

ESTIMACIÓN DE COMPONENTES GENÉTICOS EN LÍNEAS ENDOGÁMICAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

ESTIMATION OF GENETIC COMPONENTS IN MAIZE (*Zea mays* L.) ENDOGAMIC LINES

Gilberto **Rodríguez-Pérez**^{1*}, Francisco **Zavala-García**², José E. **Treviño-Ramírez**², Carmen **Ojeda-Zacarias**²,
Mariano **Mendoza-Elos**¹, Francisco **Cervantes-Ortiz**¹, Alfredo J. **Gámez-Vázquez**³,
Enrique **Andrío-Enríquez**¹; José L. **Torres-Flores**⁴

¹Departamento de Ciencias Agropecuarias, Tecnológico Nacional de México-Roque. Km 8 carretera Celaya-Juventino Rosas, Celaya, Guanajuato. (girodriguez@itroque.edu.mx). ²Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Zuazua-Marín km 17.5, Marín, Nuevo León. ³Campo Experimental Bajío, INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km. 6.5. ⁴Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Carretera México-Veracruz Km. 45, El Batán, Texcoco, México.

RESUMEN

La aptitud combinatoria general (ACG) y la específica (ACE) se usan para identificar combinaciones híbridas entre líneas endogámicas con rendimiento mayor o menor que el comportamiento promedio esperado de las líneas progenitoras. El objetivo de este estudio fue evaluar la ACG de ocho líneas y la ACE de las cruzas realizadas y la hipótesis fue que los cruzamientos entre líneas con características contrastantes, producirán híbridos sobresalientes. En otoño de 2011 se formaron las cruzas y en primavera de 2012 se evaluaron en el campo experimental en Marín, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Ocho líneas endogámicas se evaluaron con un diseño experimental de bloques completos al azar y tres repeticiones. El análisis genético se realizó con el diseño II de apareamiento de Carolina del Norte de Comstock y Robinson. Los progenitores, considerados como machos M-16 (4.74 t ha⁻¹), M-11 (4.60 t ha⁻¹) y M-14 (4.21 t ha⁻¹) y las hembras H-8 (4.26 t ha⁻¹), H-2 (4.15 t ha⁻¹) y H-4 (4.13 t ha⁻¹) presentaron los efectos mayores de ACG. Los efectos mayores en ACE se observaron en las cruzas H-8×M-16 (4.99 t ha⁻¹), H-8×M-11 (4.83 t ha⁻¹) y H-2×M16 (4.78 t ha⁻¹). La varianza aditiva para rendimiento de grano fue de 0.03 y superó la varianza de dominancia (-0.34); la heredabilidad en sentido estricto, fue 7.65 % y la varianza de hembras (0.0075) fue superior a la de machos (0.0012).

Palabras clave: *Zea mays*, varianzas, líneas endogámicas, cruzas y heredabilidad.

ABSTRACT

The specific (SCA) and general combinatorial aptitude (GCA) are used to identify hybrid combinations between inbred lines with higher or lower yield than that expected from the average behavior of the parental lines. The objective of this study was to evaluate the GCA of eight lines and the SCA of their inbreeding. We hypothesized that crosses between lines with contrasting characteristics would produce outstanding hybrids. During autumn 2011 the crosses were formed and in spring 2012 evaluated at the Marín experimental field, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. The eight evaluated inbred lines were in a complete blocks experimental design at random with three repetitions. Genetic analysis was performed with the design II North Carolina mating from Comstock and Robinson. The progenitors, considered as males M-16 (4.74 t ha⁻¹), M-11 (4.60 t ha⁻¹) and M-14 (4.21 t ha⁻¹) and females H-8 (4.26 t ha⁻¹), H-2 (4.15 t ha⁻¹) and H-4 (4.13 t ha⁻¹) showed the greatest effects of GCA. Major effects on SCA were observed in the H-8×M-16 (4.99 t ha⁻¹), H-8×M-11 (4.83 t ha⁻¹) and H-2×M16 (4.78 t ha⁻¹) crosses. The additive variance for grain yield was 0.03 and exceeded the dominance variance (-0.34); heritability in the strict sense was 7.65 % and female variance (0.0075) was higher than that of males (0.0012).

Key words: *Zea mays*, variances, inbred lines, crosses and heritability.

INTRODUCTION

Genetic improvement programs dedicated to hybrids and commercial varieties formation of maize require generating lines with

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: diciembre, 2017. Aprobado: mayo, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 245-258. 2019.

INTRODUCCIÓN

Los programas de mejoramiento genético dedicados a la formación de híbridos y variedades comerciales de maíz requieren generar líneas con potencial de rendimiento alto, comportamiento agronómico bueno y aptitud combinatoria excelente. Las líneas que reúnen estas características presentan resultados satisfactorios en combinaciones híbridas (Fan *et al.*, 2008). Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) permiten expresar el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas y designar las combinaciones híbridas que resultan superiores, o no, a las esperadas en relación al promedio de la ACG de las dos líneas progenitoras. Estas se usan con frecuencia para estimar efectos y varianzas de ACG y ACE (Sprague y Tatum, 1942).

Un propósito importante del mejoramiento genético de maíz por hibridación es generar cruces que superen en rendimiento de grano a las variedades criollas y mejoradas. Si en una población los efectos de aptitud combinatoria general son más importantes que los efectos específicos, es recomendable mejorar a la población por selección recurrente; por el contrario, si los efectos de aptitud combinatoria específica son los más importantes, la población deberá mejorarse por hibridación (Reyes *et al.*, 2004). El conocimiento de la acción génica que controla los caracteres de interés económico es básico para la planeación de un programa de mejoramiento genético mediante la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador obtiene mayores logros en su programa de mejoramiento, porque permite seleccionar progenitores con un comportamiento promedio aceptable en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de los progenitores (Gillen *et al.*, 2009; De la Cruz *et al.*, 2005).

Gran parte de la diversidad genética del maíz nativo de México se encuentra en los campos agrícolas como variedades criollas, ya que sólo en 23 % de la superficie sembrada con maíz se usa semilla mejorada (Polanco, 2008). Además, los agricultores han identificado características favorables a sus necesidades y preferencias combinando materiales genéticos de manera creativa para generar mayor variación (Louette y Smale, 1996). El objetivo de este estudio fue identificar una alternativa que mejore el comportamiento de los híbridos, derivados del cruzamiento entre líneas endogámicas

high yield potential, good agronomic behavior, and excellent combinatorial aptitude. The lines that combine these characteristics exhibit satisfactory results in hybrid combinations (Fan *et al.*, 2008). The general combinatorial aptitude (GCA) and specific combinatorial aptitude (SCA) concepts allow expressing the average behavior of a line in its hybrid combinations and designating the hybrid combinations that are superior, or not, to those expected regard the average GCA of the parental lines. These are often used to estimate the effects and variances of GCA and SCA (Sprague and Tatum, 1942).

Generating crosses that exceed the grain yield per landrace and improving varieties is an important purpose of genetic improvement of corn by hybridization. If the effects of general combinatorial aptitude in a population are more important than the specific effects, it is advisable to improve the population *via* recurrent selection; on the contrary, if the specific combinatorial aptitude effects are the most important the population should improve by hybridization (Reyes *et al.*, 2004). The knowledge of gene action that controls characters of economic interest is basic for planning a genetic improvement program through combinatorial aptitudes of parental lines, thus breeders obtain greater achievements in its improvement programs, because it allows to select parental lines with acceptable average behavior in a series of crosses and identify specific combinations with a higher than expected behavior, based on the parental average (Gillen *et al.*, 2009; De la Cruz *et al.*, 2005).

Much of the genetic Mexican native maize diversity is found in agricultural fields as landraces, given that only 23 % of the maize sown areas are improved seeds (Polanco, 2008). In addition, farmers have identified characteristics favorable to their needs and preferences by creatively combining genetic materials to generate greater variation (Louette and Smale, 1996). The objective in this study was to identify an alternative that improves hybrids behavior derived from crossing between inbred lines of the “Pinto Amarillo” and “Liebre” groups collected in north-central areas of Nuevo Leon state, Mexico. Our hypothesis was that crosses between parents with contrasting characteristics from the “Pinto Amarillo” and “Liebre” populations will produce hybrids with high heterosis levels.

de los grupos Pinto Amarillo y Liebre recolectadas en el centro-norte de Nuevo León, México. La hipótesis fue que los cruzamientos entre progenitores con características contrastantes provenientes de las poblaciones Pinto Amarillo y Liebre producirán híbridos con altos niveles de heterosis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicado en el km 17.5 de la carretera Zuazua-Marín en el municipio de Marín, Nuevo León, México (25° 53' N, 100° 03' O, altitud de 375 m, temperatura promedio anual de 22 °C y precipitación anual promedio de 573 mm) (INEGI, 2013). En los ciclos de primavera 2010, otoño 2010 y primavera 2011 se derivaron líneas obteniendo las generaciones S₁, S₂ y S₃, respectivamente; en otoño 2011 se realizaron los cruzamientos y en primavera 2012 se evaluaron las cruzas.

Dieciséis líneas endogámicas se utilizaron (Cuadro 1). Las líneas identificadas con la letra H se usaron como hembra y con la letra M como machos, lo cual generó 64 cruzas.

Las líneas de Pinto Amarillo son de grano amarillo semidentado y presentan buenos rendimientos, las líneas de Liebre tienen características de precocidad y son de grano blanco semicristalino tolerantes a sequía. Las 16 líneas se seleccionaron con base en resultados de un análisis multivariado. (Rodríguez *et al.*, 2012). En otoño de 2011 se realizaron los cruzamientos entre las 16 líneas y se sembraron seis surcos de cada línea. En primavera de 2012

MATERIALS AND METHODS

This study was conducted at the experimental field of the Facultad de Agronomía, of the Universidad Autónoma de Nuevo León, located at km 17.5 Zuazua-Marín highway, Marín municipality, Nuevo León, Mexico (25° 53' N, 100° 03' W, 375 m altitude, mean annual temperature of 22 °C and mean annual rainfall of 573 mm) (INEGI, 2013). During spring 2010, autumn 2010 and spring 2011 cycles genetic lines were derived, obtaining generations S₁, S₂ and S₃, respectively; crosses were made during autumn 2011 and evaluated in spring 2012.

Sixteen inbred lines were used (Table 1). The lines identified with the letter H were used as female and males with the letter M, which generated 64 crosses.

The Pinto Amarillo lines are of semi-ripe yellow grains and report good yields, Liebre lines have precocity characteristics and are of semicrystalline white color grains and drought tolerant. The 16 selected lines were based on multivariate analysis results (Rodríguez *et al.*, 2012). The crosses between the 16 lines were made during fall 2011, from which six rows of each line were planted. In spring 2012 the 64 crosses were evaluated in a randomized complete block design with three replications. The experimental plot had a 5 m long and 0.80 m wide furrow, with seven plants per meter, to obtain a 87 500 plants ha⁻¹ density. The studied variables were: plant height (PH), cob height (CH), days to feminine flowering (FF), cob length (CL), cob diameter (CD), de-grained cob diameter (DCD), number of rows per cob (RC), number of grains per row (GR) and grain yield (GY). All plants in the plot were harvested and their grains weighed in kg

Cuadro 1. Origen y descripción de las líneas de maíz con el nivel de endogamia S₃ participantes como progenitores en la formación de las cruzas.

Table 1. Origin and description of maize lines with S₃ inbreeding level participating as parents in the formation of crosses.

Línea	Origen	Formación y características de la línea
H-1	Los Ramones	Población 24 de Pinto Amarillo. precoz tolerante a sequía
H-2	Mina	Población 13 de Pinto Amarillo. intermedio de amplia adaptabilidad
H-3	Paras	Población 71 de Pinto Amarillo. precoz tolerante a sequía
H-4	Pesquería	Población 11 de Pinto Amarillo. intermedio de amplia adaptabilidad
H-5	China	Población 50 de Pinto Amarillo. precoz tolerante a sequía
H-6	García	Población 46 de Pinto Amarillo. intermedia de amplia adaptabilidad
H-7	Bustamante	Población 16 de Pinto Amarillo. precoz tolerante a sequía
H-8	Vallecillo	Población 15 de Pinto Amarillo. intermedio de amplia adaptabilidad
M-9	Pesquería	Población 10 de Liebre. intermedio de amplia adaptabilidad
M-10	Los Ramones	Población 19 de Liebre. precoz tolerante a sequía
M-11	Pesquería	Población 23 de Liebre. intermedio de amplia adaptabilidad
M-12	Pesquería	Población 35 de Liebre. precoz tolerante a sequía
M-13	Los Ramones	Población 37 de Liebre. precoz tolerante a sequía
M-14	Cadereyta	Población 60 de Liebre. intermedio de amplia adaptabilidad
M-15	Cadereyta	Población 61 de Liebre. precoz tolerante a sequía
M-16	Cadereyta	Población 63 de Liebre. intermedio de amplia adaptabilidad

las 64 cruzas se evaluaron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, la parcela experimental tenía un surco de 5 m de largo y 0.80 m de ancho, con siete plantas por metro para obtener una densidad de 87 500 plantas ha⁻¹. Las variables estudiadas fueron: altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), días a floración femenina (FF), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), diámetro de olote (DO), número de hileras por mazorca (HM), número de granos por hilera (GH) y rendimiento de grano (RG). Todas las plantas de la parcela se cosecharon y se pesó el grano en kg y se transformó en t ha⁻¹, ajustándose al 13 % de humedad. El análisis genético se hizo con el diseño II de apareamiento de Carolina del Norte de Comstock y Robinson (1948), cuyo modelo lineal fue el siguiente:

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

donde $i=1, 2, \dots, m$ (machos); $j=1, 2, \dots, h$ (hembras); $k=1, 2, \dots, r$ (rep); Y_{ijk} =observación de la craza entre el i -ésimo macho y la j -ésima hembra en la k -ésima repetición; μ =media general; M_i y H_j =efecto del i -ésimo macho y j -ésima hembra; Φ_{ij} =efecto de la interacción del i -ésimo macho con la j -ésima hembra; ε_{ijk} =error experimental.

La estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para los machos y hembras, y de aptitud combinatoria específica (ACE) para las cruzas, se hizo según la propuesta de Sprague y Tatum (1942):

$$g_i = \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...} \quad g_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{...} \quad S_{ij} = Y_{ij} - g_i - g_j - \bar{Y}_{..}$$

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 y 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 craza i^*j y $\bar{Y}_{..}$ es la media de las i^*j cruzas.

La diferencia estadística entre las ACG de los progenitores machos y hembras y de las ACE de las cruzas, se determinó mediante la prueba de t o diferencia mínima significativa, DMS al 95 % de confiabilidad, $\alpha = EE \times t(\alpha 2-1, gl ee)$, donde EE =error estándar en la comparación de medias; $EE = \sqrt{2CME(RM) - 1}$; R =repeticiones; M =machos; H =hembras; gl =grados de libertad; y ee =error experimental.

Los componentes genéticos se estimaron de acuerdo con los valores de las esperanzas de los cuadrados medios del análisis de varianza; varianza de machos ($\delta^2M = M4 - m2/rH$), varianza de hembras ($\delta^2H = M3 - M2/rM$), varianza machos \times hembras ($\delta^2MH = M2 - M1/r$), varianza fenotípica ($\delta^2F = \delta^2M + \delta^2H + \delta^2MH + \delta^2e$), varianza aditiva ($\delta^2A = 4 \delta^2M$), varianza de domi-

and transformed into t ha⁻¹, adjusted at 13 % humidity. The genetic analysis was done with the North Carolina mating design II of Comstock and Robinson (1948), whose linear model was as follows:

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

where $i=1, 2, \dots, m$ (males); $j=1, 2, \dots, h$ (females); $k=1, 2, \dots, r$ (rep); Y_{ijk} =observation of the cross between the i -th male and the j -th female in the k -th repetition; μ =general average; M_i and H_j =effect of the i -th male and j -th female; Φ_{ij} =effect of the interaction of the i -th male with the j -th female; ε_{ijk} =experimental error.

The estimation of the effects of general combinatorial aptitude (GCA) for males and females, and of specific combinatorial aptitude (CEA) for crosses, was made according to the proposal of Sprague and Tatum (1942):

$$g_i = \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...} \quad g_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{...} \quad S_{ij} = Y_{ij} - g_i - g_j - \bar{Y}_{..}$$

where g_i , g_j and S_{ij} are the effects of GCA and CEA, respectively, for the i -males, the j -females and their i and j crosses; $\bar{Y}_{i..}$ and $\bar{Y}_{.j}$ they are the average of the males and the females; Y_{ij} is the value of the cross i^*j and $\bar{Y}_{..}$ is the average of the i^*j crosses.

The statistical difference between the GCA of the male and female parents and of the CEA of the crosses was determined by the test of minimum significant difference, DMS at 95 % confidence level, $\alpha = EE \times t(\alpha 2-1, gl ee)$, where EE =standard error in the comparison of means; $EE = \sqrt{2CME(RM) - 1}$; R =repeats; M =males; H =females; gl =degrees of freedom; and ee =experimental error.

The genetic components were estimated according to the values of the expectations of the mean squares of the analysis of variance; male variance ($\delta^2M = M4 - m2/rH$), variance of females ($\delta^2H = M3 - M2/rM$), male variance \times females ($\delta^2MH = M2 - M1/r$), phenotypic variance ($\delta^2F = \delta^2M + \delta^2H + \delta^2MH + \delta^2e$), additive variance ($\delta^2A = 4 \delta^2M$), dominance variance ($\delta^2D = 4[\delta^2H - \delta^2M]$) and narrow-sense heritability ($h^2 = \delta^2A/\delta^2F$).

RESULTS AND DISCUSSION

For males (M) in CH, FF and GR (Table 2) there are highly significant differences and significance in GY, PH, CL, CD and RC. The M \times H interaction was significant for the GY, PH, CH and CD, except for the DO and FF, CL, RC and GR. These differences

nancia ($\delta^2D=4[\delta^2H-\delta^2M]$) y heredabilidad en sentido estrecho ($h^2=\delta^2A/\delta^2F$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para machos (M) en AM, FF y GH (Cuadro 2) hay diferencias altamente significativas y significancia en RG, AP, LM, DM y HM. La interacción M×H fue significativa para las RG, AP, AM y DM, excepto para el diámetro de olote, y para FF, LM, HM y GH. Estas diferencias se deben al origen contrastante del material genético estudiado, lo cual confirma los resultados obtenidos por Borghi *et al.* (2012), De la Cruz *et al.* (2005) y De la Rosa *et al.* (2006), quienes identificaron híbridos de maíz de alto rendimiento como resultado de la variabilidad genética alta entre las poblaciones de las que se derivaron las líneas, y por la diversidad genética entre las líneas probadoras.

El coeficiente de variación, usado como una medida de precisión en la conducción de los experimentos (Kang *et al.*, 1999), para rendimiento de grano fue 16.91 %, considerado como aceptable. Los coeficientes en los componentes del rendimiento fluctuaron entre 5.02 y 13.26 %, debido a que son caracteres de menor variación.

Comportamiento de los componentes de rendimiento

Las medias de rendimiento de grano y sus componentes en las líneas se muestran en el Cuadro 3. Las hembras H8 y H2 tuvieron el mayor rendimiento de grano con 4.26 y 4.15 t ha⁻¹, respectivamente, pero

are due the contrasting origin of the studied genetic material, which confirms results reported by Borghi *et al.*, 2012; De la Cruz *et al.*, 2005 and De la Rosa *et al.*, 2006, who identified high yield maize hybrids as a result of high genetic variability among populations from which lines were derived, and by genetic diversity among testing lines.

The coefficient of variation, used as a precision measure in experiments conduction (Kang *et al.*, 1999), for grain yield was 16.91 %, which is considered acceptable. The coefficients in the yield components fluctuated between 5.02 and 13.26 %, because they are characters with less variation.

Behavior of performance components

Table 3 shows the grain yield means and their components in the lines. The H8 and H2 females had the highest grain yield with 4.26 and 4.15 t ha⁻¹; but they were similar to the females H4, H5, H6 and H7; among the males, M16 (4.74 t ha⁻¹), M11 (4.60 t ha⁻¹) and M14 (4.21 t ha⁻¹) stood out (Table 3). It is probable that the combination with the females influenced the behavior of the crosses, since the similarity in the performance of the male lines is due to the fact that they are intermediate cycle, which is reflected in their yields. GY, FF, RC and GR were the components that contributed the most in the superiority shown by H8; and FF, CL, CD, CH and GR were for M16. These characters affected yield differently: for AH the females with the lowest size were H1 (1.92 m) and H7 (1.93 m). The highest ones were H6, H8 and H4 with 2.15,

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza y nivel de significancia estadística del análisis del diseño II de Carolina del Norte. Marín, Nuevo León, 2012.

Table 2. Mean squares of the analysis of variance and statistical significance level of the North Carolina Design II analysis. Marín, Nuevo León, 2012.

FV	GL	RG	AP	AM	FF	LM	DM	DO	HM	GH
Repeticiones	2	1.40*	0.07*	0.023*	1.45**	1.18*	0.05ns	0.06ns	0.16*	12.69**
Machos	7	0.24*	0.15*	0.47**	2741.07**	12.82*	0.11*	0.21ns	0.27*	81.41**
Hembras	7	0.39*	0.12*	0.16*	125.23**	4.40*	0.10*	0.07*	1.40*	14.04**
M×H	49	0.21*	0.13*	0.12*	50.74**	3.48**	0.13*	0.04ns	1.39**	17.89**
Error	126	0.47	0.13	0.11	12.07	2.55	0.19	0.06	1.93	18.33
Total	192	0.40	0.13	0.13	125.39	3.20	0.16	0.07	1.69	20.21
CV (%)		16.91	9.88	7.76	5.02	11.55	10.45	10.93	10.69	13.26

RG: rendimiento de grano, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, FF: floración femenina, LM: longitud de mazorca, DM: diámetro de mazorca, DO: diámetro de olote, HM: hileras por mazorca, GH: granos por hilera. ♦ RG: grain yield, AP: plant height, AM: cob height, FF: female flowering, LM: cob length, DM: cob diameter, DO: cob diameter, HM: rows per cob, GH: grains per row.

Cuadro 3. Promedios de rendimiento y sus componentes agronómicos de las líneas macho y hembra. Marín, Nuevo León, 2012.
Table 3. Averages of yield and their agronomic components of the male and female lines. Marín, Nuevo León, 2012.

Progenitor	RG (t ha ⁻¹)	AP (m)	AM (m)	FF (días)	LM (cm)	DM (cm)	DO (cm)	HM	GH
H-1	3.81	1.92	1.40	61.20	13.16	4.20	2.33	13.00	32.75
H-2	4.15	2.00	1.49	79.83	15.77*	4.72*	2.43	13.12	31.38
H-3	3.69	1.94	1.41	63.79	13.40	4.28	2.41	12.54	32.42
H-4	4.13	2.01	1.55	77.30	15.79*	4.07	2.44	13.14	32.25
H-5	4.04	1.99	1.61*	64.83	13.75	4.27	2.48*	13.16*	32.84
H-6	4.13	2.15*	1.76*	76.50	14.04	4.17	2.36	12.84	31.17
H-7	4.03	1.93	1.47	64.62	14.14	4.21	2.44	13.14	31.96
H-8	4.26*	2.13*	1.54	83.08*	14.56	4.24	2.36	13.33*	33.46*
M-9	3.99	1.95	1.30	68.66	14.27	4.31	2.57*	13.16	32.75
M-10	4.07	1.91	1.35	59.41	14.17	4.14	2.33	12.91	29.54
M-11	4.60*	1.93	1.32	81.37	13.45	4.26*	2.39	14.07*	34.29*
M-12	4.10	1.98	1.46	65.67	15.45*	4.17	2.49	13.08	33.04
M-13	3.91	2.01	1.59*	59.29	12.84	4.19	2.34	13.10	33.08
M-14	4.21	2.17*	1.72**	81.70*	15.52*	4.13	2.34	13.40	29.33
M-15	3.96	1.99	1.54*	60.33	14.33	4.18	2.53*	12.92	32.45
M-16	4.74*	2.02	1.56*	81.40*	14.23	4.29*	2.35	14.87*	33.70*
DMS (0.05)	0.611	0.321	0.307	3.09	14.22	0.392	0.234	1.239	3.810

RG: rendimiento de grano, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, FF: floración femenina, LM: longitud de mazorca, DM: diámetro de mazorca, DO: diámetro de olote, HM: hileras por mazorca, GH: granos por hilera. * RG: grain yield, AP: plant height, AM: cob height, FF: female flowering, LM: cob length, DM: cob diameter, DO: cob diameter, HM: rows per cob, GH: grains per row.

fueron similares a las hembras H4, H5, H6 y H7; en los machos sobresalieron M16 (4.74 t ha⁻¹), M11 (4.60 t ha⁻¹) y M14 (4.21 t ha⁻¹) (Cuadro 3). Es probable que la combinación con las hembras influyera en el comportamiento de las cruas, ya que la similitud en el rendimiento de las líneas macho se debe a que son de ciclo intermedio, lo cual se refleja en sus rendimientos. RG, FF, HM y GH fueron los componentes que más contribuyeron en la superioridad mostrada por H8; y FF, LM, DM, AM y GH lo fueron para M16. Estos caracteres incidieron en el rendimiento de manera diferente: para AP las hembras con porte más bajo fueron H1 (1.92 m) y H7 (1.93 m). Las de mayor altura fueron H6, H8 y H4 con 2.15, 2.13 y 2.01 m, respectivamente; los machos con mayor porte fueron M14, M16 y M13.

Hay diferencia en AM y sobresalen las hembras H6 (1.76 m), H5 (1.61 m) y H4 (1.5 m); mientras que los machos mostraron menor variación. Las hembras H1, H3 y H7 con 61.20, 63.79 y 64.2 d a floración femenina, respectivamente, fueron las más precoces, mientras que los más tardíos fueron H8 (83.08 d), H2 (79.83 d) y H4 (77.30 d), también sobresalieron con mayor RG. Entre las hembras las de mayor LM fueron H4, H2 y H8 con 15.79; 15.77 y 14.56 cm,

2.13 and 2.01 m; the males with the largest size were M14, M16 and M13.

There was a difference in CH and the H6 females (1.76 m), H5 (1.61 m) and H4 (1.5 m) stand out; in contrast, males showed less variation. The females H1, H3 and H7 with 61.20, 63.79 and 64.2 d to female flowering, each, were the earliest, and the latest were H8 (83.08 d), H2 (79.83 d) and H4 (77.30 d), also stood out with higher GY. Among females, the highest CL were H4, H2 and H8 with 15.79, 15.77 and 14.56 cm; the males that stood out were M14, M12 and M9 with 15.52, 15.45 and 14.27 cm. This was to be assumed since the females and males are intermediate cycle and also had the highest yields. The females with the highest CD value were H2 (4.72 cm), H3 (4.28 cm) and H5 (4.27). The males with the highest CD were M9 (4.1 cm), M16 (4.29 cm) and M11 (4.26 cm). The females that excelled with greater RC and GR were H8, H5 and H4; the males that stood out were M11 and M16; this allowed a greater number of RC and GR, and, if combined with high CL the result would be a greater number of grains per cob and per unit area. Wong *et al.* (2007) also related these components, which allows high expression with high yield. Therefore, good behavior is to be expected when

los machos que sobresalieron fueron M14, M12 y M9 con 15.52, 15.45 y 14.27 cm, respectivamente. Esto era de suponerse ya que las hembras y machos son de ciclo intermedio y también presentaron los mayores rendimientos. En DM las hembras con mayor valor fueron H2 (4.72 cm), H3 (4.28 cm) y H5 (4.27), y los machos fueron M9 (4.1cm), M16 (4.29 cm) y M11 (4.26 cm). Las hembras que sobresalieron con mayor HM y GH fueron H8 H5 y H4; los machos que más sobresalieron fueron M11 y M16; esto permitió un mayor número de HM y GH y si se combinara con un alta LM el resultado sería un mayor número de granos por mazorca y por unidad de superficie. Wong *et al.* (2007) también relacionaron estos componentes lo que permite una alta expresión con un mayor rendimiento. Por tanto, se esperaría un buen comportamiento al combinar estos progenitores en la formación de híbridos (Soengas *et al.*, 2003).

El Cuadro 4 muestra los promedios de rendimiento de grano y las ocho características de las 20 mejores cruza. El rango en RG de las cruza más sobresalientes fue de 3.91 a 4.99 t ha⁻¹, y las cruza incluidas forman el grupo estadísticamente superior: 8×16, 8×11, 2×16, 2×14, 4×11 y 4×16; sobresale la cruza 4×16 con valores aceptables para AP y AM (2.15 y 1.70 m, respectivamente). Las cruza más tardías fueron 8×11, 8×14 y 8×16 con 87.80, 86.33 y 85.70 d a floración femenina, respectivamente, lo cual se reflejó también en mayores rendimientos por sus características de ciclo más tardío. La amplitud de estos rangos demuestra la variación entre las líneas, y algunos componentes del rendimiento influyeron en los resultados más que otros.

La cruza 8×16 sobresalió en LM y DM, debido a la aportación de H8 y M16 y entre ambas contribuyeron a la expresión del alto rendimiento; en cambio, esta misma cruza presentó menor DO lo que pudo influir en la mayor cantidad y peso de grano. Sin embargo, estos resultados se reflejan en la intervención de M16 que contribuyó en la expresión de un mayor número de HM y GH.

Estos resultados muestran que las cruza que presentaron mayores rendimientos también fueron las más tardías y por consecuencia obtuvieron mayor LM, HM y GH por ser características de sus progenitores de ciclo intermedio. Wong *et al.* (2007) reportaron que el peso del grano y las características asociadas con la mayor cantidad de granos definen el rendimiento en cereales.

combining these parents in the hybrids formation (Soengas *et al.*, 2003).

Table 4 exhibits the grain yield means and the eight characteristics of the 20 best crosses. The GY range from the most outstanding crosses were from 3.91 to 4.99 t ha⁻¹, and the included crosses constitute the statistically superior group: 8×16, 8×11, 2×16, 2×14, 4×11 and 4×16; the 4×16 cross stands out with acceptable PH and CH values (2.15 and 1.70 m, respectively) The most delayed crosses were 8×11, 8×14 and 8×16 with 87.80, 86.33 and 85.70 d to female flowering, respectively, which also reflects higher yields due to their delayed cycle characteristics. The breadth of these ranges demonstrates the variation between lines. Some performance components influenced the results more than others.

The 8×16 crosses excelled in CL and CD, due to H8 and M16 contribution. Both contributed to their high yield expression; on other hand, this same cross presented lower DCD which could influence on greater quantity and grain weight. However, these results are reflected on the M16 contribution to the expression of a greater number of RC and GR.

These results show that crosses with higher yield were also the later ones, and consequently obtained higher CL, RC and RG because of the intermediate cycle characteristic of their progenitors. Wong *et al.* (2007) reported that the grain weight and the characteristics associated with high grain quantity define yield in cereals.

When combining by recombination and selection some contrasting lines, it could result in defined heterotic patterns because, according to Dzib *et al.* (2011) highly productive hybrids were because of heterosis and hereditary factors, such as multiple interaction of additive type genes. This shows the convenience of knowing the relative importance of each genetic component in hybrids production. H2 and H8 lines intervened on the outstanding crosses, followed by H4 and H6. M16 line appeared more times in the superior crosses, therefore H8 and M16 lines would be adequate to separate the rest of the lines in two heterotic groups (Malacarne and San Vicente, 2003).

Combinatorial aptitude of the components

The highest effects for general combinatorial aptitudes for GY were found in H2, H8 and H4

Cuadro 4. Promedios de las 20 cruzas con mayor rendimiento y sus componentes agronómicos, generadas por el diseño II de Carolina del Norte. Marín, Nuevo León, 2012.**Table 4. Means from the 20 crosses with highest yield and their agronomic components, generated via North Carolina design II. Marín, Nuevo León, 2012.**

Cruza	RG (t ha ⁻¹)	AP (m)	AM (m)	FF (días)	LM (cm)	DM (cm)	DO (cm)	HM	GH
8×16	4.99**	1.94	1.35	85.70*	16.96**	14.67**	2.14	16.67**	37.33**
8×11	4.83**	1.85	1.32	87.80**	15.96**	13.33*	2.21	15.67*	36.67**
2×16	4.78*	2.05*	1.33	83.67	14.91**	12.67	2.18	15.33*	31.67
2×14	4.76*	1.71	1.37	83.33	13.14	12.67	2.31	14.00*	31.00
4×11	4.70*	1.94	1.43*	83.77	13.53	13.33*	2.45	13.33*	32.67
4×16	4.56	2.15**	1.70**	78.30	14.40*	13.00	2.48	12.67	35.33*
1×9	4.37	2.07	1.42	79.33	13.07	12.67	2.23	12.00	30.33
4×15	4.35	1.83	1.38	66.33	12.14	14.33**	2.44	13.33*	32.00
6×10	4.32	1.94	1.43	72.00	13.07	13.33*	2.57	11.25	31.00
6×14	4.29	2.07*	1.37	65.33	13.84	11.20	2.53	12.10	31.67
2×13	4.26	1.84	1.45*	81.00	11.13	13.33*	2.22	13.27	34.00*
7×9	4.22	2.03	1.30	77.67	14.73*	12.67	2.49	12.67	31.00
8×14	4.20	1.88	1.37	86.33**	14.85*	13.33*	2.36	11.20	31.67
7×15	4.18	2.01	1.56*	81.67	11.06	12.67	2.27	13.80*	33.33
6×13	4.14	2.05*	1.37	61.00	13.14	12.15	2.23	12.30	35.33*
8×10	4.06	2.07*	1.43*	82.00	14.02	11.25	2.64*	13.10	33.33
5×13	4.05	2.03	1.25	82.68	13.07	13.33*	2.48	13.00	34.00*
2×11	4.01	1.97	1.32	61.00	14.38*	13.33*	2.33	12.67	32.67
3×14	4.00	1.71	1.30	80.33	12.14	13.25	2.29*	12.30	31.67
3×11	3.91	1.97	1.43*	66.33	13.53	12.30	2.40	11.50	30.33
Media	4.09	1.99	1.44	73.79	13.77	4.22	2.41	13.02	32.27
DMS (0.05)	0.711	0.289	0.264	0.271	1.385	0.296	0.223	1.167	3.165

RG: rendimiento de grano; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca; FF: floración femenina; LM: longitud de mazorca; DM: diámetro de mazorca; DO: diámetro de olote; HM: hileras por mazorca; GH: granos por hilera. ❖ RG: grain yield, AP: plant height, AM: cob height, FF: female flowering, LM: cob length, DM: cob diameter, DO: cob diameter, HM: rows per cob, GH: grains per row.

Al conjuntar, por recombinación y selección algunas líneas contrastantes, podría resultar en patrones heteróticos definidos porque, según Dzib *et al.* (2011), los híbridos altamente rendidores lo fueron por la heterosis y también por factores hereditarios, como la interacción múltiple de genes de tipo aditivo. Esto muestra la conveniencia de conocer la importancia relativa de cada componente genético en la producción de híbridos. Las líneas H2 y H8 intervinieron más en las cruzas sobresalientes, seguidas de H4 y H6. La línea M16 apareció más veces en las cruzas superiores, por lo cual las líneas H8 y M16 serían las indicadas para separar el resto de las líneas en dos grupos heteróticos (Malacarne y San Vicente, 2003).

Aptitud combinatoria de los componentes

Los mayores efectos de aptitud combinatoria general para RG se encontraron en las hembras H2,

females with 0.72, 0.49 and 0.43, each (Table 5). In these cases PH, FF, CL, CCD and CD components highly contributed to the expression of GCA in H2 and, similarly, reported high GCA values for GY. This suggests that these lines contain genes with additive effects that favorably express grain yield (Ávila *et al.*, 2009). The males with higher RG values were M16 and M12, all characters contributed more in the M-16, and the highest GCA values the M9 were associated in CL, CCD and RC.

De la Cruz *et al.* (2005) demonstrated accordance in GCA positive values for grain yield. M16 male, contrary to that found by these authors, had positive GCA values because in our study it was crossed with lines not included by those authors. H2 and M16 showed a positive and higher GCA value for GY, but GR from H3 was the highest value, which may be a consequence of the high GCA value for CD in H2, together with x values greater than GCA in M16 and

H8 y H4 con 0.72, 0.49 y 0.43, respectivamente (Cuadro 5), donde los componentes AP, FF, LM, DM y DO contribuyeron más a la expresión de ACG de H2 y, de igual forma, presentaron valores altos de ACG para RG. Lo anterior sugiere que estas líneas contienen genes de efectos aditivos que se expresan favorablemente en el rendimiento de grano (Ávila *et al.*, 2009). Los machos que presentaron valores mayores para RG fueron M16 y M12 en RG, todos los caracteres aportaron más contribución en el M-16, y los valores más altos de ACG del M9 se asociaron en LM, DM y HM.

De la Cruz *et al.* (2005) demostraron concordancia en los valores positivos de ACG para rendimiento de grano. El macho M16, al contrario de lo encontrado por esos autores, tuvo valores positivos de ACG porque en nuestro estudio se cruzó con líneas no incluidas por esos autores. H2 y M16 mostraron un valor positivo y mayor de ACG para RG, pero para GH de H3 fue la de mayor valor, lo cual puede ser consecuencia del valor alto de ACG para DO en H2, aunado al x valor mayores de ACG en M16 y el valor bajo en H2 para GH. La hembra H3 mostró el valor más alto de ACG para GH y DM, lo cual indica que no todos los

the low H2 value for GR. H3 female showed the highest GCA value for GR and CCD, which indicates that not all components responsible for grain yield have similar behavior, but depend on each line genetic constitution. However, the M16 male showed the highest values in all the characteristics, which may be advantageous in the yield improvement, as mentioned by Wong *et al.* (2007).

In all the above-mentioned characters, the GCA effects were greater than those corresponding to SCA, although it is important to show the presence of dominant genes, but the effects of additive genes contribute in greater proportion than non-additive effects in the phenotype expression. These coincides with Badawy (2013) for the variable number of rows per cob. However, our results differ with those published by Kanagarasu *et al.* (2010) and Borghi *et al.* (2012), who found that non-additive effects were superior to the additives for grain yield, cob diameter and length and plant height. As for the specific combinatorial aptitude (SCA), in the 20 highest performance crosses (Table 6), higher and positive values were found for GY, FF, CL and GR in the 8 × 16 cross; however, this cross was the second on PH, CH,

Cuadro 5. Valores estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas de maíz utilizadas como machos y hembras, en el diseño II de Carolina del Norte. Marín, Nuevo León, 2012.

Table 5. Estimated general combinatorial aptitude (GCA) values of maize lines used as males and females in North Carolina design II. Marín, Nuevo León, 2012.

Línea	RG (t ha ⁻¹)	AP (m)	AM (m)	FF (días)	LM (cm)	DM (cm)	DO (cm)	HM	GH
H-1	0.21	0.05	0.04	-1.75	1.34	0.19	0.51	0.07	0.11
H-2	0.72	0.08	0.05	1.47	1.89	0.42	0.49	2.08	0.44
H-3	0.13	0.04	0.15	-1.97	1.10	0.33	0.10	0.03	1.02
H-4	0.43	0.07	0.03	1.58	2.23	0.04	0.04	0.04	0.98
H-5	0.14	0.09	0.22	-2.03	0.10	0.28	0.01	0.96	1.02
H-6	0.05	0.07	0.27	-1.36	0.29	0.01	0.07	0.41	1.01
H-7	0.22	0.03	0.27	-2.47	0.17	0.02	0.08	1.92	0.86
H-8	0.49	0.10	0.11	2.52	1.65	0.03	0.22	0.06	0.96
M-9	-0.09	-0.04	0.06	1.12	0.51	0.05	0.04	0.16	-0.05
M-10	0.09	-0.02	-0.12	-1.14	-0.92	-0.01	-0.04	-0.27	0.16
M-11	-0.14	-0.07	-0.10	-2.75	0.23	-0.04	0.07	0.11	0.77
M-12	0.10	-0.05	0.06	-1.21	-1.42	-0.04	-0.04	0.06	0.22
M-13	-0.02	0.01	0.04	2.10	-0.71	-0.04	-0.01	-0.22	0.06
M-14	0.08	0.06	-0.13	2.27	0.08	-0.13	-0.03	0.05	-0.94
M-15	0.10	0.05	0.09	-1.74	-0.09	0.03	0.06	-0.05	0.38
M-16	0.13	0.19	0.10	2.58	0.89	0.11	0.16	0.44	1.12
DMS (0.05)	1.18	0.92	1.34	0.56	1.20	1.32	1.09	1.14	1.10

RG rendimiento de grano, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, FF: floración femenina, LM: longitud de mazorca, DM: diámetro de mazorca, DO: diámetro de olote, HM: hileras por mazorca, GH: granos por hilera. ♦ RG: grain yield, AP: plant height, AM: cob height, FF: female flowering, LM: cob length, DM: cob diameter, DO: cob diameter, HM: rows per cob, GH: grains per row.

componentes responsables del rendimiento de grano tienen comportamiento similar, sino que dependen de la constitución genética de cada línea. Sin embargo, el macho M16 mostró los valores superiores en todas las características, lo cual puede ser ventajoso en el mejoramiento del rendimiento como lo mencionan Wong *et al.* (2007).

En todos los caracteres ya señalados los efectos de ACG fueron mayores a los correspondientes a la ACE, aunque es importante mostrar la presencia de genes dominantes, pero los efectos de genes aditivos contribuyen en mayor proporción que los efectos no aditivos en la expresión del fenotipo, lo cual coincide con Badawy (2013) para la variable número de hileras por mazorca. Sin embargo, nuestros resultados difieren con los publicados por Kanagarasu *et al.* (2010) y Borghi *et al.* (2012), quienes encontraron que los efectos no aditivos fueron superiores a los aditivos para rendimiento de grano, diámetro y longitud de mazorca y altura de planta. En cuanto a la aptitud combinatoria específica (ACE), en las 20 cruzas mejores por su mayor rendimiento (Cuadro 6) se encontraron valores mayores y positivos para RG, FF, LM y GH en la craza 8×16; sin embargo, esta craza obtuvo el segundo lugar en AP, AM, DM, DO y HM. Los valores de ACE de las cruzas se reflejaron en los rendimientos altos y valores bajos o negativos que sus líneas progenitoras presentaron en la ACG.

De los seis progenitores que intervienen en las tres cruzas con mayores efectos de ACE (H-8, M-16, H-2, M-14, H8 y M11), solo la craza 8×16 estuvo dentro del primero y segundo lugar en todas las variables estudiadas, lo cual indica que sus progenitores son adecuados para formar híbridos intervarietales con alto potencial de rendimiento, o para derivar líneas que al cruzarse tengan buena combinación entre ellas. Al respecto, se espera que las cruzas con mayor ACE resulten de cruzar al menos una población con alta ACG (Reyes *et al.*, 2004; Escorcía *et al.*, 2010; Legeese *et al.*, 2009).

Los progenitores H-8 y M-16 rindieron más y presentaron un porte de planta y mazorca no muy alto, pero de mayor longitud de mazorca y mayor número de granos por hilera. Esto indica que en la herencia de esta craza participaron genes no aditivos. La acción no aditiva de los genes fue reducida en las cruzas de progenitores de ciclo intermedio, y la participación de genes no aditivos en las mejores cruzas puede deberse a que los progenitores tienen variación genética

CCD, CD and RC. The SCA values of the crosses were reflected in the high yield and low or negative values that their progenitor lines had for GCA.

From the six parent lines who intervene in the three crosses with the greatest effects on SCA (H-8, M-16, H-2, M-14, H8 and M11), only 8×16 cross was within the first and second place in all the studied variables. This indicates that their parents are adequate to form intervarietal hybrids with high yield potential, or to derive lines that, when crossed, have a good combination between them. In this regard, it is to be expected that crosses with high SCA result from crossing at least one population with high SCA (Reyes *et al.*, 2004, Legeese *et al.*, 2009, Escorcía *et al.*, 2010).

The H-8 and M-16 progenitors yielded more and presented low plant and cob size, but with greater cob length and a greater grain per row number. This indicates that non-additive genes were involved in the inheritance of this cross. The non-additive action of the genes was reduced in the intermediate cycle progenitor crosses, and the participation of non-additive genes in the best crosses may be due to the parents having broad genetic variation and major additive effects, as evidenced by high GCA values of the studied variables. These results coincide with those reported by Dzib *et al.* (2011) that non-additive genes in the length, rows and cob diameter expression contributed to obtain higher yield. Crosses with higher SCA values can be considered in breeding programs to form hybrids and introduce genetic variation in recurrent reciprocal selection programs. The values were small compared with those obtained by Reyes *et al.* (2004) and Escorcía *et al.* (2010), but similar to those from Legeese *et al.* (2009).

When estimating the genetic components (Table 7) the variance of males was higher than that of females and their interaction in all the performance components in FF (112.096), GR (2.646) and CL (0.038); however, in GY the female variance was higher (0.007) than that of males. Dominance variance was higher in FF, CL, PH, RC and GR, except for GY, CH and CD, which indicates overdominance expression. Consequently, there is an additive variance for GY, CH and CD, which is favorable, given that the smaller the value of the additive variance the greater evaluated character response (Antuna *et al.*, 2003). This is an indicator that these variables will show a high response when handled by recurrent selection, if the intention

Cuadro 6. Valores estimados de aptitud combinatoria específica (ACE) de las 20 cruzas con mayor rendimiento y sus componentes agronómicos generadas por el diseño II de Carolina del Norte. Marín, Nuevo León, 2012.**Table 6. Estimated values of specific combinatorial aptitude (SCA) of the 20 crosses with the highest yield and their agronomic components generated via North Carolina design II. Marín, Nuevo León, 2012.**

Cruza	RG (t ha ⁻¹)	AP (m)	AM (m)	FF (días)	LM (cm)	DM (cm)	DO (cm)	HM	GH
8×16	0.99	0.20	0.10	10.12	9.14	1.39	0.03	0.25	1.44
8×11	0.60	0.15	-0.12	-9.23	-9.23	-0.39	-0.03	0.97	-1.11
2×16	0.01	0.01	0.01	6.05	-8.51	1.09	0.05	0.17	0.56
2×14	0.79	0.05	-0.04	3.71	3.71	-0.62	-0.09	-0.06	-0.67
4×11	0.07	0.14	-0.03	3.99	4.05	0.94	0.13	-0.06	0.39
4×16	0.07	0.26	0.12	1.49	1.49	-1.33	-0.22	0.01	-0.56
1×9	0.32	-0.12	0.02	5.10	6.10	-0.47	0.10	-0.03	1.39
4×15	0.01	0.08	0.10	-8.51	3.99	1.95	0.09	0.10	-0.67
6×10	0.03	0.02	0.01	3.71	3.71	0.24	-0.13	-0.11	-0.11
6×14	-0.05	-0.19	-0.11	6.44	6.44	0.33	0.13	0.07	0.44
2×13	0.42	-0.10	-0.02	1.77	1.77	-0.88	-0.31	-0.10	-0.50
7×9	0.27	0.02	0.07	2.88	2.88	1.27	0.06	-0.19	0.46
8×14	-0.34	0.03	-0.08	3.83	3.83	0.66	0.14	0.04	-0.17
7×15	0.09	-0.05	-0.10	4.27	4.27	0.63	-0.13	-0.15	-0.33
6×13	-0.02	0.06	0.02	2.99	2.99	0.21	0.12	0.08	0.89
8×10	0.20	-0.21	-0.11	3.33	3.33	-0.21	-0.15	-0.10	0.61
5×13	0.19	0.13	0.05	3.44	3.44	0.67	-0.08	0.04	0.33
2×11	0.08	-0.02	-0.01	3.71	3.71	0.73	0.19	0.07	0.28
3×14	0.02	0.03	0.09	-5.79	-5.79	-0.68	-0.19	-0.01	0.11
3×11	0.02	0.02	0.05	-2.45	-2.45	-0.29	0.14	0.08	0.17
DMS (0.05)	1.10	1.08	0.30	0.78	0.65	1.70	1.10	0.98	1.05

RG: rendimiento de grano, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, FF: floración femenina, LM: longitud de mazorca, DM: diámetro de mazorca, DO: diámetro de olote, HM: hileras por mazorca y GH: granos por hilera. ♦ RG: grain yield, AP: plant height, AM: cob height, FF: female flowering, LM: cob length, DM: cob diameter, DO: cob diameter, HM: rows per cob, GH: grains per row.

amplia y efectos aditivos mayores, como se corrobora con los valores de ACG altos de las variables estudiadas. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Dzib *et al.*, 2011) de que los genes no aditivos en la expresión de la longitud, hileras y diámetro de mazorca contribuyeron para obtener mayor rendimiento. Las cruzas con valores mayores de ACE se pueden considerar en programas de mejoramiento genético para formar híbridos y para introducir variación genética en programas de selección recíproca recurrente. Los valores fueron pequeños comparados con los obtenidos por Reyes *et al.* (2004) y Escorcia *et al.* (2010), pero similares a los de Legeese *et al.* (2009).

Al estimar los componentes genéticos (Cuadro 7), se observa que la varianza de machos fue superior a la de hembras y su interacción en todas los componentes de rendimiento en FF (112.096), GH (2.646) y LM (0.038); sin embargo, en RG la varianza de hembras fue superior (0.007) a la de machos. La varianza de dominancia fue superior en FF, LM, AP, HM y GH,

is to improve earliness, corn in the cob height and cob diameter in this group of lines.

Therefore, the formation of heterotic synthetic varieties is suggested, for which selected lines that complement their characters and that form contrasting populations to recombine and extract new lines to form superior hybrids are selected in recurrent reciprocal selection schemes (Hallauer and Miranda, 2010). In addition, outstanding lines should be increased, analyzed and selected to obtain greater grain yield and form commercial hybrids (Preciado *et al.*, 2005). The heritability value (h^2) for PH, CCD, GR and RC was -0.9, -1.92, -3.05 and -10.08, respectively, which were relatively low and negative. Heritability refers to the ability of characters to be transmitted from generation to generation, that is, it is considered as a similarity degree between the individuals of one generation and the next, for which it is considered that these would be the characters to recombine and select.

Cuadro 7. Valores estimados de los parámetros genéticos para rendimiento de grano y sus componentes agronómicos. Marín, Nuevo León, 2012.**Table 7. Estimated values of the genetic parameters for grain yield and its agronomic components. Marín, Nuevo León, 2012.**

Componente	δ^2M	δ^2H	$\delta^2M \times H$	δ^2A	δ^2D	δ^2F	h^2
RG	0.0012	0.0075	-0.0845	0.03	-0.3464	0.3921	7.65
AP	0.0010	-0.0003	0.0015	-0.0012	0.006	0.1322	-0.90
AM	0.0145	0.0016	0.0010	0.0064	0.004	0.1271	5.03
FF	112.096	3.1038	12.891	12.4152	51.564	140.1608	8.85
LM	0.0389	0.0382	0.3100	0.1528	1.2400	0.5771	26.41
DM	-0.0007	-0.0008	-0.0223	-0.0032	-0.892	0.1662	-1.92
DO	0.0068	0.0009	-0.0090	0.0036	-0.036	0.0587	6.13
HM	-0.0277	-0.0468	0.0003	-0.1872	0.0012	1.8558	-10.08
GH	2.6467	-0.1602	0.1463	-0.6408	0.5852	20.9628	-3.05

RG: rendimiento de grano, AP: altura de planta, AM: altura de mazorca, FF: floración femenina, LM: longitud de mazorca, DM: diámetro de mazorca, DO: diámetro de olote, HM: hileras por mazorca y GH: granos por hilera, δ^2M : varianza de machos, δ^2H : varianza de hembras, δ^2A : varianza aditiva, δ^2D : varianza de dominancia, δ^2F : varianza fenotípica y h^2 : heredabilidad. ❖ RG: grain yield, AP: plant height, AM: cob height, FF: female flowering, LM: cob length, DM: cob diameter, DO: cob diameter, HM: rows per cob and GH: grains per row, δ^2M : males variance, δ^2H : female variance, δ^2A : additive variance, δ^2D : dominance variance, δ^2F : phenotypic variance and h^2 : heritability.

con excepción del RG, AM y DO, lo que indica expresión de sobredominancia. En consecuencia, para RG, AM y DO se obtuvo una varianza aditiva lo cual es favorable, dado que entre más pequeño sea el valor de la varianza aditiva es mayor la respuesta del carácter a evaluar (Antuna *et al.*, 2003). Esto es un indicador de que estas variables mostrarán una respuesta alta al manejarse por selección recurrente, si la intención es mejorar la precocidad, altura de mazorca y diámetro de olote, de este grupo de líneas.

Por lo tanto, se sugiere formar variedades sintéticas heteróticas, para lo cual se seleccionan líneas que se complementen en sus caracteres y que formen poblaciones contrastantes para recombinar y extraer nuevas líneas para formar híbridos superiores, en esquemas de selección recíproca recurrente (Hallauer y Miranda, 2010). Además, se debe aumentar las líneas sobresalientes, analizar y seleccionar para obtener mayor rendimiento de grano y formar híbridos comerciales (Preciado *et al.* 2005). El valor de heredabilidad (h^2) para AP, DM, GH y HM fue -0.9, -1.92, -3.05 y -10.08, respectivamente, los cuales fueron relativamente bajos y negativos. La heredabilidad se refiere a la capacidad de 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 cual se considera que estos serían los caracteres para recombinar y seleccionar.

These results are attributed to the diversity in the genetic constitution of the male and female progenitors, which, when mating, form heterozygous individuals, which reduce the additive effects. For this reason, the assumption is that all variations are estimated based on the genetic component determined as the dominance variance. The characters with the highest h^2 values were: CL, FF, GY, CD and CH (26.41, 8.85, 7.65, 6.13 and 5.03 %, respectively). This indicates that they are closely associated with grain yield, considered high because these are characters controlled by gene pairs, except for negative heritability variables whose value seems logical because they have more qualitative characteristics. These effects may also be due to the fact that the same gene groups do not control all the genetic components responses, according to Springer and Stupar (2007), or hereditary factors such as additivity, dominance and overdominance, according to Lippman and Zamir (2007).

CONCLUSIONS

The analysis of the results of the crosses suggests that the highest GCA lines obtained the highest grain yield, which allowed defining the usage of the parent lines through a hybridization system is the most adequate for a genetic improvement program. Which also indicates that their parents are adequate to form intervarietal hybrids with high yield potential.

Estos resultados se atribuyen a la diversidad en la constitución genética de los progenitores hembras y machos, que al aparearse forman individuos de tipo heterocigótico, lo cual reduce los efectos aditivos. Por tal razón, se supone que todas las variaciones están estimadas con base en el componente genético determinado como varianza de dominancia. Los caracteres con los valores más altos de h^2 fueron: LM, FF, RG, DO y AM (26.41; 8.85; 7.65, 6.13 y 5.03 %, respectivamente). Esto indica que están estrechamente asociados con el rendimiento de grano, lo cual se considera alto porque son caracteres controlados por varios pares de genes, excepto para las variables de heredabilidad negativa cuyo valor parece lógico por tener más caracteres cualitativos. Estos efectos también pueden deberse a que un mismo grupo de genes no controlan todas las respuestas de los componentes genéticos, según Springer y Stupar (2007), o factores hereditarios como la aditividad, la dominancia y la sobredominancia, según Lippman y Zamir (2007).

CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de las cruzas sugiere que las líneas de mayor ACG obtuvieron el mejor rendimiento de grano, lo cual permitió definir que el aprovechamiento de los progenitores a través del sistema de hibridación es el más indicado para el programa de mejoramiento genético, lo cual indica que sus progenitores son adecuados para formar híbridos intervarietales con alto potencial de rendimiento. Además, las líneas con mayor ACG pueden aprovecharse para beneficiar la producción de semilla de las cruzas sobresalientes, utilizándose indistintamente como hembras o machos. Las líneas y las cruzas con rendimiento superior mostraron potencial de aprovechamiento en la producción de grano para la localidad de evaluación ubicada en el municipio de Marín, Nuevo León.

LITERATURA CITADA

Antuna, G. O., F. Rincón S., R. Gutiérrez E., T. Ruíz N.A., y G. Bustamante L. A. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:11-17.

Ávila, P. M. A., S. A. Rodríguez H., M. E. Vázquez B., F. Borrego E., A. J. Lozano R., y A. López B. 2009. Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de valles altos del centro de México. *Agric. Téc. Méx.* 35: 285-293.

In addition, the lines with the highest GCA can be used to benefit the production of seed of outstanding crosses, being used indistinctly as females or males. Lines and crosses with superior performance showed potential for application in grain production for the evaluation location at Marín municipality, Nuevo León, México.

—End of the English version—



Badawy M., E. M. 2013. Heterosis and combining ability in maize using diallel crossed among seven new inbred lines. *Asian J. Crop Sci.* 5: 1-13.

Borghì, M. L., M. Ibañez A., N. Bonamico C., M. Kandus V., D. Gomar A., E. Guillin A., J. Salerno C., and M. Renzo A. D. 2012. Combining ability of Flint corn inbred lines: Mal del Rio Cuarto Disease tolerance and grain yield. *J. Exp. Bot.* 81: 123-131.

Comstock, R. E., and H. Robinson F. 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, L. E., S. Rodríguez H., B. Estrada M.A., y P. J. Mendoza D. 2005. Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. *Univ. y Ciencia* 21: 19-26.

De la Rosa, L. A., H. De León C., F. Rincón S., y G. Martínez Z. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados al Bajío Mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 247-254.

Dzib, A. L. A., C. J. Segura C., P. Ortega R., y L. Latournerie M. 2011. Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de Yucatán y poblaciones mejoradas. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 14: 119-127.

Escorcia-Gutiérrez N., J. D. Molina-Galán, F. Castillo-González, y J. Mejía-Contreras. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruzas simples de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 271-279.

Fan, X. M., H. M. Chen, J. Tan, C. X. Xu, Y. D. Zhang, L. M. Luo, Y. X. Huang, and M. S. Kang. 2008. Combining abilities for yield and yield components in maize. *Maydica* 53: 39-46.

Guillen, D. C. P., L. De la Cruz E., G. Castañón N., O. Osorio R., M. N. Brito P., A. D. Lozano R., and U. López N. 2009. Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 10: 101-107.

Hallauer A. R., M. Carena, and J. B. Miranda F. 2010. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Springer-Verlag. New York Inc. 664 p.

INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2013. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlos a las Condiciones de la República Mexicana. UNAM. México. 246 p.

Kanagarasu, S., G. Nallathambi G., and K. Ganesan N. 2010. Combining ability analysis for yield and its components traits in maize (*Zea mays* L.). *Electron. J. Plant Breed.* 1: 915-920.

- Kang, S. M., D. Kushairi A., Y. Zhang, and R. Magari. 1999. Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Sci.* 39: 368-371.
- Legesse B. W., K. V. Pixley, and A. M. Botha. 2009. Combining ability and heterotic grouping of highland transition maize inbred lines. *Maydica* 54: 1-9.
- Lippman, Z. B., and D. Zamir 2007. Heterosis: revisiting the magic. *Trends Genet.* 23: 60-66.
- Louette, D., and M. Smale. 1996. Genetic diversity and maize seed management in a traditional Mexican community: implications for in situ conservation of maize. NRG Paper 96-03. CIMMYT. México D.F. 21 p.
- Malacarne, M. F., and F. M. San Vicente G. 2003. Patrones heteróticos de líneas tropicales blancas de maíz. *Agron. Trop.* 53: 32-40.
- Polanco, F. 2008. Bases para una Política de I&D e Innovación de la Cadena de Valor del Maíz. Foro Consultivo Científico y Tecnológico. A. C. México. D. F. 244 p.
- Preciado, O. E. R., A. D. Terrón I., N. O. Gómez M., y E. I. Robledo G. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agron. Mesoam.* 16: 145-151.
- Reyes, L. D., G. J. Molina D., R. M. Oropeza A., y P. E. Moreno C. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 49-56.
- Rodríguez, P. G., F. G. Zavala G., C. Ojeda Z., A. Gutiérrez D., J. E. Treviño R., y F. Rincón S. 2012. Diversidad de maíces criollos de Nuevo León. México. Mediante AFLP y caracteres morfológicos. *Agron. Mesoam.* 23: 29-39.
- Soengas, P., B. Ordaz., R. Malvar A., P. Revilla., and A. Ordaz. 2003. Heterotic patterns among. Flint maize populations. *Crop Sci.* 43: 844-849.
- Sprague, G. F., and L. Tatum A. 1942. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34: 923-932.
- Springer, N. M., and R. Stupar M. 2007. Allelic variation and heterosis in maize: How do two halves make more than a whole? *Genome Res.* 17: 264-275.
- Wong, R. R., E. Gutiérrez R., A. Palomo G., S. Rodríguez H., H. Córdova O., A. Espinoza B., y J. J. Lozano G.). 2007. Aptitud combinatoria de componentes de rendimiento en líneas de maíz para grano en la comarca lagunera. México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 181-189.