como hembras las líneas H8, H12 y H4, mientras que para la aptitud combinatoria

específica (ACE) los valores mas altos fueron para las cruzas 5x6, 2x13, 6x12 y 3x14. En los parámetros genéticos, la varianza de dominancia supero a la varianza aditiva en las variables rendimiento de grano (RG) y rendimiento de mazorca (RMZ) observándose un alto grado de dominancia (d), para el peso del olote (PO) y diámetro de mazorca (DMZ) los resultados fueron similares para ambas varianzas y en el resto de las variables evaluadas la varianza aditiva (σ^2A) fue superior con bajo porcentaje de heredabilidad (h^2).

Palabras clave: *Zea mays* L., Probadores, aptitud combinatoria, componentes de rendimiento, componentes genéticos.

SUMMARY

This work was conducted in two stages, the formation of the Crusaders in 2006 in the experimental field of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna and evaluating them in the Niagara Ejido of Aguascalientes Ags, in 2007 during spring cycle. The genetic material used consisted of 24 lines, seven of them from the program of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL), four lines of the National Institute of Agriculture and Livestock Forestry Research (INIFAP) and 13 lines of the Center's program the International Maize and Wheat Improvement (CIMMYT). The main objective was to determine the genetic components of simple crosses of maize grain and identify the best hybrid combinations to produce and market in the short term. 128 new crosses formed, were evaluated with the design of mating NC II (Comstock and Robinson 1948), based on the principal components of yield. Also estimated the general combining ability (GCA), with male parent M4, M1 and M5, as female lines H8, H12 and H4, while the specific combining ability (SCA) were higher values for crosses 5x6, 2x13, 6x12 and 3x14. In genetic parameters, the variance of

dominance is greater than the additive variance in the variables grain yield (GY) and yield of cob (YC) observed a high degree of dominance (d) to the weight of olot (WO) and diameter cob (DC) results were similar for both variances and the remaining of the evaluated traits, the additive variance ($\sigma^2 A$) was higher with low percentage of heritability (h^2).

Key words: *Zea mays* L, Testers, Combining ability, yield components, genetic components.

INTRODUCCIÓN

El maíz se cultiva en aproximadamente 140 millones de hectáreas en todo el mundo: 97 millones de hectáreas en los países en desarrollo, 34 en los países industrializados, y 9 en Europa oriental y en la ex Unión Soviética. Constituye el alimento básico de varios cientos de millones de personas en el mundo en desarrollo, en el este y el sur de África, el habitante promedio consume 80 kg de maíz cada año; en México, América Central y el Caribe, 170 kg, asimismo, en el este de Asia, la utilización anual de maíz per cápita es de 100 kg en promedio y en el Cono Sur, más de 190 kg. Los países en desarrollo no producen suficiente maíz para satisfacer su demanda interna y deben, por tanto, importar grandes cantidades de maíz por año. Aproximadamente 58% de la superficie dedicada al maíz en los países en desarrollo se siembra con maíz mejorado: 44% con híbridos, 14% con variedades de polinización libre mejoradas (VPL) y 42% con VPL no mejoradas. Las VPL ocupan un lugar importante en la cultura del maíz en los países en desarrollo, en cambio, en los países industrializados casi el 100% de la superficie dedicada al maíz se siembra con híbridos (Paliwal, 2001). Nuestro país es considerado como el centro de origen del maíz y el de mayor diversidad de especies, y aun, no ha podido sustentar la demanda de este grano, teniendo que importarlo de otros países como Estados Unidos de Norte America. Estos acontecimientos son mas notorios en las comunidades rurales ya que no cuentan con tecnología necesaria, semillas mejoradas y el conocimiento básico para manejar este cultivo teniendo rendimientos muy bajos (Gutiérrez *et al*, 2002).

En el fitomejoramiento genético, la estimación de componentes de varianza genética frecuentemente requiere hacer cruzas, tarea que se complica por la reducida producción de semilla para evaluación, para incrementar la cantidad de semilla se ha sugerido el uso de cruzas autofecundadas, la teoría de este enfoque esta restringida al caso de

progenitores homocigóticos con dos alelos por locus (Castellanos, 2003). Para estudiar el potencial genético de una población existen diversos diseños de apareamiento que permiten estimar los componentes de su varianza genética, lo que posibilita el cálculo de la heredabilidad y sus componentes, donde es importante considerar el uso de líneas con caracteres contrastantes y su patrón heterótico en el desarrollo de híbridos para maximizar el comportamiento de la F1 (Vergara *et al*, 1998).

La investigación de maíz para grano se ha enfocado a incrementar la producción, y para alcanzar esto es necesario la selección del mejor híbrido (Núñez *et al*, 1999). La falta de híbridos para el centro de Aguascalientes representa un problema actual, pues no existe un programa de mejoramiento permanente en esta región donde predominan híbridos introducidos. El objetivo principal fue estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas y la aptitud combinatoria específica (ACE) de las cruzas, así como cuantificar los efectos genéticos involucrados en las cruzas formadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en dos partes, la primera fue la formación de las cruzas en el 2006 en el campo experimental de la UAAAN-UL, la evaluación de las mismas fue en el ejido El Niágara, Municipio de Aguascalientes, Ags. En el ciclo primavera-verano del año 2007, como parte del programa de mejoramiento genético que realiza el departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. El Ejido Niágara está situado en la región occidental de la Altiplanicie Mexicana, en las coordenadas 21° 53" de latitud norte, 102° 18" de latitud oeste a una altura de 1,870 metros sobre el nivel del mar, El clima es semiárido, con una temperatura media anual de 17 °C, registrándose las más altas temperaturas en los meses de abril, mayo y junio, y las más bajas en los meses de septiembre, enero y febrero. La

precipitación pluvial es de 526 mm al año, con lluvias abundantes en verano y poca intensidad el resto del año, los vientos dominantes son alisios en dirección sureste-noreste durante el verano y parte del otoño. El material genético utilizado fue ocho líneas como macho y 16 como hembra, los machos fueron los siguientes:

M1; L-AN 447. Línea de 8 autofecundaciones, derivada de generaciones avanzadas del Híbrido AN-447 con características de amplia adaptabilidad.

M2; L-AN 130. Proviene de la F4 del H-507, cruzada con la población de El Bajío denominada Celaya-2.

M3; L-AN 123. Obtenida de forma divergente y contrastada de var. Criolla de Jal. de hojas pálidas y onduladas.

M4; L-AN 388P. Línea enana, con hojas anchas y succulentas generada a partir de la F3 del híbrido AN-388.

M5; L B-32. La cual esta identificada con la genealogía H-353-245-6-10.

M6; L B-40. Con origen de formación en INIFAP-B40.

M7; CML-316 CIMMYT, Pob500P500c0F114-1-1-B*3.

M8; CML-311 CIMMYT, Pob500S89500 F2-2-2-2-B*5

Las líneas hembra fueron:

H1; L-AN 123 R. Línea de alta endogamia formada de variedad Criolla del municipio de Concepción, Jalisco con precocidad y tolerancia a sequía.

H2; L-AN 360 PV. Línea obtenida de la población enana denominada Pancho Villa, vigorosa y con hojas anchas.

H3; L B-39. Cuyo origen proviene de INIFAP-B39.

H4; CML-319 CIMMYT, RecyW89(Cr.Arg/CIM.ShPINPH)6-3-2-4-B-B.

H5; CML-264 Pob21 CIMMYT, POB21C5F219-3-1-B-__ -8-1-3-BBB-f.

H6; CML-254 Pob21 CIMMYT, TUXSEQ-149-2-BBB-__ -1-BB-F.

- H7; CML-313 CIMMYT, Pob501c0F6-3-3-2-1-B-B.
- H8; CML-273 Pob43 CIMMYT, (ACT643*43F7)-2-3-2-1-bb-F.
- H9; CML-247 Pool24 CIMMYT, (G24F119*G24F54)-6-4-1-1-BB-f.
- H10; CML-271 Pob29 CIMMYT, pob29stec1hc25-6-4-1-_-BBB-F.
- H11; CML-278 Pob43 CIMMYT, DMANTES8043-53-1-1-b-_-1-BB-f.
- H12; CML-315 CIMMYT, Pob500P500c0F246-4-1-2-2-B*3.
- H13; CML-318 Recy W87[B810(66)S3/G24S2]-B-8-1-1-3-B*4.
- H14; CML-321 Pop 502 P502c0F1-1-3-1-B*4.
- H15; LE M426.
- H16; BANDAL 59 Pob59.

Como resultado de los cruzamientos realizados se obtuvieron 128 híbridos F1. La siembra se realizó el 21 de junio, depositando de manera manual una semilla cada 5 cm, con espacios de 0.75 m entre hileras, utilizando 2 surcos de 3 m de longitud por parcela, se utilizó un diseño estadístico de bloques al azar con dos repeticiones. El aclareo se hizo dejando 6 plantas por metro lineal y 16.6 cm entre plantas, para obtener una población de 80 000 plantas por hectárea. La fertilización se efectuó con la fórmula 200 N, 90 P y 00 K, la cual se aplicó en dos etapas: el 50% de N y el total de P en el momento de la elaboración del surco y el resto en el momento de realizar la labor de escarda. Para el riego se utilizó el método por gravedad: uno de presiembra y 3 de auxilio procurando con esto una humedad constante y equilibrada durante las etapas requeridas del cultivo. El control de maleza se realizó por el método manual; haciendo un desyerbe en el momento de presentarse las primeras malas hierbas consecutivamente al efectuarse la escarda se eliminó parte de la maleza existente, así mismo se procuro el aporcado del cultivo.

La cosecha se hizo cuando el grano presento un estado maduro de 12% de humedad, se tomaron 3 plantas de muestra por parcela y posteriormente se realizo la evaluaci3n de los h3bridos. Las variables evaluadas fueron; rendimiento de grano (RG), rendimiento de mazorca (RMZ), peso del olote (PO), longitud de la mazorca (LMZ), diámetro de la mazorca (DMZ), número de granos por hilera (NGH), peso de mil granos (PMS) y peso volumétrico (PV). El análisis genético se realiz3 con el diseño II de apareamiento de Carina del Norte (Comstock y Robinson, 1948), cuyo modelo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + H_j + \Phi_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde, $i=1,2,\dots,m$ (machos); $j=1,2,\dots,h$ (hembras); $k=1,2,\dots,r$ (rep); Y_{ijk} = observaci3n de la cruza entre el i -esimo macho y la j -esima hembra en la k -esima repetic3n; μ = Media general; M_i y H_j = Efecto del i -esimo macho y j -esima hembra; Φ_{ij} = Efecto de la interacci3n del i -esimo macho con la j -esima hembra; ϵ_{ijk} = error experimental. La estimaci3n de los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para los machos y hembras, y la Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para las cruzas, se hizo segun la propuesta de Sprague y Tatum (1941) $g_i = \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{..}$ $g_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..}$

$S_{ij} = Y_{ij} - g_i - g_j - \bar{Y}_{..}$, donde: g_i , g_j y S_{ij} son los efectos de ACG y ACE, respectivamente para los i -machos, las j -hembras y sus $i j$ cruzas; $\bar{Y}_{i.}$ y $\bar{Y}_{.j}$ son las medias de los machos y las hembras, Y_{ij} es el valor de la cruza ixj y $\bar{Y}_{..}$ es la media de todas las ixj cruzas. Con los cuadrados medios y sus esperanzas, se estimaron la varianza génica aditiva (σ^2A), de dominancia (σ^2D), fenotípica (σ^2F), el grado de dominancia (d) y la heredabilidad en sentido estricto (h^2) y la heredabilidad en sentido amplio (H^2). Los coeficientes de correlaci3n se estimaron mediante la siguiente ecuaci3n: $r = \text{cov}(xy) / (\sigma^2x \sigma^2y)$ donde: El numerador indica la covarianza fenotípica de las medias entre dos caracteres y el denominador, el producto de las varianzas fenotípicas de cada carácter.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de los cuadrados medios del análisis de varianza estimados usando el diseño Carolina del Norte II (Comstock y Robinson, 1948) se presentan en el cuadro I, el cual indica que se encontraron diferencias altamente significativas ($P \geq 0.01$) en la fuente de variación machos para las variables RG, RMZ, LMZ, DMZ y NGH que resultaron con alta significancia, para PO solo hubo significancia al ($P \geq 0.05$), mientras para PMS y PV no hubo significancia. Para la fuente de variación hembras, las variables RG y RMZ resultaron altamente significativas ($P \geq 0.01$), mientras que para el resto de las variables no hubo significancia. Para las cruzas o interacción machos por hembras, de igual manera las variables RG y RMZ presentaron alta significancia ($P \geq 0.01$), el resto de las variables no tuvieron significancia. Este comportamiento de los machos, posiblemente se deba a que cada uno de ellos participa de manera diferente en cada característica evaluada y con mayor razón en los componentes de rendimiento que fueron evaluados, las hembras y las cruzas tuvieron un comportamiento similar entre ellas probablemente por los efectos de la herencia materna, coincidiendo con (Gutiérrez *et al*, 2004). Los coeficientes de variación de los análisis de varianza están considerados dentro de los rangos de aceptación (Wong *et al*, 2007).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza y nivel de significancia estadística de los principales componentes de rendimiento de grano de maíz, evaluados usando el diseño de apareamiento Carolina del Norte II. Aguascalientes, Ags. 2007.

F.V	G.L	RG t ha ⁻¹	RMZ t ha ⁻¹	PO t ha ⁻¹	LMZ cm	DMZ cm	NGH	PMS g	PV g l ⁻¹
REP	1	3.1ns	3.6ns	0.0ns	52.7*	2.0**	211.6*	3915.6**	4,834.6*
M	7	11.3**	15.3**	0.4*	41.8**	0.8**	133.0**	443.9ns	956.2ns
H	15	3.8**	5.4**	0.2ns	15.8ns	0.1ns	44.1ns	322.0ns	1,283.0ns
M * H	105	2.8**	4.1**	0.1ns	8.9ns	0.2ns	45.7ns	374.8ns	1,065.0ns
ERROR	127	1.2	1.2	0.2	9.2	0.2	47.1	434.0	1,101.0
TOTAL	255								
MEDIA		4.5	5.5	1.0	16.7	4.7	35.6	148.3	782.0
C.V		24.7	19.9	39.6	18.2	9.1	19.2	14.1	4.2

F. V = Fuentes de variación, G.L. = Grados de libertad, RG= Rendimiento de grano, RMZ= Rendimiento de mazorca, PO= Peso del olote, LMZ= Longitud de la mazorca, DMZ= Diámetro de la mazorca, NGH= Número de granos por hilera, PMS= Peso de mil semillas, PV= Peso volumétrico. (* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$), ns= no significativo

En el cuadro 2, se muestra el comportamiento promedio del rendimiento y sus componentes de las líneas endogámicas usadas como probadores macho y las líneas endogámicas usadas como hembras. Los machos M4, M1 y M5, y las hembras H8, H12 y H4 resultaron con los valores mas altos en la mayoría de las variables evaluadas. El M4 mostró superioridad en todas las variables excepto para peso volumétrico (PV), el M1 mostró valores altos excepto para peso de mil semillas (PMS) y peso volumétrico (PV); Al respecto Wong *et al.*, (2007) encontró que el DMZ y LMZ inciden en el número de granos por mazorca y en el rendimiento de grano. Referente a las hembras, H8, H12 y H4 fueron superiores estadísticamente en su comportamiento; la H8 fue superior en todas las características evaluadas excepto PMS y PV, la H12 mostró superioridad en todas las variables evaluadas menos en DMZ, y la H4 fue superior en RG, RMZ, PO y LMZ pero no en el resto de las variables. Lo anterior muestra que los únicos componentes que no contribuyeron al rendimiento de grano fueron el peso de mil semillas (PMS) y el peso volumétrico (PV), sin embargo algunas hembras como H3 y

H7 mostraron altos valores en PMS y PV, información que indica la existencia de una amplia variabilidad en el comportamiento de los genotipos evaluados en forma de cruza para los componentes de rendimiento, pero existe una tendencia generalizada de la mayoría de los componentes a participar en el rendimiento de grano (Morales *et al*, 2002). El macho M4 fue superior en siete de las ocho características y la hembra H12 en todas, el macho 1 y la hembra H8 mostraron superioridad en todas las características excepto en el peso de mil semillas (PMS) y peso volumétrico (PV); para el M5 y la H4 hubo superioridad estadística en PO, RMZ, LMZ y DMZ. Sin embargo algunos genotipos machos y hembras muestran superioridad para peso del grano (PG) y no para rendimiento de mazorca (RMZ), lo cual es respaldado por Peña *et al.*, (2003) quienes reportan que no todos los genotipos de maíz tienen una correlación positiva entre rendimiento de mazorca con rendimiento de grano, ya que existen otros factores que alteran, como los valores significativos de longitud de mazorca (LMZ) para ambos materiales, en tanto que el diámetro de la mazorca (DMZ) que permite un acomodo mayor de hileras, al igual que el diámetro de olote (DOL), que permite un mayor número de granos por hilera, resulta en un mayor número de granos en la mazorca (Wong *et al*, 2007).

Cuadro 2. Promedio de rendimiento y sus componentes en cruzas de líneas endogámicas de maíz usadas como probadores macho y líneas endogámicas usadas como hembras. Diseño II de Carolina del Norte. Aguascalientes, Ags. 2007

Líneas	RG t ha ⁻¹	RMZ t ha ⁻¹	PO t ha ⁻¹	LMZ cm	DMZ cm	NGH	PMS g	PV g l ⁻¹
M1	5.1a	6.3a	1.2a	18.0ab	4.8a	38.7a	146.4c	781.1
M2	3.8c	4.8	1.0ab	15.3	4.7ab	34.5c	148.1b	783.2
M3	4.2bc	5.2c	0.9b	15.9	4.6c	34.7c	146.8c	787.5b
M4	5.6a	6.7a	1.2a	18.6a	5.1a	38.7a	156.8a	785.9c
M5	4.6ab	5.5ab	1.0ab	16.8	4.8a	34.4	148.9b	771.6
M6	4.3bc	5.3ab	1.0ab	16.5	4.6b	34.6c	148.1b	777.5
M7	4.1bc	4.9	0.9b	15.6	4.8a	33.4	146.6c	781.9
M8	3.9c	5.0c	1.0ab	16.7	4.6b	36.2a	144.4c	787.7b
H1	4.1bc	5.0c	1.0ab	17.3c	4.7ab	35.8c	150.5ab	774.6
H2	3.9c	4.9	1.0ab	16.0	4.7ab	33.9	141.9	774.7
H3	4.6ab	5.6ab	1.0ab	16.9	4.8a	36.4a	154.9a	797.2a
H4	5.0a	6.3a	1.2a	18.7a	4.7ab	36.8	148.7b	781.4
H5	4.6ab	5.6ab	1.0ab	17.0c	4.7ab	38.1*	150.0ab	792.9
H6	4.1bc	5.1c	1.0ab	15.9	4.7ab	34.9b	154.6a	779.7
H7	4.7ab	5.7ab	1.1a	16.9	4.8a	36.0a	152.3ab	793.9a
H8	5.2a	6.3a	1.1a	17.5c	4.8a	37.3a	146.4c	778.4
H9	4.7ab	5.7ab	1.0ab	16.7	4.8a	37.2a	142.9	778.0
H10	3.7c	4.4	0.8b	15.6	4.6b	34.1	144.9	779.1
H11	4.3bc	5.3ab	1.0ab	16.0	4.8a	35.1b	145.4c	783.9
H12	5.2a	6.3a	1.1a	18.2ab	4.7ab	37.2a	154.0a	791.4ab
H13	5.0ab	6.1ab	1.1a	16.9	4.8a	36.1a	148.2b	789.5b
H14	4.1bc	5.0c	1.0ab	16.2	4.6ab	35.6b	145.5c	778.3
H15	4.3bc	5.3ab	1.0ab	16.1	4.7ab	34.6c	150.8ab	777.3
H16	3.9c	4.8	0.9b	14.7	4.8a	31.4	141.0	762.6

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS, 0.05).

Los promedios de rendimiento de grano (RG), de mazorca (RMZ) y los componentes de las 15 mejores cruzas se pueden observar en el cuadro 3, donde se encontró que las cruzas mas sobresalientes en rendimiento de mazorca (RMZ) fluctúan entre 8.85 y 7.23 t ha⁻¹, correspondiendo también a las mejores cruzas en rendimiento de grano (RG), donde hay un rango de variación de 7.39 a 5.94 t ha⁻¹, valores que al promediarse dan una media de rendimiento de grano de 6.66 t ha⁻¹. Para peso de olote (PO) las variaciones oscilan de 1.64 a 1.12 t ha⁻¹, en longitud de mazorca (LMZ) y diámetro de la mazorca (DMZ) sus variaciones son desde 23.25 a 16.20 cm y de 5.35 a 4.85 cm

respectivamente. Para el número de granos por hilera (NGH) los valores fluctúa entre 45.0 y 35.8, para el peso de mil semillas (PMS) de 163.8 a 112.1 g, para el peso volumétrico (PV) las variaciones son desde 805.95 a 739.75 ml kg⁻¹. La amplitud de los rangos implica una variación amplia entre los valores de cada característica evaluada, por lo que se considera que algunos componentes del rendimiento influyen en los resultados mas que otros, considerando que al conjuntarse por recombinación y selección en líneas contrastantes pueden resultar patrones heteróticos definidos, o bien como dice Duvick (1999), que los híbridos altamente rendidores obtienen su rendimiento, no solo de la heterosis, sino también de otros factores hereditarios, que no son necesariamente influenciados por la heterosis, por lo que se debe de conocer la importancia relativa de cada contribución genética, en la producción de grano en los híbridos. Los machos M4, M1 y M5, y las hembras H12 y H8 son las líneas que mas se repiten en las 15 mejores cruzas, quizás porque son de las mas rendidoras para mazorca y grano, y al unirse forman los mejores híbridos en los cuales se ve una conjunción de genes favorables para la mayoría de los componentes de producción, (Márquez, 1988) así, en los datos de información de las 15 mejores cruzas con los probadores se ve que el RG, RMZ, LMZ y DMZ, tienen una marcada significancia estadística.

Cuadro 3. Promedios de rendimiento y sus componentes en 15 cruzas de maíz más sobresalientes, evaluadas usando el Diseño de apareamiento II de Carolina del Norte. Aguascalientes, Ags. 2007

Cruza	RG t ha ⁻¹	RMZ t ha ⁻¹	PO t ha ⁻¹	LMZ cm	DMZ cm	NGH	PMS g	PV g l ⁻¹
6 X 12	7.4a	8.9 a	1.7 a	17.1c	4.9ab	39.4ab	153.7ab	786.6 a
4 X 9	7.1a	8.6 a	1.4 a	18.2b	5.4 a	41.9 a	155.0ab	783.6ab
4 X 12	7.1a	8.5ab	1.4 a	23.3 a	5.1 a	40.4 a	157.2ab	783.6ab
1 X 11	6.9a	8.6 a	1.5 a	19.0 a	5.3 a	41.8 a	114.0	739.8
2 X 13	6.9a	8.5ab	1.6 a	17.3c	5.3 a	40.7ab	145.1	798.9 a
5 X 8	6.9 a	4.2	1.3ab	17.9b	5.0ab	37.4b	156.1ab	785.1ab
5 X 6	6.8ab	8.3ab	1.5 a	17.9b	5.2a	38.0b	159.5 a	771.1
4 X 3	6.4b	7.8b	1.4 a	17.7b	5.0ab	38.5b	156.5ab	796.1 a
1 X 7	6.2b	7.4b	1.2ab	17.8b	5.0ab	41.7ab	150.2c	806.0a
3 X 13	6.2b	7.4b	1.2ab	16.2	4.9ab	39.9ab	147.7	796.5 a
4 X 14	6.1b	7.5b	1.4a	19.1a	5.3a	40.5a	158.4ab	791.4 a
1 X 13	6.0c	7.4b	1.4a	20.5a	5.1 a	38.0b	155.2ab	792.9a
5 X 3	6.0c	7.1c	1.1b	18.6b	5.1 a	35.8c	163.8 a	789.8ab
1 X 8	6.0c	7.3b	1.3ab	20.8a	5.0ab	45.0a	112.1	739.8
3 X 14	5.9c	7.2c	1.3ab	17.0b	5.0ab	39.2	146.2	761.8

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS, 0.05).

Los mayores efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para las características de rendimiento de grano (RG) y rendimiento de mazorca (RMZ), se encontraron en las líneas M4, M1 y M5 usadas como machos y cuatro líneas H8, H12, H4 y H13 usadas como hembras (Cuadro 4). Con estos resultados según las características estudiadas, pueden surgir resultados favorables para el mejoramiento del rendimiento de grano y mazorca (Márquez, 1991).

Cuadro 4. Efectos estimados de Aptitud Combinatoria General (ACG) de líneas de maíz usadas como probadores (M) y de líneas usadas como (H). Diseño II de Carolina del Norte. Aguascalientes, Ags. 2007

Líneas	RG t ha ⁻¹	RMZ t ha ⁻¹	PO t ha ⁻¹	LMZ cm	DMZ cm	NGH	PMS g	PV g l ⁻¹
M1	0.6**	0.8*	0.2*	1.3*	0.1*	3.1**	-1.9	-1.0
M2	-0.6	-0.7	-0.1	-1.4	-0.1	-1.1	-0.2	1.2
M3	-0.2	-0.3	-0.1	-0.8	-0.2	-1.0	-1.4	5.5*
M4	1.1**	1.3**	0.2*	1.9**	0.3*	3.1**	8.6**	3.9
M5	0.1**	0.1	-0.0	0.1	0.0	-1.3	0.7	-10.5
M6	-0.1	-0.1	-0.0	-0.1	-0.1	-1.1	-0.2	-4.6
M7	-0.4	-0.5	-0.1	-1.1	0.0	-2.2	-1.7	-0.2
M8	-0.5	-0.5	0.0	0.1	-0.2	0.5	-3.8	5.6*
H1	-0.4	-0.4	-0.1	0.6*	-0.0	0.2	2.3	-7.5
H2	-0.6	-0.6	-0.1	-0.6	-0.1	-1.7	-6.3	-7.4
H3	0.2	0.2	0.0	0.2	0.1*	0.7	6.7**	15.2**
H4	0.6**	0.8**	0.2*	2.1**	-0.0	1.1	0.5	-0.7
H5	0.1	0.2	0.0	0.3	-0.0	2.5*	1.7	10.9**
H6	-0.3	-0.4	-0.1	-0.7	-0.1	-0.8	6.4**	-2.3
H7	0.2*	0.3*	0.0	0.3	0.1*	0.3	4.1*	11.8**
H8	0.8**	0.9**	0.1*	0.9*	0.1*	1.6*	-1.8	-3.7
H9	0.2*	0.3*	0.0	0.1	0.1*	1.5*	-5.4	-4.0
H10	-0.8	-1.0	-0.3	-1.1	-0.2	-1.6	-3.4	-3.0
H11	-0.2	-0.2	0.0	-0.7	0.1*	-0.6	-2.9	1.8
H12	0.7**	0.8**	0.1*	1.5**	-0.0	1.5	5.8**	9.4**
H13	0.5*	0.6**	0.1*	0.3	0.1*	0.5	-0.1	7.5*
H14	-0.4	-0.5	-0.1	-0.5	-0.2	-0.0	-2.7	-3.7
H15	-0.1	-0.2	-0.1	-0.6	-0.0	-1.0	2.5*	-4.7
H16	-0.6	-0.7	-0.1	-1.9	0.1*	-4.3	-7.3	-9.4

M= Machos, H= Hembras, RG= Rendimiento de grano, RMZ= Rendimiento de mazorca, PO= Peso del olote, LMZ= Longitud de la mazorca, DMZ= Diámetro de la mazorca, NGH= Número de granos por hilera, PMS= Peso de mil semillas, PV= Peso volumétrico. (* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$).

En la estimación de los valores de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para las 15 mejores cruza de maíz (Cuadro 5), observamos que para rendimiento de grano (RG) todas las cruza mostraron valores altos y positivos de ACE. Para rendimiento de mazorca (RMZ), peso del olote (PO) y diámetro de mazorca (DMZ) se encontraron valores positivos para la mayoría de las cruza mostradas y solamente una resultado con valores negativos. Los valores mas altos fueron para las cruza 5x6, 2x13, 6x12 y 3x14.

Sin embargo los valores de ACG de los progenitores de las mejores cruzas no indican aportaciones, ya que las únicas líneas con valores mas altos de ACG son la M5 y la H12, el resto de los progenitores mostraron menor valor, por lo que se considera que la manifestación del rendimiento quizá sea debido a la acción génica de sus efectos no aditivos relacionados con la interacción Inter-alélica o conocida como ACE (Wong *et al*, 2007). Para el número de granos por hilera (NGH) se encontraron solo dos valores negativos, para longitud de mazorca (LMZ) hubo cuatro valores negativos, para el peso volumétrico (PV) hubo seis y para el peso de mil semillas (PMS) siete. En estos caracteres se buscarían materiales con valores altos, pues esto daría un número y tamaño mayor de grano en la conformación de la mazorca. En general, la aptitud combinatoria específica (ACE) no fue de mayor expresión en las cruzas de mayor rendimiento y esta influencia se vio reflejada en los componentes principales, con una mayor variabilidad que la expresada en la aptitud combinatoria general (ACG) lo contrario a resultados obtenidos por (De la Cruz *et al*, 2003), esto puede ser debido a que al formar las cruzas en algunos casos intervienen padres con alto valor de ACG, o un progenitor de alto valor de ACG y otro con valor bajo, inclusive los dos progenitores con bajo valor de ACG.

Cuadro 5. Aptitud Combinatoria Específica (ACE) de las 15 mejores cruzas de maíz, para rendimiento de grano (RG), rendimiento de mazorca (RMZ) y sus componentes.

Aguascalientes, Ags. 2007

Cruza	RG t ha ⁻¹	RMZ t ha ⁻¹	PO t ha ⁻¹	LMZ cm	DMZ cm	NGH	PMS g	PV g l ⁻¹
6 X 12	2.4*	2.7*	0.4	-0.9	0.3	3.3	-0.1	-0.3
4 X 9	1.3	1.6	0.2	-0.5	0.2	1.6	3.6	1.7
4 X 12	0.8	0.9	0.1	3.2	0.0	0.1	-5.4	-11.7
1 X 11	2.0	2.4*	0.4	1.8	0.4	3.6	-29.5	-43.2
2 X 13	2.6*	3.1*	0.6	1.7	0.5	5.7	-2.9	8.2
5 X 8	1.5	-2.2	0.2	0.2	0.1	1.4	8.9	17.2
5 X 6	2.6*	3.1*	0.6	1.8	0.5	4.4	4.2	1.9
4 X 3	0.7	0.9	0.2	-1.1	-0.2	-0.9	-7.0	-5.0
1 X 7	0.9	0.9	-0.0	-0.4	0.0	2.6	-0.2	13.1
3 X 13	1.4	1.6	0.2	0.0	0.2	4.7	0.9	1.5
4 X 14	1.0	1.3	0.3	1.0	0.4	1.8	4.3	9.2
1 X 13	0.4	0.5	0.1	2.3	0.1	-1.2	8.9	4.4
5 X 3	1.3	1.4	0.1	1.6	0.2	0.7	8.2	3.0
1 X 8	0.1	0.2	0.1	2.0	0.1	4.7	-32.4	-37.7
3 X 14	2.1*	2.5*	0.4	1.6	0.5	4.5	2.1	-22.0

RG= Rendimiento de grano, RMZ= Rendimiento de mazorca, PO= Peso del olote, LMZ= Longitud de la mazorca, DMZ= Diámetro de la mazorca, NGH= Número de granos por hilera, PMS= Peso de mil semillas, PV= Peso volumétrico. (* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$).

Los valores de los principales parámetros genéticos relacionados con el presente estudio (Cuadro 6), se estimaron con el fin de aportar conocimiento en cuanto a los efectos génicos de cada uno de sus componentes. Para el rendimiento de grano (RG) y de mazorca (RMZ), la varianza de dominancia (σ^2D) supera a la varianza aditiva (σ^2A), lo que indica que en estas dos características el efecto de heterosis es determinante y así lo demuestra también el grado de dominancia cuyos valores son de 2.16 y 2.60 respectivamente, esta relación entre ambas varianzas interpreta un estatus de sobredominancia y de vigor híbrido, de acuerdo a la clasificación de (Falconer, 1985) y ratificado por varios investigadores (Hallauer y Miranda, 1988; Márquez, 1988). Los valores de heredabilidad en sentido estricto (h^2) para rendimiento de grano (RG) fue de

19.24 % y de rendimiento de mazorca (RMZ) 17.26 %, los cuales resultaron bajos como la mayoría de los caracteres de herencia múltiple (Ramírez *et al*, 2003; Jenkins, 1985). Para peso del olote (PO) y diámetro de mazorca (DMZ), los efectos de las varianzas aditivas y de dominancia son similares y el grado de dominancia (d) fue cero, sin embargo, estas dos características presentan valores bajos de heredabilidad (h^2) con 11.3 y 12.64 %. Para longitud de mazorca (LMZ), número de granos por hilera (NGH) y el peso volumétrico (PV) son características que mantienen una relación muy estrecha, según los valores de correlación reportados por (Hernández y Esquivel, 2004), con valores de varianzas muy similares de manera proporcional, predominando la varianza aditiva sobre la de dominancia por lo cual no se observó grado de dominancia (d); el grado de heredabilidad (h^2) también resulto bajo 23.28, 9.82 y 1.79 % respectivamente, posiblemente por tratarse de caracteres que son regidos por genes múltiples (Soengas *et al*, 2003). El peso de mil semillas (PMS) resulto con valores negativos para la varianza aditiva, dominancia y heredabilidad (h^2).

Cuadro 6. Valores estimados de los principales parámetros genéticos, basados en las esperanzas de los cuadrados medios del análisis de apareamiento II de Carolina del Norte, de las características evaluadas de maíz. Aguascalientes, Ags. 2007

	RG	RMZ	PO	LMZ	DMZ	NGH	PMS	PV
σ^2_A	0.3	0.4	0.0	1.5	0.0	2.6	-1.1	10.2
σ^2_D	0.8	1.5	-0.0	-0.2	0.0	-0.7	-29.6	-18.0
σ^2_G	1.1	1.9	0.0	1.3	0.0	1.9	-30.8	-7.8
σ^2_P	1.7	2.5	0.1	6.3	0.1	26.8	213.5	571.9
h^2	19.2	17.3	11.3	23.3	12.6	9.8	-0.5	1.8
H^2	64.3	75.7	3.5	20.7	9.9	7.3	-14.4	-1.4
d	2.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0

RG= Rendimiento de grano, RMZ= Rendimiento de mazorca, PO= Peso del olote, LMZ= Longitud de la mazorca, DMZ= Diámetro de la mazorca, NGH= Número de granos por hilera, PMS= Peso de mil granos, PV= Peso volumétrico. σ^2_A = Varianza aditiva, σ^2_D = Varianza de dominancia, σ^2_G = Varianza genética, σ^2_P = Varianza fenotípica, h^2 = Heredabilidad en sentido estricto, H^2 = Heredabilidad en sentido amplio y d = Grado de dominancia.

Las correlaciones de los parámetros genéticos se presentan en el cuadro 7, muestran que la varianza fenotípica (σ^2_P), tiene una alta correlación con la varianza aditiva (σ^2_A), este efecto quizá puede ser explicado por la fuerte dependencia que tiene la acción génica aditiva para que sea expresada la varianza fenotípica, mas que el ambiente y su interacción (Wong et al, 2006). La varianza de dominancia (σ^2_D) tiene una correlación altamente significativa con la varianza genética (σ^2_G) y con la heredabilidad (h^2), lo que demuestra que no siempre en la formación de híbridos tiene que disminuir la varianza de tipo aditivo, sino que en algunos casos aumentan o disminuyen ambas varianzas (Márquez, 1991). Sin embargo la calidad de los componentes de varianza no siempre es satisfactoria, ya que la aplicación de los diseños de apareamiento para lograr esta aplicación ha encontrado problemas muy diversos (Castellanos, 2003).

Cuadro 7. Correlación de los parámetros genéticos estimados de los componentes de rendimiento de las características de los probadores macho cruzados con líneas endogámicas hembra en maíz de grano. Aguascalientes, Ags. 2007

	σ^2_A	σ^2_D	σ^2_G	σ^2_p	h^2	H^2	d
σ^2_A	1.00	-0.24ns	0.07ns	0.83**	-0.35ns	-0.23ns	-0.42ns
σ^2_D		1.00	0.95**	-0.72ns	0.84**	0.60*	-0.67ns
σ^2_G			1.00	-0.48ns	0.75**	0.54*	-0.83ns
σ^2_p				1.00	-0.71ns	-0.44ns	0.09ns
h^2					1.00	0.70**	-0.40ns
H^2						1.00	-0.03ns
d							1.00

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, ns = No significativo.

CONCLUSIONES

El comportamiento de las líneas usadas como probadores machos presentaron una alta significancia en casi todas las variables evaluadas excepto para el peso de mil semillas (PMS) y peso volumétrico (PV), las hembras y las cruzas presentaron alta significancia para rendimiento de grano (RG) y rendimiento de mazorca (RMZ). Los probadores M4, M1 y M5 tuvieron los promedios mas sobresalientes al formar los cruzamientos, por lo que aparecen con mayor frecuencia y rendimiento en las mejores cruzas evaluadas, efecto que influyó en la ACG, no sucedió lo mismo con la ACE, ya que entre las mejores cruzas con altos valores positivos, solamente aparece el probador M5. Al estimar los parámetros genéticos, la varianza de dominancia superó a la varianza aditiva en las variables rendimiento de grano (RG) y rendimiento de la mazorca (RMZ) observándose un alto grado de dominancia (d) y bajo porcentaje de heredabilidad (h^2). En las variables peso del olote (PO) y diámetro de mazorca (DMZ), ambas variables tuvieron valores similares para la varianza aditiva (σ^2A) y de dominancia (σ^2D), en el resto de las variables la varianza aditiva (σ^2A) fue superior, no existiendo dominancia (d) y con bajo porcentaje de heredabilidad (h^2). Existen algunos comportamientos en las acciones génicas que no coinciden con lo general ya que las F1 formadas dan lugar a una población variable y con presencia de heterosis para las características de rendimiento de grano (RG) y de mazorca (RMZ), no así, para el resto de las variables evaluadas. Los resultados obtenidos para ACG y ACE, los parámetros genéticos y sus correlaciones, pueden contribuir notablemente al mejoramiento genético del maíz.

BIBLIOGRAFÍA

- Allard R W (1980) Principios de la Mejora Genética de las Plantas. Editorial EOSA. España. 498 p.
- Calone M R, W A Russell (1987) Response to plant densities and nitrogen levels four maize cultivars from different eras of breeding. *Crop. Sci.* 27: 465-470.
- Castellanos J S (2003) Estimación de componentes de varianza genética con cruza autofecundadas de progenitores no endogámicos. *Agrociencia* Vol. 37 (3): pp 241-256.
- Chávez Araujo J L (1993) Mejoramiento de Plantas 1. Trillas: UAAAN. 2ª Edición. México. 136 p.
- Chávez Araujo J L (1994) Mejoramiento de Plantas 2. Métodos Específicos de Plantas Alógamas. Editorial trillas, S. A. de C.V. 50 p.
- Chávez A J L, E López (1995) Mejoramiento de Plantas 1. Editorial Trillas, México. 158 p.
- De la Cruz L E, R E Gutiérrez, G A Palomo, H S Rodríguez (2003) Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*, México. Vol. 26 (4): 279-284.
- Duvick D N (1999) Heterosis, feeding people and protecting natural resources. *Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. J. G. Coors and S. Pandey ED. 87-93 pp.
- Echarte L, S Luque, F H Andrade, U O Sadras, A Cirilo, M E Otegui, C R C Vega (2000) Responce of maize kernel Lumber to plant density in Argentina hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Res.* 68: 1-8.
- Espinoza A, M A López, N Gómez, E Betanzos, M Sierra, B Coutiño, R Aveldaño, E Preciado, A D Terrón (2003) Indicadores económicos para la producción y uso de semilla mejorada de maíz de calidad proteínica (QPM) en México. *Análisis y comentarios. Agronomía Mesoamericana*. México. p 12.

- Evans G C, M J Ottman, L F Welch (1989)** Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration and yield in corn. *Agron. J.* 81: 167-174.
- Falconer D S (1985)** *Introducción a la Genética Cuantitativa*. CECSA. México. 135 p.
- Gutiérrez R E, G A Palomo, B A Espinoza, L E Cruz (2002)** Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en La Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 25 (3) 271-277.
- Gutiérrez R E, B A Espinoza, G A Palomo, G J J Lozano, G O Antuna (2004)** Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para a Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 27 (Num. Especial 1) 7-11.
- Hallauer A R, B J Miranda (1988)** *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. The Iowa State University Press Ames, Iowa, 50010. First Edition 468 p.
- Hallauer A R (1990)** Methods used in developing maize inbreds. *Maydica*. 35: 1-16 p.
- Hernández C J M, E G Esquivel (2004)** Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. (Número Esp. 1): 27-31 p.
- HIVOS (2004)** Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre. *Acción Ecológica*. Red por una América latina libre de transgénicos. Quito- Ecuador 1: 62-72 p.
- Jenkins B J (1985)** *Genética*. Editorial Reverte S. A. Segunda Edición, 159 pp.
- Márquez S F (1988)** *Geotecnia vegetal*. Tomo II. Primera edición. Editorial AGTESA. México. p 563.
- Márquez S F (1991)** *Geotecnia vegetal. Métodos y Teoría*. Tomo III. AGT Editor. S. A. México. 7 p.
- Morales R M M, P J Ron, L L Cruz, G J J Sánchez, D J L Ramírez, P S A Hurtado, O J S Espinoza (2002)** Evaluación de cruas entre poblaciones de maíz

adaptadas a Jalisco. XIX Congreso Nacional de Fitogenética, Saltillo, Coahuila, México.

Morata M M, D A Presello, M P González, E Frutos (2006) Aptitud combinatoria para rendimiento entre líneas de maíz derivadas de nuevas fuentes de resistencia al Mal de Río Cuarto. Revista de la Facultad de Agronomía. Caracas Venezuela. 106 (1): 69-83.

Núñez H G, G F E Contreras, C R Faz, S R Herrera (1999) Selección de híbridos para obtener mayor rendimiento y alto valor energético en maíz para ensilaje. INIFAP-CIAN-CAELALA, 52 p.

Paliwal R L (2001) Consideraciones generales sobre el mejoramiento del maíz en los trópicos. Colección FAO. Producción y protección vegetal. Vol. 28: 1-7 pp.

Peña R A, H G Núñez, C González (2003) Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. Téc. Pecu. México. 40: 215-228.

Peña R A, H G Núñez, C González (2003) Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. Téc. Pecu. México. 40: 224 – 227.

Poehlman J M, S D Allen (2005) Mejoramiento Genético de las Cosechas. Segunda Edición. Editorial Limusa. México. 512-516 pp.

Ramírez L, B Egaña (2003) Guía de conceptos de genética cuantitativa. Departamento de producción agraria. Universidad Pública de Navarra. Primera Edición , 10-11 pp.

Soengas P, B Ordás, R A Alvar, P Revilla, A Ordás (2003) Heterotic patterns among Flint maize populations. Crop Sci. 43: 844-849.

Sprague G F, L A Tatum (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. J. Am. Soc. Agron. J. 44:258-262.

Vergara N, S Pandey, S Kumar, S D Mclean, S Rodriguez (1998) Comportamiento de híbridos de maíz y aptitud combinatoria de líneas con caracteres contrastantes. *Agronomía Mesoamericana* 9(2): 97-104 pp.

Wong, R R, R E Gutiérrez, G A Palomo, H S Rodríguez, O H Córdova, B A Espinoza G J J Lozano (2007) Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 30: 181-189 pp.

COMPORTAMIENTO GENÉTICO Y APTITUD COMBINATORIA EN
CRUZAS SIMPLES DE MAÍZ PARA FORRAJE

GENETIC BEHAVIOR AND COMBINING ABILITY IN SINGLE CROSS
FROM MAIZE ELITE LINES

César Guerrero Guerrero*, Armando Espinoza Banda, Arturo Palomo Gil, Sergio Rodríguez Herrera, Diana Jasso Cantú, Emiliano Gutiérrez del Río y J. Guadalupe Luna Ortega.

Departamento de Postgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Periférico y Carretera a Santa Fe. Torreón, Coahuila. Tel. 01 (871) 729-7676, Fax 01 (871) 729-7610, Ext. 7676. Correo electrónico: cesar_gg47@hotmail.com

* Autor para correspondencia

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en dos etapas, en 2006 la formación de cruzas en el campo experimental de la UAAAN-UL y, la evaluación de las mismas en 2007 en tres localidades; dos en el campo experimental de la UAAAN-UL durante los ciclos primavera y verano y, otra en el ejido el Niágara municipio de Aguascalientes Ags, durante la primavera. El objetivo principal fue identificar híbridos de maíz con potencial de rendimiento de forraje, estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas y la aptitud combinatoria específica (ACE) de las cruzas, así como cuantificar los efectos genéticos involucrados en las cruzas formadas. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones de 128 cruzas de maíz derivadas de 16 líneas élite utilizadas como hembras y ocho líneas élite usadas como probadores, utilizando el Diseño Carolina del Norte I. Los efectos de (ACG) para la variable rendimiento en forraje verde (RFV) y en los componentes de rendimiento se encontraron valores altamente positivos para los progenitores M6(B40), M8(CML311) y M1(AN447) con 52.0, 49.0 y 45.2 t ha⁻¹, las hembras mas sobresalientes H6(CML254), H4(CML319) y H3(B39) con 97.9, 96.3 y 95.1 t ha⁻¹. El RFV

correlaciona significativamente con seis de las características evaluadas. Para la mayoría de las variables los efectos no aditivos fueron los que más contribuyeron en la varianza fenotípica, donde la interacción con ambientes contribuyó en gran medida. Para la ACE las cruzas con mayor valor para RFV y sus componentes fueron 6x4, 6x6 y 8x6 con 30.8, 30.7 y 30.0. Estos híbridos podrían ser utilizados para explotación comercial por su alta capacidad de rendimiento en forraje verde.

Palabras clave: *Zea mays* L., Aptitud combinatoria, componentes genéticos, líneas élite, producción de forraje.

SUMMARY

The present work accomplished in two stages, in 2006 the formation itself of you cross at the UAAAN's experimental fields UL and the evaluation of the same in 2007 at three localities: Two at the UAAAN's experimental fields UL during cycles spring and summer, and another one in the common land the Niágara Aguascalientes Ags's municipality, during spring. For evaluations an experimental design of complete blocks was utilized at random with two repetitions. The main objective was to identify corn hybrids with yield potential of forage, estimating the effects of general combining ability (GCA) of lines and specific combining ability (ACE) of the crosses, and to quantify the genetic effects involved in crosses formed. Was used an experimental design of randomized blocks with two repetitions of 128 crosses from 16 maize elite lines used as females and eight elite lines used as testers, using the North Carolina Design I. Regarding the effects of (ACG) for the variable performance in green meat (PGM) and in the components of performance highly positive moral values found for some progenitors being the M6 themselves (B40), M8 (CML311) and M1 (AN447) the ones belonging to bigger value with 52.0, 49.0 and 45.2¹ has t, females but outstanding H6 (CML254), H4 (CML319) and H3 (B39) with 97.9, 96.3 and 95.1¹

has t. For the majority of variables effects no additive than were they who they contributed in the variance phenotypic, where the interaction of different environments had great influence. For the ACE you cross them with bigger value for RFV and principal components were 6x4, 6x6 and 8x6 with 30.8, 30.7 and 30.0, these crossbreeds would be able to be used for commercial exploitation by his tall performance capability in green meat. The crossbreeds of bigger average yield were 6x4, 6x6 and 8x6 with 123.04, 122.69 and 120.18 ha⁻¹ t.

Index words: *Zea mays* L., Combining ability, experimental hybrids, elite lines, testers.

INTRODUCCIÓN

El maíz es la planta cultivada más importante de América a pesar de haber sido domesticada por el hombre en el área de Mezoamérica, en el que está comprendido el sur de México. El maíz ocupa el primer lugar en la producción mundial de cereales con 772 millones de toneladas (Medina, 2008) donde nuestro país ocupa el cuarto lugar a nivel mundial, escenario en el cual EUA aporta un poco más del 40 % de la producción (García, 2004). En México el cultivo del maíz es la base de la alimentación de sus habitantes y el cultivo más importante de la agricultura nacional, produce 21.1 millones de toneladas al año, sin embargo, aún no ha sido posible alcanzar la autosuficiencia en la producción por lo que el país se ve obligado a importar grandes cantidades de grano, 8.4 millones de toneladas anuales que es el 25% del consumo nacional (Calderón *et al*, 2005). En México el cultivo de maíz ocupa 8.5 millones de hectáreas, equivalente al 50.3 % de la superficie cultivada (Espinosa, 2004), antes del TLCAN se importaban 2.5 millones toneladas y en 2003 8.5 lo que pone de manifiesto la falta de soberanía alimentaria (García, 2004). En varios estados de la Republica Mexicana el cultivo de maíz es el sustento directo de millones de personas, donde el consumo promedio diario per capita es 286 gramos y aporta el 47% de las calorías diarias necesarias (Tron, 2004). La Comarca Lagunera es una de las cuencas lecheras más importantes en el ámbito nacional, cuenta con aproximadamente 214 mil cabezas de ganado bovino lechero en producción, las cuales producen 1.73 millones de litros de leche diarios (Espinosa *et al*, 2003). Donde se siembra una superficie de 39,413 hectáreas, con una producción de 1'500,808 toneladas (SAGARPA, 2007). La magnitud de este sistema de producción plantea la necesidad de proponer estrategias concernientes a la producción de forraje para su manutención, por lo que se ha seleccionado el maíz como un forraje de importancia, ya que se considera como una planta de la cual se obtiene una alta

producción, además de ser energético Espinoza *et al.*, (2003). La investigación en maíz forrajero se ha enfocado a incrementar la producción y el valor energético, además de eficientar la producción de materia seca por metro cúbico de agua. En la actualidad el 93% de los agricultores usa materiales mejorados (Aguilar *et al.*, 2000), el resto de los productores utiliza variedades criollas y ocasionalmente semillas de generaciones segregantes, procedentes de progenies de híbridos (Gutiérrez *et al.*, 2002). Reta *et al.*, (2002) indican que es posible obtener hasta 80 t ha⁻¹ de forraje fresco y 24 t ha⁻¹ de forraje seco (30% de materia seca) con un contenido de grano de 45-50%. El objetivo del presente trabajo fue estimar y cuantificar la acción génica involucrada en las cruces de maíz forrajero a partir de líneas elite así como la aptitud combinatoria general, específica y su caracterización. Considerando la estimación de los componentes genéticos de algunos rasgos agronómicos para seleccionar híbridos experimentales con alto rendimiento en forraje verde.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado estuvo constituido por 24 líneas, siete de ellas provenientes del programa de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL), cuatro líneas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y 13 líneas del programa del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La descripción genealógica de las líneas es la siguiente:

M1; L-AN 447. Línea de 8 autofecundaciones, derivada de generaciones avanzadas del Híbrido AN-447 con características de amplia adaptabilidad.

M2; L-AN 130. Proviene de la F₄ del H-507, cruzada con la población de El Bajío Celaya-2.

- M3; L-AN 123. Obtenida de forma divergente y contrastada de una variedad criolla de Jalisco; de hojas pálidas y onduladas.
- M4; L-AN 388R. Línea enana, con hojas anchas y suculentas generada a partir de la F₃ del híbrido AN-388.
- M5; L B-32. Línea de INIFAP derivada del híbrido H-353
- M6; L B-40. Cuyo origen proviene de INIFAP-B40.
- M7; CML-316 CIMMYT, Pob500P500c0F114-1-1-B*3.
- M8; CML-311 CIMMYT, Pob500S89500 F2-2-2-2-B*5
- H1; L-AN 123 R. Línea de alta endogamia formada de variedad Criolla del municipio de Concepción, Jalisco con precocidad y tolerancia a sequía.
- H2; L-AN 360 PV. Línea obtenida de la población enana denominada Pancho Villa, vigorosa y con hojas anchas.
- H3; L B-39. Cuyo origen proviene de INIFAP-B39.
- H4; CML-319 CIMMYT. RecyW89 (Cr.Arg/CIM.ShPINPH)6-3-2-4-B-B.
- H5; CML-264 Pob21 CIMMYT, Pob21C5F219-3-1-B-__ -8-1-3-BBB-f.
- H6; CML-254 Pob21 CIMMYT, TUXSEQ-149-2-BBB-__-1-BB-F.
- H7; CML-313 CIMMYT, Pob501c0F6-3-3-2-1-B-B.
- H8; CML-273 Pob43 CIMMYT, (ACT643*43F7)-2-3-2-1-bb-F.
- H9; CML-247 Pool24 CIMMYT, (G24F119*G24F54)-6-4-1-1-BB-f.
- H10; CML-271 Pob29 CIMMYT, pob29stec1hc25-6-4-1-__-BBB-F.
- H11; CML-278 Pob43 CIMMYT, DMANTES8043-53-1-1-b-__-1-BB-f.
- H12; CML-315 CIMMYT, Pob500P500c0F246-4-1-2-2-B*3
- H13; CML-318 Recy W87[B810(66)S3/G24S2]-B-8-1-1-3-B*4.
- H14; CML-321 Pop 502 P502c0F1-1-3-1-B*4.
- H15; LE M426.

El presente trabajo se realizó en el campo experimental de la UAAAN-UL, en Torreón, Coahuila en la Comarca Lagunera, localizada geográficamente entre los paralelos 24° 30' y 27° LN y los meridianos 102° y 104° 40" LO, con 1150 msnm y un clima seco, caluroso y en el ejido el Niágara municipio de Aguascalientes Ags, situado en la región occidental de la Altiplanicie Mexicana, en las coordenadas 21° 53" de latitud norte, 102° 18" de latitud oeste a una altura de 1870 metros sobre el nivel del mar y clima semiárido templado, con una temperatura media anual de 17 °C, La precipitación pluvial es de 526 milímetros, con lluvias abundantes en verano y poca intensidad el resto del año. Los vientos dominantes son alisos en dirección sureste-noreste durante el verano y parte del otoño.

El proyecto se desarrolló en dos etapas: en la primavera del 2006, se realizaron las 128 cruzas posibles directas de las 16 líneas utilizadas como hembras y de las 8 líneas usadas como machos de acuerdo al diseño de apareamiento genético Carolina del Norte I (Comstock y Robinson, 1948), se utilizaron 10 plantas de cada línea para obtener la semilla de las cruzas y, al año siguiente (2007) durante la primavera se evaluó en dos localidades. Sembrándose el 18 de marzo y el 24 de mayo respectivamente y, en el verano se sembró el cuatro de agosto en la UAAAN-UL. En todos los casos se utilizó el diseño de bloques al azar con dos repeticiones. El riego fue con cintilla superficial (riego por goteo), procurando mantener un buen nivel de humedad durante el ciclo del cultivo, se fertilizó con la formula 180-100- 00, se aplicó el 50% del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto del nitrógeno al momento de cultivar. La parcela experimental fue de un surco de dos metros de largo y 0.75 m de ancho, con seis plantas por metro, para tener una población aproximada de 85 000 plantas ha⁻¹. El

control de maleza se llevo a cabo con la aplicación de herbicida preemergente al momento de realizar el riego de nacencia. Las variables evaluadas fueron: Rendimiento de forraje verde (RFV), peso del tallo (PT), Peso de las hojas de la planta (PHP), Peso del elote con hojas (PECH), Diámetro del elote (DE), Longitud del elote (LE) y Altura de planta (AP).

El análisis estadístico para las variables evaluadas, se realizó con el paquete SAS (SAS b, 1988). El análisis de la aptitud combinatoria del material genético se hizo de acuerdo con el diseño Carolina del Norte I de Comstock y Robinson (1948), los valores estadísticamente superiores en las variables estudiadas fueron los que superaron o igualaron al valor de la media más dos veces su desviación estándar ($\mu + 2 \sigma^2$). Los efectos de ACG y ACE de cada variable, se obtuvieron de acuerdo a los valores positivos resultantes del análisis.

RESULTADOS

Los cuadrados medios para localidades tuvieron alta significancia (ANOVA; $p \leq 0.01$) en todas las variables evaluadas. Los machos (M) fueron significativos (ANOVA; $p \leq 0.01$) para todas las variables evaluadas mostrando la diversidad que existe entre las líneas; para H(M) las cruzas mostraron diferencias significativas (ANOVA; $p \leq 0.01$) en las variables LE y AP, no así para el resto de las variables. Los coeficientes de variación (CV), oscilaron entre 2.12% y 21.9%, correspondiendo a AP y PT respectivamente. La media del rendimiento para la variable producción de forraje verde (PFV) fue de 88.3 t ha⁻¹, de acuerdo a la magnitud de la media de las variables peso del tallo (PT), peso de las hojas de la planta (PHP) y peso del elote con hojas (PECH), contribuyen mas al rendimiento de forraje verde (RFV) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios y nivel de significancia estadística utilizando el Diseño II de Carolina del Norte para siete características agronómicas que determinaron el rendimiento en forraje verde del maíz. Combinado de tres localidades 2007.

FV	GL	RFV t ha ⁻¹	PT t ha ⁻¹	PHP t ha ⁻¹	PECH t ha ⁻¹	DE cm	LE cm	AP m
L	2	75026.1**	30629.3**	135.7**	11700.0**	50.0**	313.0**	30.5**
R/L	3	18295.0**	3617.1**	436.8**	2981.0**	0.2ns	15.4**	1.6*
M	7	8291.3**	2694.3**	140.0**	921.1**	1.6**	59.0**	2.6**
H(M)	120	895.0ns	234.5ns	23.4ns	168.3ns	0.4ns	8.6**	0.1**
LxM	14	2180.8*	607.6*	54.5*	340.9*	0.6ns	15.1**	0.4**
LxH(M)	240	579.0ns	146.3ns	12.4ns	131.4ns	0.3ns	5.6**	0.0ns
Error	381	556.2	156.9	15.1	132.3	0.3	5.3**	0.1
MEDIA		88.3	39.18	15.1	34.0	4.6	19.8	13.7
C.V. (%)		19.7	21.96	15.8	20.5	11.8	11.7	2.1

F. V = Fuentes de variación, G.L. = Grados de libertad, AP = altura de planta, RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote. (* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$), ns= no significativo.

El comportamiento medio de las líneas progenitoras macho, mostró que M6(B40) y M8(CML311) integraron el grupo con los valores estadísticamente superiores para RFV, PT y PHP; en tanto que en PECH sobresalen M4, M5, M6 y M8. Respecto a las dimensiones del elote, para DE excepto el M3 el resto fueron estadísticamente iguales y para LE los machos M1, M4 y M6 mostraron la mayor longitud. Para altura de planta (AP) los machos forman un grupo muy compacto que va de 2.0 a 2.3 m (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comportamiento promedio de rendimiento en forraje verde en $t\ ha^{-1}$ de las líneas endogámicas de maíz usadas como machos, para 14 características agronómicas, combinado de tres localidades 2007.

	RFV	PT	PHP	PECH	DE	LE	AP
	$t\ ha^{-1}$	$t\ ha^{-1}$	$t\ ha^{-1}$	$t\ ha^{-1}$	cm	cm	m
M ₁	90b	41.9b	15.3b	33.1b	4.7a	20.5a	2.3a
M ₂	81c	35.4c	14.4b	31.6c	4.6a	19.2b	2.0ab
M ₃	76	32.5	14.1c	29.4	4.3b	19.5b	1.9ab
M ₄	85b	36.0c	14.7b	34.6ab	4.7a	20.3a	1.9ab
M ₅	90b	39.3b	14.9b	35.8ab	4.6a	19.6b	2.2 a
M ₆	104 a	48.2a	17.5a	38. a	4.5a	21.0a	2.4 a
M ₇	81c	35.8c	13.7	31.8c	4.6a	18.7b	2.1 a
M ₈	98a	44.3a	16.0ab	37.7a	4.6a	19.3b	2.2 a

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS, 0.05).

Los efectos significativos de ACG de las líneas progenitoras macho, resaltan M1, M6 y M8 con dos, seis y tres valores positivos y significativos. El M6 para RFV, PHP, PECH y LE, en tanto que M8 para RFV, PHP y PECH (Cuadro 3). Respecto a las hembras (H) ninguna presento valores significativos para RFV, éstos se observaron para los componentes, donde sobresalen las hembras H4 (CML 319), H6 (CML 254), H8 (CML 273) y H9 (CML 247). La H4 y H9 con cinco valores significativos; H4 es significativa para PT, PHP, PECH, DE y LE, en tanto H5 consecutivamente de PHP hasta LE. Las hembras H6 y H8 con tres valores significativos; H6 para PT, PHP y

PECH; en tanto que H8 PT, PECH y LE. De acuerdo a los valores observados permitan encontrar combinaciones específicas donde participan los machos M1, M6 y M8, con líneas hembras H4, H6, H8 y H9 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Aptitud Combinatoria General (ACG) de líneas de maíz usadas como machos y hembras para rendimiento de forraje verde en siete características evaluadas, combinado de tres localidades 2007.

Padre	RFV t ha ⁻¹	PT t ha ⁻¹	PHP t ha ⁻¹	PECH t ha ⁻¹	DE cm	LE cm	AP m
M1	45.2*	20.9	15.3	15.3	4.7	20.5*	2.3
M2	40.5	17.7	14.4	14.4	4.6	19.1	2.0
M3	38.1	16.3	14.1	14.1	4.3	19.4	1.9
M4	42.7	18.0	14.7	14.7	4.7	20.3*	1.9
M5	45.0*	19.7	14.8	14.8	4.6	19.5	2.2
M6	52.0**	24.1	17.5***	17.5**	4.5	21.0**	2.4
M7	40.5	17.9	13.7	13.7	4.6	18.6	2.1
M8	49.0**	22.2	16.0*	16.0*	4.6	19.3	2.2
H1	-5.4	34.1	13.1	13.1	4.7	19.8	2.0
H2	-4.4	34.6	13.4	13.4	4.7	19.0	2.0
H3	3.4	41.3*	15.7	15.7	4.5	20.1*	2.1
H4	4.0	41.2*	16.1*	16.1*	4.5	21.0**	2.2
H5	3.0	42.9**	15.7	15.7	4.4	19.2	2.1
H6	4.8	44.4**	16.7*	16.7*	4.5	19.2	2.1
H7	-1.5	39.7	14.2	14.2	4.5	19.7	2.1
H8	1.6	41.5*	16.0	16.0*	4.6	20.3*	2.1
H9	6.0	38.5	17.6**	17.6**	8.0**	21.1**	5.9**
H10	-0.8	38.9	14.8	14.8	4.6	18.6	2.2
H11	0.6	41.4*	15.1	15.1	4.4	19.1	2.3
H12	0.1	39.1	15.4	15.4	4.6	20.4*	2.2
H13	-1.3	36.1	14.8	14.8	4.6	20.5*	2.1
H14	0.3	39.4	15.2	15.2	4.6	20.1*	2.2
H15	-2.8	35.7	14.3	14.3	4.3	19.3	2.1
H16	-7.9	38.0	15.2	15.2	4.9	19.4	2.0

* Valores significativamente diferentes de cero al 0.05 de probabilidad. M = Machos, H = Hembras, AP = altura de planta, RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del

tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote.

Se observó una amplia variación entre las medias de las cruzas para todas las variables en estudio, en donde se presentan los resultados de las 15 mejores cruzas en base al rendimiento de forraje verde (RFV). Para la variable RFV, el grupo estadísticamente superior incluye mas de 20 cruzas las que componen este grupo, que también son las mas sobresalientes en PT, PHP, PECH y LE, sobre todo en los principales componentes del rendimiento. En cuanto a las variables relacionadas con el elote de la planta, para diámetro del elote (DE) solo cuatro cruzas forman parte del grupo sobresaliente, para longitud del elote (LE), 14 de las 15 cruzas son las sobresalientes. Las cruzas 6x4, 6x6, 8x6 y 8x4 son las que obtuvieron los mayores rendimientos en forraje verde, también presentan valores altos para PT, PHP, PECH y LE que son los principales componentes del rendimiento. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedios de rendimiento en forraje verde en $t\ ha^{-1}$ de las 15 mejores cruzas de maíz para siete características agronómicas evaluadas, combinado de tres localidades 2007.

Cruza	RFV $t\ ha^{-1}$	PT $t\ ha^{-1}$	PHP $t\ ha^{-1}$	PECH $t\ ha^{-1}$	DE cm	LE cm	AP m
6x4	123a	53b	20a	50a	4.6a	23a	2.42c
6x6	123a	61a	22a	40c	4.2b	21a	2.53 a
8x6	120a	56b	18ab	46b	4.3ab	18ab	2.13
8x4	119a	49bc	17ab	52a	4.7a	22a	2.26
6x3	118a	53b	19a	47b	4.1b	22a	2.55 a
6x5	114ab	54b	18ab	43b	4.6a	20a	2.14
6x11	114ab	54b	19a	40c	4.4ab	20a	2.38c
8x5	113ab	50bc	16b	46b	4.6a	21a	2.27
1x5	111ab	52b	18ab	41c	4.5ab	21a	2.52 a
1x15	109b	51bc	17ab	41c	4.5ab	2 a	2.39c
8x9	106b	48c	17ab	42c	4.6a	19ab	2.09
5x16	106b	49bc	17ab	41c	5.0a	20a	2.25
8x7	105c	58a	18ab	30	4.5ab	20a	2.21
6x14	105c	42	17ab	37	4.3ab	21a	2.49b

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS, 0.05).

Para los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE), solamente las variables RFV, PT y PECH presentaron diferencias significativas. Dentro de las mejores 15 cruzas presentadas, las cruzas 6x4, 6x6, 8x6 y 8x4 para RFV, formaron al grupo estadísticamente superior al ($p \leq 0.01$), las cruzas 6x4, y 6x6 fueron para la variable PT, para la crusa 6x6 la variable PHP y para las cruzas 6x4 y 8x4 para PECH son las de mayor contribución; mientras que 6x5, 1x5, 8x5 8x9, y 6x7 se incluyen en el grupo superior al ($p \leq 0.05$), para las mismas variables, las cruzas 6x11, 6x7 y 6x6, expresan la mayor contribución a RFV. Para la característica DE, un grupo formado por las cruzas 8x9, 6x5, 8x5 y 5x16 son estadísticamente significativas al ($p \leq 0.05$), estas cruzas además de las cruzas 5x8 y 1x10, forman el grupo sobresaliente al ($p \leq 0.05$). Para la

característica longitud del elote (LE), las cruzas 6x4, 6x3, 8x4 y 6x7, son las más sobresalientes estadísticamente al ($p \leq 0.01$), además las cruzas 6x6, 1x5, 1x15 y 6x14 se incluyen en el grupo sobresaliente al ($p \leq 0.05$), (Cuadro 5).

Cuadro 5. Aptitud combinatoria específica (ACE) de las 14 mejores cruzas de maíz según su capacidad de rendimiento en forraje verde, para 14 características agronómicas evaluadas, combinado de tres localidades 2007.

Cruza	RFV	PT	PHP	PECH	DE	LE	AP
♀ ♂	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹	cm	cm	m
6x4	30.8**	13.2*	4.9	12.6*	1.2	5.8**	.61*
6x6	30.7**	15.3**	5.4**	9.9	1.1	5.3	.63*
8x6	30.0*	13.9	4.6	11.5	1.1	4.6	.53
8x4	29.7*	12.4	4.3	13.0**	1.2	5.4*	.57
6x3	29.6	13.2*	4.7	11.7	1.0	5.5*	.64**
6x5	28.6	13.4*	4.4	10.7	1.2	5.0	.54
6x11	28.5	13.5*	4.9	10.1	1.1	5.0	.6
8x5	28.2	12.6	4.0	11.5	1.2	5.2	.57
1x5	27.8	13.1	4.4	10.3	1.1	5.3	.63*
1x15	27.3	12.7	4.2	10.3	1.1	5.3	.6
8x9	26.7	11.9	4.3	10.5	4.6**	4.7	.52
5x16	26.7	12.3	4.2	10.2	1.2	5.1	.56
8x7	26.5	14.5	4.5	7.5	1.1	5.0	.55
6x14	26.4	10.4	4.3	9.3	1.1	5.3	.62
6x7	26.4	12.7	4.6	9.2	1.1	5.7**	.65**

AP = altura de planta, RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote y LE = longitud del elote. (* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$).

Los coeficientes de correlación, en general mostraron que los componentes del rendimiento mantuvieron una relación alta y positiva con RFV al ($p \leq 0.01$), el rendimiento en forraje verde muestra las correlaciones más altas con las variables PT (0.94), PHP (0.80) y PECH (0.89). La variable PT presenta los valores más altos de correlación con las características PHP (0.72) y PECH (0.69), las altas correlaciones

indican el grado de asociación entre variables, al seleccionar para mejorar cualquiera de las variables también se expresaría, las variables DE y LE tuvieron poca correlacionaron con todas las características evaluadas, esto indica una baja interdependencia entre estas variables, por lo que posiblemente se tendría avance si se seleccionara a la vez en función de dos variables independientes como DE y LE que probablemente aportarían mas para el rendimiento del forraje verde (Cuadro 6).

Cuadro 6. Coeficientes de correlación para siete características agronómicas evaluadas en maíz, combinado de tres localidades 2007.

	RFV	PT	PHP	PECH	DE	LE	AP
RFV	1.00	0.94**	0.80**	0.89**	0.26ns	0.32ns	0.37ns
PT		1.00	0.72**	0.70**	0.32ns	0.31ns	0.45*
PHP			1.00	0.63*	0.16ns	0.24ns	0.31ns
PECH				1.00	0.16ns	0.30ns	0.22ns
DE					1.00	0.42*	0.48*
LE						1.00	0.41ns
AP							1.00

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, ns = No significativo.

Para los componentes de varianza, los valores de la varianza de dominancia resultaron más elevados para la mayoría de las variables estudiadas que los valores de la varianza aditiva, solo las variables DE y AP resultaron con valores muy similares entre ambas variables, por ende, la varianza ambiental influyó en mayor proporción a la expresión de la varianza fenotípica. En la manifestación de las varianzas fenotípicas, solamente en la variable AP, se encontró mayor aportación de la varianza genética que la varianza del error, mientras que para el resto de las variables RFV, PT, PHP, PECH y LE la varianza de dominancia es mayor que la varianza genética. El porcentaje de heredabilidad más elevado en sentido estricto (h^2) fue para AP y PT, en sentido amplio (H^2), resultó similar entre las variables AP y PHP, para las variables DE y AP la

varianza aditiva es la que más contribuyó a la expresión de la varianza genética, esta a la vez en la expresión de la varianza fenotípica (Cuadro 7).

Cuadro 7. Componentes de varianza de 14 variables agronómicas, Varianza fenotípica (σ^2P), varianza genética (σ^2G), varianza aditiva (σ^2A), varianza de dominancia (σ^2D), Heredabilidad en sentido amplio (H^2), estricto (h^2) y grado de dominancia (d^2), para 14 características agronómicas evaluadas en maíz, combinado de tres localidades 2007.

	RFV	PT	PHP	PECH	DE	LE	AP
σ^2P	498	142	12	70.5	0.1	4.3	0.1
σ^2G	364	110	10	40.3	0.1	3.0	0.1
σ^2A	154	51	2.4	15.7	0.0	1.1	0.1
σ^2D	210	59	7.3	24.6	0.0	2	0.0
σ^2ACG	154	51	2.4	15.7	0.0	1.1	0.0
σ^2ACE	210	59	7.3	24.6	0.0	2	0.0
H^2	73	77	79.4	57.1	50.6	71.8	81.4
h^2	30	36	19.9	22.2	19.5	24.9	46.4
d^2	1.7	1.5	2.4	1.8	1.8	1.9	1.2

σ_A^2 = Varianza aditiva, σ_D^2 = Varianza de dominancia, σ_G^2 = Varianza genética, σ_P^2 = Varianza fenotípica, h^2 = Heredabilidad en sentido estricto, H^2 = Heredabilidad en sentido amplio, d^2 = Grado de dominancia, AP = altura de planta, RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote.

La mayoría de los componentes genéticos, mostraron una alta y significativa correlación entre la varianza aditiva (σ^2A), la varianza de dominancia (σ^2D), la varianza genética (σ^2G), la varianza del error (σ^2E) y la varianza fenotípica (σ^2P), las correlaciones entre estas varianzas, están con valores muy cercanos a la unidad. La varianza fenotípica, tiene una correlación altamente significativa con la varianza genética y la de dominancia, este efecto quizá se explique por la fuerte relación que tienen las tres, de la misma manera la varianza aditiva tiene una correlación altamente significativa con la varianza de dominancia con las heredabilidades y con el grado de dominancia. Las heredabilidades (H^2) y (h^2) tuvieron alta correlación con las varianzas aditiva y de dominancia, mientras que entre ellas guardan una estrecha relación. El

grado de dominancia correlaciono con las varianzas aditiva, de dominancia y con la heredabilidad (H^2) y (h^2) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Coeficientes de correlación entre los parámetros genéticos. Combinado de tres localidades 2007.

	σ^2P	σ^2G	σ^2A	σ^2D	H^2	h^2	d^2
σ^2P	1	0.909**	-0.228	0.664**	-0.087	-0.087	-0.241
σ^2G		1	0.176ns	0.893**	0.329ns	0.330ns	0.149ns
σ^2A			1	0.545**	0.953**	0.957**	0.992**
σ^2D				1	0.665**	0.669**	0.516**
H^2					1	0.965**	0.914**
h^2						1	0.914**
d^2							1

* = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, ns = No significativo.

DISCUSIÓN

El comportamiento diferencial de las variables RFV, PT, PHP, PECH, DE y LE a través de las cruzas de prueba desarrolladas, es atribuible a la gran diversidad genética prevaleciente en las líneas progenitoras, producto de su origen genético heterogéneo; lo cual ha sido también determinado por otros autores (De La Rosa *et al*, 2000; Soengas *et al*, 2003; De La Cruz *et al*, 2005). De igual manera Moreno *et al.*, (2002) identificaron híbridos de maíz de alto rendimiento como resultado de la alta variabilidad genética entre las poblaciones de donde se derivaron las líneas y a la diversidad genética entre las líneas probadoras. La presencia de coeficientes de variación aceptables (CV=4.8, 5.14, 9.67, 11.61 y 11.8%) en las variables LE y DE, indicaron una precisión mayor en su muestreo; no así en las variables RFV, PT, PHP, PECH y AP, las cuales presentaron una mayor complejidad de su manejo (Kang *et al*, 1999; Peña *et al*, 2003). Las medias generales para cada variable indicaron que al obtenerse un rendimiento de 88.3 t de forraje verde, el peso del tallo con espiga y el peso de las hojas de la planta, contribuyeron con un 43 y 40.6% respectivamente al peso verde total aproximadamente;

mientras que Amador y Boschini (2000) obtuvieron 92 t de forraje verde con el 63% de tallos y espigas, 15% de elote y 16% de hojas. Por otra parte Gutiérrez *et al.*, (2002) con híbridos de maíz adaptados a esta región obtuvieron rendimientos similares a los encontrados en este estudio.

La contribución a la varianza de las cruzas para la mayoría de los tratamientos es atribuible a los efectos no aditivos (ACE). La presencia de diferencias en la expresión de la ACE para los caracteres determinantes para la expresión del rendimiento en forraje verde, al expresarse con valor mayor a los valores de ACG, coincidió con lo reportado por De la Cruz *et al.*, (2005) quienes encontraron diferencias significativas para ACE y no significativas para ACG; sin embargo, De la Rosa *et al.*, (2000) reportaron diferencias significativas para ambas fuentes de variación ACG y ACE. La presencia de variabilidad genética encontrada en función de la ACG y ACE en la mayoría de las variables (PT, PHP, PECH, DE y LE) señala la necesidad de continuar con el mejoramiento de estos componentes del rendimiento para una mayor expresión de RFV; esta variación genética indica la posibilidad de producir híbridos comerciales, al seleccionar híbridos cada vez más rendidores. Además deberá también analizarse la calidad del forraje para elote, tallos, hojas y vainas del tallo de cada hoja para maximizar y complementar los avances en la investigación en maíces forrajeros donde se considere el incremento del rendimiento, calidad de la planta y el grano (Moreno *et al.*, 2000). Argillier *et al.*, (2000) encuentran que la ACG de las líneas, es la fuente de variación más importante para características de rendimiento en forraje del maíz, lo que refuerza la idea de seleccionar para rendimiento y calidad del forraje.

Las líneas progenitoras M6, M8, H6, H4, H3 y H5 resultaron con los valores promedio más altos para la variable RFV. Por otra parte, las variables PT, PHP y PECH en este orden, son las que más contribuyeron a la expresión del rendimiento del forraje

verde RFV y por consiguiente a la producción de materia seca (Amador y Boschini, 2000). La variabilidad mostrada por los valores de PHP, ayudarían a seleccionar híbridos con mayor cantidad de hojas, característica que esta llamando la atención en la formación de idiotipos de maíz forrajero (Lauer *et al*, 2001).

Las líneas con los valores más altos de ACG fueron los obtenidos por los progenitores M6, M8, M1 Y M5 para la mayoría de las variables estudiadas. Las cruzas con mejores rendimientos en RFV fueron: 6x4, 6x6, 8x6, 6x3, 6x5, 6x11 y 8x5. Las variables que más contribuyeron a la expresión de RFV fueron: PT, PHP, PECH, DE y LE. Las líneas que más participaron en las cruzas sobresalientes fueron: M6 en cinco eventos, M8 en dos eventos, H6 y H5 en dos eventos; el resto de los progenitores apareció una solo vez, estas líneas que se manifestaron con mayor frecuencia en los híbridos sobresalientes fueron las que obtuvieron los más altos valores de ACG. No obstante, se encontró que los híbridos más rendidores para RFV (6x4, 6x6 y 8x6) provinieron de líneas con valores alto de ACG, lo cual es un indicativo de que al menos uno de los progenitores de las cruzas más sobresalientes presente altos efectos de ACG (Gutiérrez *et al*, 2002).

Las cruzas de mayor ACE para RFV fueron 6x4, 6x6, 8x6, 8x4, 6x3, 6x5, 6x11, 8x5, 1x5 y 1x15 las cuatro primeras 6x4, 6x6, 8x6 y 8x4 coincidieron con las más rendidoras para RFV. En general se encontraron líneas con altos y bajos valores de ACG, incluso con valores negativos, integrando las cruzas con mayor expresión de ACE y rendimiento. Por lo tanto, es factible identificar las mejores combinaciones de líneas en híbridos para alta productividad (para ACG) probar y seleccionar combinaciones híbridas únicas donde se expresen altos valores de ACE, aun cuando la alta ACG haya sido la más importante para la identificación de las líneas (Hallauer & Miranda, 1988).

El coeficiente de correlación permitió identificar que la variable RFV, estuvo correlacionada con PT, PHP y PECH, probablemente debido a los efectos múltiples de

los genes que manifiestan estos caracteres, aunque el ligamiento genético es otra causa importante para estas correlaciones. El mayor grado de asociación fue encontrado entre RFV, PT, PHP y PECH que son los principales componentes del rendimiento, también entre DE y LE. La correlación indica que si mejoramos para elevar la producción de una variable, las variables asociadas con ella van a ser modificadas en el mismo sentido (selección indirecta). En el caso de los materiales que intervinieron en este estudio, resultaron híbridos con buen carácter de abundancia para PHP que es una característica que esta llamando la atención a los mejoradores de maíz forrajero, aun más si al realizarse análisis de fibras estas aportaran mayor calidad al forraje (Bal *et al*, 2000).

La mayor heredabilidad en sentido estrecho (h^2) y en sentido amplio (H^2) la observamos en AP, PT y PHP, Chávez (1995) expresa que la heredabilidad se refiere a la capacidad que tienen los caracteres para transmitirse de generación en generación, es decir, que ésta se pueda considerar como el grado de parecido entre los individuos de una generación y la siguiente, por lo que se considera estas serían los caracteres que se trataría de recombinar y seleccionar. En la expresión de la varianza fenotípica (σ^2P) para RFV, PT, PHP y PECH, la varianza de dominancia (σ^2D) fue la que más contribuyó para la expresión de estas características por lo complicado del muestreo.

En relación a los componentes genéticos de las variables estudiadas, la mayor contribución fue encontrada en la varianza de dominancia (σ^2D) por lo que resultaron algunos híbridos superiores que en un futuro se podrían explotar comercialmente como son las cruces 6x4, 6x6, 8x6, 8x4, 6x3, 6x5 y 1x5, por lo que es necesario sembrarlas en parcelas demostrativas para que los agricultores los identifiquen y los comparen con los híbridos que ellos siembran.

CONCLUSIONES

El comportamiento de las líneas usadas como probadores macho presentaron una alta significancia en todas las características evaluadas, consideradas como los principales componentes del rendimiento, no así las líneas usadas como hembras que no presentaron significancia excepto para longitud del elote (LE) y altura de planta (AP). Los probadores M6, M8, M1 y M5 resultaron con los valores promedio mas altos en la mayoría de las variables evaluadas, por lo que aparecen con mayor frecuencia y rendimiento en las mejores cruzas evaluadas 6x4, 6x6, 8x6 y 8x4, efecto que influyo en la ACG, y ACE con los valores positivos mas altos. En los parámetros genéticos, la varianza de dominancia superó a la varianza aditiva en RFV, PT, PHP, PECH y LE reflejándose esto en un alto grado de dominancia (d) y bajo porcentaje de heredabilidad (h^2), excepto para LE y AP donde ambas varianzas tuvieron los mismos resultados. Los comportamientos en las acciones génicas coincidieron en lo general en las cruzas formadas, dando lugar a una población variable y con presencia de heterosis. Los resultados obtenidos para ACG y ACE, los parámetros genéticos y correlaciones entre el rendimiento y sus componentes, pueden contribuir de manera notable al mejoramiento genético del maíz. Los nuevos híbridos formados podrían ser utilizados para explotación comercial por su alta capacidad de rendimiento promedio en forraje verde.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar V A, H L A García, G A Luévano (2000)** El impacto social y económico de la ganadería lechera en la Región Lagunera. Séptima edición. Grupo Industrial LALA, Torreón, Coah. p. 207.
- Amador R A L, F C Boschini (2000)** Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 171-177.
- Anónimo (2007)** Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. Fichas por Estado. SAGARPA. Avances reportados de siembras y cosechas, superficie sembrada y cosechada, rendimientos y producción. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comfichedos.html. 14 de noviembre de 2005.
- Argillier O, V Méchin, Y Barrière (2000)** Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. *Crop Sci.* 40: 1596-1600.
- Bal M A, Shaver R D, H Al-Jobeile, J G Coors, J G Lauer (2000)** Corn silage hybrids effect on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci* 83: 2849-2858.
- Calderón E A, M R Tadeo (2005)** Selección de variedad de maíz ante la incidencia de carbón de la espiga, en zona de transición y valles altos. Porque sembrar maíz. In: Tonalli centli tiempo del maíz (Ed). Sinergia rural S.A. de C.V. México D. F. pp: 24-25.
- Chávez Araujo J L (1995)** Mejoramiento de Plantas 1. Segunda Edición. Ed. Trillas. México. 136 pp.
- CIMMYT (1999)** Maize inbred lines released by CIMMYT. A compilation of 424 CIMMYT maize lines (CML) CML1 – CML424. First draft.
- Comstock R E, H F Robinson (1948)** The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4:254-266.

De la Cruz E, S Rodríguez, M Estrada, J Mendoza, N Brito (2005) Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras, 21(41): 19-26.

De la Rosa A, H de León, G Martínez, F Rincón (2000) Heterosis, habilidad combinatoria y diversidad genética en híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). Agronomía Mesoamericana 11 (1): 113-122.

Espinoza B A, R E Gutiérrez, G A Palomo, J L García (2003) Efectos genéticos en cruza entre híbridos comerciales de maíz forrajero.

García B A E (2004) ¿Porque sembrar maíz?. In: Tonalli centli tiempo del maíz (Ed). Sinergia rural S.A. de C.V. México D. F. pp: 10-18.

Gutiérrez R E, G A palomo, B A Espinoza, E Lázaro (2002) Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de línea de maíz en la Comarca Lagunera. Revista Fitotecnia Mexicana. 25:271-277.

Hallauer R A, F O Miranda (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. The Iowa State University Press Ames, Iowa, 50010. First Edition 468 p.

Kang S M, D A Kushairi, Y Zhang, R Magari (1999) Combining ability for rind puncture resistance in maize. Crop Sci. 39: 368-371.

Lauer J G, J G Coors, P J Flannery (2001) Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. Crop Sci. 41: 1449-1455.

Moreno G J, I Martínez, I Brichette, A López, P Castro (2000) Breeding potencial of European flint and U.S. Corn belt dent maize populations for forage use. Crop Sci. 40: 1588-1595.

Moreno P E, C D B Lewis, T Cervantes, J L Torres (2002) Aptitud combinatoria de líneas de maíz de Valles Altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno. Revista Fitotecnia Mexicana. 25: 253-259.

Muñoz O A (2004) Porque sembrar maíz. In: Tonalli centli tiempo del maíz (Ed). Sinergia rural S.A. de C.V. México D. F. pp: 8-9.

Peña R A, G H Núñez, F C González (2003) Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Téc. Pecu. Méx.* 41(1):63-74.

Reta S D G, M A Gaytán, A J Carrillo (2002) Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 23: 37-48.

SAS b, (1988) Guía de Introducción para Computadoras Personales. Instituto SAS Inc. Publicación de la Edición 6.03. Cary NC.

Soengas P, B Ordás, R A Malvar, P Revilla, A Ordás (2003) Heterotic patterns among flint maize populations. *Crop Sci.* 43:844-849.

Tron C E (2004) La problemática de la cadena maíz tortilla. In: Tonalli centli tiempo del maíz (Ed). Sinergia rural S.A. de C.V. México D. F. pp: 43-44.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Aguilar V A, H L A García, G A Luévano (2000)** El impacto social y económico de la ganadería lechera en la Región Lagunera. Séptima edición. Grupo Industrial LALA, Torreón, Coah. p. 207.
- Amador R A L, F C Boschini (2000)** Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 171-177.
- Anónimo (2005)** Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. Fichas por Estado. SAGARPA. Avances reportados de siembras y cosechas, superficie sembrada y cosechada, rendimientos y producción. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comfichedos.html. 14 de noviembre de 2005.
- Argillier O, V Méchin, Y Barrière (2000)** Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. *Crop Sci.* 40: 1596-1600.
- Bal M A, Shaver R D, H Al-Jobeile, J G Coors, J G Lauer (2000)** Corn silage hybrids effect on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci* 83: 2849-2858.
- Calderón E A, M R Tadeo (2005)** Selección de variedad de maíz ante la incidencia de carbón de la espiga, en zona de transición y valles altos. Porque sembrar maíz. In: Tonalli centli tiempo del maíz (Ed). Sinergia rural S.A. de C.V. México D. F. pp: 24-25.
- Chávez Araujo J L (1995)** Mejoramiento de Plantas 1. Segunda Edición. Ed. Trillas. México. 136 pp.
- CIMMYT (1999)** Maize inbred lines released by CIMMYT. A compilation of 424 CIMMYT maize lines (CML) CML1 – CML424. First draft.
- Comstock R E, H F Robinson (1948)** The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4:254-266.
- De la Cruz E, S Rodríguez, M Estrada, J Mendoza, N Brito (2005)** Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras, 21(41): 19-26.
- De la Rosa A, H de León, G Martínez, F Rincón (2000)** Heterosis, habilidad combinatoria y diversidad genética en híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana* 11 (1): 113-122.
- Espinoza B A, R E Gutiérrez, G A Palomo, J L García (2003)** Efectos genéticos en cruas entre híbridos comerciales de maíz forrajero.
- García B A E (2004)** ¿Porque sembrar maíz?. In: Tonalli centli tiempo del maíz (Ed). Sinergia rural S.A. de C.V. México D. F. pp: 10-18.

- Gutiérrez R E, G A palomo, B A Espinoza, E Lázaro (2002) Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de línea de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25:271-277.
- Hallauer R A, F O Miranda (1988) *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. The Iowa State University Press Ames, Iowa, 50010. First Edition 468 p.
- Kang S M, D A Kushairi, Y Zhang, R Magari (1999) Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Sci*. 39: 368-371.
- Lauer J G, J G Coors, P J Flannery (2001) Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. *Crop Sci*. 41: 1449-1455.
- Moreno G J, I Martínez, I Brichette, A López, P Castro (2000) Breeding potencial of European flint and U.S. Corn belt dent maize populations for forage use. *Crop Sci*. 40: 1588-1595.
- Moreno P E, C D B Lewis, T Cervantes, J L Torres (2002) Aptitud combinatoria de líneas de maíz de Valles Altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25: 253-259.
- Muñoz O A (2004) Porque sembrar maíz. In: Tonalli centli tiempo del maíz (Ed). Sinergia rural S.A. de C.V. México D. F. pp: 8-9.
- Peña R A, G H Núñez, F C González (2003) Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Téc. Pecu. Méx*. 41(1):63-74.
- Reta S D G, M A Gaytán, A J Carrillo (2002) Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 23: 37-48.
- SAS b, (1988) *Guía de Introducción para Computadoras Personales*. Instituto SAS Inc. Publicación de la Edición 6.03. Cary NC.
- Soengas P, B Ordás, R A Malvar, P Revilla, A Ordás (2003) Heterotic patterns among flint maize populations. *Crop Sci*. 43:844-849.
- Tron C E (2004) La problemática de la cadena maíz tortilla. In: Tonalli centli tiempo del maíz (Ed). Sinergia rural S.A. de C.V. México D. F. pp: 43-44.
- Allard R W (1980) *Principios de la Mejora Genética de las Plantas*. Editorial EOSA. España. 498 p.
- Calone M R, W A Russell (1987) Response to plant densities and nitrogen levels four maize cultivars from different eras of breeding. *Crop. Sci*. 27: 465-470.

- Chávez Araujo J L (1993)** Mejoramiento de Plantas 1. Trillas: UAAAN. 2ª Edición. México. 136 p.
- Chávez Araujo J L (1994)** Mejoramiento de Plantas 2. Métodos Específicos de Plantas Alógamias. Editorial trillas, S. A. de C.V. 50 p.
- Chávez A J L, E López (1995)** Mejoramiento de Plantas 1. Editorial Trillas, México. 158 p.
- De la Cruz L E, R E Gutiérrez, G A Palomo, H S Rodríguez (2003)** Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. Revista Fitotecnia Mexicana, México. Vol. 26 (4): 279-284.
- Duvick D N (1999)** Heterosis. Feeding people and protecting natural resources. Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. J. G. Coors and S. Pandey ED. 87-93 pp.
- Echarte L, S Luque, F H Andrade, U O Sadras, A Cirilo, M E Otegui, C R C Vega (2000)** Responce of maize kernel Lumber to plant density in Argentina hybrids released between 1965 and 1993. Field Crops Res. 68: 1-8.
- Espinoza A, M A López, N Gómez, E Betanzos, M Sierra, B Coutiño, R Aveldaño, E Preciado, A D Terrón (2003)** Indicadores económicos para la producción y uso de semilla mejorada de maíz de calidad proteínica (QPM) en México. Análisis y comentarios. Agronomía Mesoamericana. México. p 12.
- Evans G C, M J Ottman, L F Welch (1989)** Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration and yiel in corn. Agron. J. 81: 167-174.
- Falconer D S (1985)** Introducción a la Genética Cuantitativa. CECSA. México. 135 p.
- Gutiérrez R E, G A Palomo, B A Espinoza, L E Cruz (2002)** Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en La Comarca Lagunera, México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 25 (3) 271-277.
- Gutiérrez R E, B A Espinoza, G A Palomo, G J J Lozano, G O Antuna (2004)** Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para a Comarca Lagunera. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 27 (Num. Especial 1) 7-11.
- Hallauer A R, B J Miranda (1988)** Quantitative Genetics in Maize Breeding. The Iowa State University Press Ames, Iowa, 50010. First Edition 468 p.

- Hallauer A R (1990) Methods used in developing maize inbreds. *Maydica*. 35: 1-16 p.
- Hernández C J M, E G Esquivel (2004) Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. (Número Esp. 1): 27-31 p.
- HIVOS (2004) Maíz, de alimento sagrado a negocio del hambre. *Acción Ecológica*. Red por una América latina libre de transgénicos. Quito-Ecuador 1: 62-72 p.
- López L M (2003) El cultivo de maíz en México y la contribución del fitomejorador para favorecer la autosuficiencia. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Año VII, vol. 12. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. México. pp. 596-605.
- Márquez S F (1988) *Geotecnia vegetal*. Tomo II. Primera edición. Editorial AGTESA. México. p 563.
- Márquez S F (1991) *Geotecnia vegetal*. Métodos y Teoría. Tomo III. AGT Editor. S. A. México. 7 p.
- Morales R M M, P J Ron, L L Cruz, G J J Sánchez, D J L Ramírez, P S A Hurtado, O J S Espinoza (2002) Evaluación de cruzas entre poblaciones de maíz adaptadas a Jalisco. XIX Congreso Nacional de Fitogenética, Saltillo, Coahuila, México.
- Morata M M, D A Presello, M P González, E Frutos (2006) Aptitud combinatoria para rendimiento entre líneas de maíz derivadas de nuevas fuentes de resistencia al Mal de Río Cuarto. *Revista de la Facultad de Agronomía*. Caracas Venezuela. 106 (1): 69-83.
- Núñez H G, G F E Contreras, C R Faz, S R Herrera (1999) Selección de híbridos para obtener mayor rendimiento y alto valor energético en maíz para ensilaje. INIFAP-CIAN-CAELALA, 52 p.
- Paliwal R L (2001) Consideraciones generales sobre el mejoramiento del maíz en los trópicos. Colección FAO. Producción y protección vegetal. Vol. 28: 1-7 pp.
- Peña R A, H G Núñez, C González (2003) Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Téc. Pecu. México*. 40: 215-228.
- Peña R A, H G Núñez, C González (2003) Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Téc. Pecu. México*. 40: 224 - 227.

- Poehlman J M, S D Allen, (2005) Mejoramiento Genético de las Cosechas. Segunda Edición. Editorial Limusa. México. 512-516 pp.
- Rodríguez M R, C León (2008) El cultivo del maíz. Temas selectos. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa. México. 127 pp.
- Soengas P, B Ordás, R A Alvar, P Revilla, A Ordás (2003) Heterotic patterns among Flint maize populations. Crop Sci. 43: 844-849.
- Sprague G F, L A Tatum (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. J. Am. Soc. Agron. J. 44:258-262.
- Tinoco A C A, M F A Rodríguez, R J A Sandoval, F S Barrón, C A Palafox, E V A Esqueda, M E M Sierra, M M J Romero (2002) Manual de Producción de Maíz para los Estados de Veracruz y Tabasco. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico num. 9. Veracruz, México. 113 p.
- Wong, R R, R E Gutiérrez, G A Palomo, H S Rodríguez, O H Córdova, B A Espinoza G J J Lozano (2007) Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 30: 181-189 pp.

APÉNDICE



REVISTA FITOTECNIA MEXICANA
CARTA DE RECEPCIÓN

22 de Mayo del 2009

DR. CÉSAR GUERRERO GUERRERO
TLACLTECAS No. 268
COL. SANTA MARIA
27020 TORREÓN COAHUILA
TEL. 01 871 729 7676

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la "REVISTA FITOTECNIA MEXICANA" intitulado:

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN HÍBRIDOS SIMPLES DE
LÍNEAS ENDOGÁMICAS PARA MAÍZ DE GRANO

Autores: CÉSAR GUERRERO GUERRERO, EMILIANO GUTIÉRREZ DEL RÍO, ARMANDO ESPINOZA BANDA, ARTURO PALOMO GIL, SERGIO RODRÍGUEZ HERRERA, DIANA JASSO CANTÚ Y J. GUADALUPE LUNA ORTEGA

Para su evaluación, el manuscrito con clave: RFM/09034 será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto como esté disponible.

Para que este Comité pueda iniciar dicho proceso es requisito indispensable que nos regrese la forma anexa, debidamente contestada.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio de domicilio, que envíe la correspondencia por correo registrado o por servicio de paquetería especializada, y que nos proporcione su número telefónico, de preferencia con fax, y su correo electrónico.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Director

Anexo
VAGH/ting*

Dirección Física: Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carr. México-Texcoco, Edif. "Hernández Xolocotzi", Ofna. 319-3er Piso 56230, Chapingo, Edo. de México.
Dirección Postal: Apdo. Postal No. 21, 56230, Chapingo, Edo de México. Tels: 01 (595) 952-1729 y 952-1500 Ext. 5795 y 1729. Fax: 01 (595) 954-6652. Correo electrónico: revfitotecnamex@somexi.org http://www.somexi.org



**REVISTA FITOTECNIA MEXICANA
CARTA DE RECEPCIÓN**

22 de Mayo del 2009

DR. CÉSAR GUERRERO GUERRERO

TLACLTECAS No. 268
COL. SANTA MARIA
27020 TORREÓN COAHUILA
TEL. 01 871 729 7676

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la "REVISTA FITOTECNIA MEXICANA" intitulado:

**COMPORTAMIENTO GENÉTICO Y APTITUD COMBINATORIA EN CRUZAS SIMPLES
CON LÍNEAS ÉLITE DE MAÍZ**

Autores: CÉSAR GUERRERO GUERRERO, ARMANDO ESPINOZA BANDA, ARTURO PALOMO GIL, SERGIO RODRIGUEZ HERRERA, DIANA JASSO CANTÚ EMILIANO GUTIÉRREZ DEL RÍO Y J. GUADALUPE LUNA ORTEGA

Para su evaluación, el manuscrito con clave: **RFM/09035** será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto como esté disponible.

Para que este Comité pueda iniciar dicho proceso es requisito indispensable que nos regrese la forma anexa, debidamente contestada.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio de domicilio, que envíe la correspondencia por correo registrado o por servicio de paquetería especializada, y que nos proporcione su número telefónico, de preferencia con fax, y su correo electrónico.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Director

Anexo
VAGH/llhg*