

# APTITUD COMBINATORIA DE COMPONENTES DEL RENDIMIENTO EN LÍNEAS DE MAÍZ PARA GRANO EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

## COMBINING ABILITY FOR YIELD COMPONENTS IN GRAIN CORN LINES AT LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

Raúl Wong Romero<sup>1\*</sup>, Emiliano Gutiérrez del Río<sup>1</sup>, Arturo Palomo Gil<sup>1</sup>, Sergio Rodríguez Herrera<sup>1</sup>, Hugo Córdova Orellana<sup>2</sup>, Armando Espinoza Banda<sup>1</sup> y J. Jaime Lozano García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Periférico y Carr. a Santa Fe. Torreón, Coahuila. Tel y Fax 01 (871) 733-1210 y 733-1090 Ext. 129 y 130. <sup>2</sup>Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Apdo. Postal 6-641, 06600, México, D. F.

\*Autor para correspondencia (raulwongromero@hotmail.com)

### RESUMEN

En La Comarca Lagunera de México se siembran anualmente 24 000 ha de maíz (*Zea mays* L.) forrajero y 15 000 ha de maíz de grano. En este trabajo se determinó la aptitud combinatoria general (ACG) de líneas autofecundadas y la aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruzas, en maíz de grano adaptado a las condiciones climáticas de esta región. En la primavera del 2004 se formaron dos grupos de 10 líneas; un grupo se utilizó como macho y otro como hembra, para formar 100 cruzas simples directas posibles, bajo el diseño de apareamiento genético de Carolina del Norte II. En el verano del 2004 se evaluaron las cruzas en un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. Las líneas macho (M1) y la hembra (H12) presentaron la mayor ACG y los rendimientos más altos de mazorca y de grano. Las cruzas 3x20, 7x14, 5x17, 1x16 y 2x11 tuvieron los mejores valores de ACE para los principales componentes de rendimiento evaluados; para la cruz 1x16 el rendimiento dependió del número de granos por hilera y del peso de mil granos, características aportadas por M1 y H16, respectivamente, mientras que para la cruz 5x17 fueron los componentes longitud de mazorca y granos por hilera, aportados por M5 y H17, respectivamente, cuya interacción se expresó en la ACE. El rendimiento de grano de la cruz 6x12 dependió principalmente del número de hileras por mazorca proveniente del M6 y el peso de mil granos aportado por la H12.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., aptitud combinatoria, líneas autofecundadas, cruzas simples.

### SUMMARY

The annual planted surface of corn (*Zea mays* L.) grown at the Comarca Lagunera, México, for forage and grain is 24 000 and 15 000 ha. This research was done to estimate the parent lines general combining ability (GCA) and the specific combining ability (SCA) of maize for grain of their respective crosses. In the 2004 spring season, 100 crosses were obtained from 10 lines used as male parents and 10 lines used as female parents, according to the North Carolina model II mating design. In the 2004 summer season the crosses were evaluated using a complete randomized blocks experi-

mental design with two replications. The highest yields and GCA were showed by the M1 male and the H12 female lines. The highest SCA for yield components were showed by crosses: 3x20, 7x14, 5x17, 1x6 and 2x11. For the 1x16 cross yield depended on the number of grains per row and seed weight, traits contributed by male M1 and female H16, respectively. For the 5x17 cross yield depended on, ear length and number of grains per row, characteristics which were inherited by the M5 and H17 parental lines, respectively. For the 6x12 cross grain yield relayed on the number of ear rows inherited from M6, and on the seed size inherited from H12.

**Index words:** *Zea mays* L., combining ability, inbred lines, single crosses.

### INTRODUCCIÓN

En los años 80's del siglo pasado, el maíz ocupó el tercer lugar mundial alimentario, con una producción anual superior a 500 millones de toneladas. A principios de este siglo el maíz ocupó el primer lugar en la producción mundial (609 181 620 t) al superar al arroz (*Oryza sativa* L.) (592 831 326 t) y al trigo (*Triticum spp*) (582 691 612 t). Duvick y Cassman (1999) estimaron que la demanda global de maíz se incrementará de 526 a 748 millones de toneladas entre 1993 y 2020, mientras que Borlaug (1999) proyectó un crecimiento de la población mundial de 6 200 millones de personas en el año 2000 a 8 300 millones en el año 2025, y 10 000 millones en el año 2045, y estimó que se estabilizará en 11 000 ó 12 000 millones al final del siglo XXI.

En La Comarca Lagunera, ubicada en el Norte de México, se siembran anualmente 15 000 ha de maíz de grano y 24 000 ha de maíz forrajero (SAGARPA, 2005), en su mayoría con híbridos comerciales para grano

desarrollados por compañías transnacionales para otras áreas del país. Se considera que los híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad de forraje (Peña *et al.*, 2003). El rendimiento de grano promedio para esta región es de 3.3 t ha<sup>-1</sup>, aún cuando el rendimiento potencial a nivel experimental es de 13 t ha<sup>-1</sup> (Reta *et al.*, 1998), por lo que se deben buscar formas de aumentar los rendimientos, sin incrementar los costos de cultivo.

Hace más de diez años 52 % de los agricultores utilizaban materiales mejorados y el resto usaba variedades criollas y ocasionalmente semilla de generaciones segregantes procedentes de híbridos (Gutiérrez *et al.*, 2002); hoy se estima que 93 % de ellos usa semilla mejorada. Es necesario entonces aumentar la calidad y productividad de este cultivo, mediante caracterización de los mejores híbridos a través de técnicas que permitan determinar los efectos genéticos involucrados en los materiales de estudio y, por consiguiente, brindar a los productores más alternativas de genotipos de alto rendimiento.

El rendimiento de grano del maíz en EE. UU. se ha incrementado en 40 a 50 % debido a mejores prácticas de manejo agronómico, como el uso de más fertilizante nitrogenado y de altas densidades de población, y en 50 a 60 % por el mejoramiento genético en la arquitectura de planta, como menor porte de planta, hojas erectas, resistencia al acame, etc. (Duvick, 1992; Russell, 1991), adaptación a cambios ambientales y tolerancia a condiciones de estrés (Tollenaar y Wu, 1999); estos autores agregan que en Europa se han dado cambios de magnitud similar a los de EE. UU.

El mejoramiento genético es un proceso continuo en la formación de nuevas variedades e híbridos comerciales; el conocimiento de los diversos tipos de acción génica y la importancia de éstos en la determinación de caracteres de interés, es básico para lograr avances rápidos en un programa destinado a la obtención de híbridos (Malacarne y San Vicente, 2003; Betrán *et al.*, 2003). Se han desarrollado sistemas de apareamiento o diseños genéticos para conocer la acción génica de caracteres cuantitativos, determinar la aptitud combinatoria de los progenitores, seleccionar los mejores y diseñar los métodos de mejoramiento más eficientes (Comstock y Robinson, 1948; Griffing, 1956).

En este trabajo se estimó la aptitud combinatoria general de líneas de maíz y la aptitud combinatoria específica de sus cruza, y se identificó a las mejores combinaciones híbridas para la Comarca Lagunera de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se hizo en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), en Torreón, Coah., localizada entre los paralelos 24° 30' y 27° LN y los meridianos 102° y 104° 40' LO y una altitud de 1150 m; el clima es seco y caluroso. En la primavera del 2004 se hicieron las cruza simples posibles entre dos grupos de 10 líneas, y en el verano del mismo año se llevó a cabo la evaluación de las cruza F<sub>1</sub>. El material genético provino de tres programas: seis líneas de alta endogamia del programa de mejoramiento de la UAAAN-UL (Antuna *et al.*, 2003), tres líneas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y 11 líneas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1999). Las características del material genético se anotan en el Cuadro 1.

Las líneas del 1 al 10 se usaron como machos (M) y las líneas del 11 al 20 como hembras (H), para obtener 100 cruza directas las cuales se evaluaron bajo un diseño experimental de bloques al azar con dos repeticiones. La parcela experimental fue de un surco de 3 m de largo y 0.70 m de ancho, con seis plantas por metro, para tener una población aproximada de 85 000 plantas ha<sup>-1</sup>; el riego se aplicó con cintilla (4 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>), para aplicar una lámina de agua de 0.75 m durante el ciclo.

A la cosecha se tomó una muestra de cinco plantas con competencia completa en cada parcela, y las variables evaluadas fueron: rendimiento de mazorca (RMZ) y rendimiento de grano (RG), en kg ha<sup>-1</sup>; diámetro de mazorca (DMZ), diámetro de olote (DOL) y longitud de mazorca (LMZ), en cm; peso de 1 000 granos (PMG), en g; además, se contó el número de hileras por mazorca (NHMZ) y número de granos por hilera (NGH).

El análisis genético se hizo con el diseño II de apareamiento de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948), cuyo modelo lineal es:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + H_j + \phi_{ij} + e_{ijk}$$

donde  $i=1,2,\dots,m$  (machos);  $j=1,2,\dots,h$  (hembras);  $k=1,2,\dots,r$  (rep);  $Y_{ijk}$  = observación de la cruza entre el  $i$ -ésimo macho y la  $j$ -ésima hembra en la  $k$ -ésima repetición;  $\mu$ =Media general;  $M_i$  y  $H_j$ =Efecto del  $i$ -ésimo macho y  $j$ -ésima hembra;  $\phi_{ij}$ =Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo macho con la  $j$ -ésima hembra;  $e_{ijk}$ =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 cruza, se hizo según la propuesta de Sprague y Tatum (1942):

Cuadro 1. Descripción y origen de las líneas de maíz participantes como progenitoras en la formación de los híbridos simples. Torreón, Coahuila. 2004.

Progenitor	Origen	Descripción de las líneas
M1	L-AN 123 R	De alta endogamia formada de una variedad criolla del municipio de Concepción, Jalisco, con precocidad y tolerancia a sequía.
M2	L-AN 447	De ocho autofecundaciones, derivada de generaciones avanzadas del híbrido 'AN-447', con características de amplia adaptabilidad.
M3	L-AN 360 PV	Obtenida de la población enana 'Pancho Villa'
M4	L-AN 130	Proviene de la F4 del 'H-507', cruzada con la población 'Celaya-2' de El Bajío.
M5	L-AN 123	Obtenida de forma divergente y contrastada de una variedad criolla de Jalisco de hojas pálidas y onduladas.
M6	L-AN 388R	Enana, con hojas anchas y succulentas, generada a partir de la F3 del híbrido 'AN-388'.
M7	L B-32	Del INIFAP, derivada del híbrido 'H-353'.
M8	L B-39	Proviene del INIFAP (Ramírez <i>et al.</i> 1995).
M9	L B-40	Proviene del INIFAP (Ramírez <i>et al.</i> 1995).
M10	CML-319	Proviene del CIMMYT, derivada de líneas recicladas de la cruza 'Cr.Arg x CIM.ShPINPH'.
H11	CML-264	Del CIMMYT, derivada de la Población 21.
H12	CML-316	Del CIMMYT, derivada de la Población 500P 500c.
H13	CML-254	Del CIMMYT, derivada de la Población 21.
H14	CML-313	Del CIMMYT, derivada de la Población 501c.
H15	CML-273	Del CIMMYT, derivada de la Población 43.
H16	CML-247	Del CIMMYT, derivada de la Población 24.
H17	CML-271	Del CIMMYT, derivada de la Población 29
H18	CML-311	Del CIMMYT, derivada de la Población 500.
H19	CML-278	Del CIMMYT, derivada de la Población 43.
H20	CML-315	Del CIMMYT, derivada de la Población 500P500c.

M indica las líneas usadas como machos, y H las usadas como hembras.

$$g_i = \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}, \quad g_j = \bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{...},$$

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

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  $i$  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 cruza  $i*j$  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,  $DMS_{\alpha} = EE \times t (\alpha 2^{-1}, gl_{ee})$ , 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.

Se estimaron los coeficientes de correlación entre variables mediante la siguiente ecuación:

$r = \text{cov}(xy) (\sigma_x^2 \sigma_y^2)^{-1/2}$ , 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 DISCUSIÓN

Se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) para machos (M) y hembras (H) en todas las características evaluadas (Cuadro 2). La interacción  $M \times H$  resultó

significativa ( $P \leq 0.05$ ) para todas las variables, excepto para el diámetro de mazorca. Estas diferencias son debidas al origen contrastante del material genético estudiado, lo que confirma los resultados obtenidos por Antuna *et al.* (2003) y De la Cruz *et al.* (2003), y por otros investigadores (De La Rosa *et al.*, 2000; Soengas *et al.*, 2003; De La Cruz *et al.*, 2005). Moreno *et al.* (2002) identificaron híbridos de maíz de alto rendimiento como resultado de la alta variabilidad genética entre las poblaciones de las que se derivaron las líneas, y por la diversidad genética entre las líneas probadoras.

Los coeficientes de variación, usados como una medida de precisión en la conducción de los experimentos (Kang *et al.*, 1999), para los rendimientos de mazorca y grano, fueron de 12 % y 13.4 % respectivamente, considerados como aceptables; los CV de los componentes del rendimiento fluctuaron entre 4.7 y 9.9 %, debido a que son caracteres de menor variación.

#### Comportamiento de los componentes de rendimiento

Las medias de rendimiento y de sus componentes en las líneas se muestran en el Cuadro 3. Los machos M1 y M5 y las hembras H12 y H11 resultaron estadísticamente superiores para RMZ, mientras que para RG sólo M1 y H12 fueron superiores. El diámetro de la mazorca (DMZ), el número de hileras (NHMZ) y el número de granos por hilera (NGH) fueron los componentes que más contribuyeron en la superioridad mostrada por M1; DMZ, NHMZ, diámetro de olote (DOL) y peso de mil granos (PMG) lo fueron para H12. Estos caracteres incidieron en el rendimiento de diferente manera; para M1, DMZ permitió un mayor NHMZ y si se combinara con un alto NGH, el re-

sultado sería un mayor número de granos por planta y por unidad de superficie. Echarte *et al.* (2004) también relacionaron estos componentes con un mayor rendimiento. Para H12, el mayor valor de NHMZ resultó del alto valor de DMZ, y la mayor diferencia entre DMZ y DOL resultó en un mayor tamaño de grano y mayor PMG, lo que también permite una alta expresión del rendimiento (Borrás y Otegui, 2001). Por tanto, se esperaba un buen comportamiento al combinar estos progenitores en la formación de híbridos (Soengas *et al.*, 2003).

Los progenitores M5 y H11 forman parte del grupo superior estadísticamente para RMZ; para H11, los componentes DMZ, DOL, LMZ y NGH fueron más sobresalientes, mientras que para M5 fueron LMZ y NGH. Luna y Gutiérrez (1993) también observaron que DMZ y LMZ contribuyen a aumentar el número de granos por mazorca y por unidad de superficie y, por tanto, el rendimiento; de forma similar, Andrade *et al.* (2002) consideraron que el rendimiento de grano está estrechamente asociado con el número de granos cosechados.

Las cruzas más sobresalientes rindieron entre 10.0 y 12.5 t ha<sup>-1</sup> de RMZ, y correspondieron a las mejores en RG cuyo rango de variación fue de 7.9 a 9.6 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 4). Las 15 cruzas aquí incluidas forman el grupo estadísticamente superior para RG, aunque las cruzas 2 x 12 y 7 x 12 quedaron excluidas del grupo superior en RMZ. Para LMZ hubo diferencias de 14.2 a 17.6 cm; NHMZ y NGH variaron de 14 a 20 y de 28.4 a 37.4, respectivamente; PMG varió de 179 a 273 g. La amplitud de estos rangos demuestra variación entre genotipos. Algunos componentes del rendimiento influyeron en los resultados más

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza y nivel de significancia estadística, según análisis con el Diseño II de Carolina del Norte. Torreón, Coahuila. 2004.

F de V	gl	DMZ (cm)	DOL (cm)	LMZ (cm)	NHMZ	NGH	PMG (g)	RMZ (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )
Repeticiones	1	1.82**	0.07*	12.60**	13.52**	172.98**	8077**	145424574**	105151557**
Machos	9	0.37**	0.39**	12.74**	16.72**	161.17**	3760**	8589181**	7300131**
Hembras	9	0.71**	0.34**	13.17**	27.56**	56.35**	5416**	10783185**	9096386**
MxH	81	0.10 ns	0.03**	2.41**	1.72**	18.35**	673*	4351690**	3015580**
Error	99	0.09	0.02	1.05	0.71	6.37	424	1105413	749537
Total	199								
Media		4.38	2.71	15.04	14.64	31.97	207	8741.0	6420
CV	(%)	7.0	4.7	6.8	5.7	7.8	9.9	12.0	13.4

gl = Grados de libertad; DMZ = Diámetro de mazorca; DOL = Diámetro de olote; LMZ = Longitud de mazorca; NHMZ = Número de hileras por mazorca; NGH = Número de granos por hilera; PMG = Peso de mil granos; RMZ = Rendimiento de mazorca; RG = Rendimiento de grano. \*\* ( $P \leq 0.01$ ) y \* ( $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 3. Rendimiento y sus componentes de las líneas macho y hembra en promedio de cruzas. Torreón, Coahuila. Ciclo verano 2004.

Progenitor	RMZ (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	DMZ (cm)	DOL (cm)	LMZ (cm)	NHMZ	NGH	PMG (g)
M1	10093*	7727*	4.5*	2.8	15.5	16.7*	35.6*	190
M2	8339	6151	4.4	2.7	15.1	14.3	31.8	202
M3	8873	6161	4.7*	3.0*	13.5	15.2	27.3	211
M4	8846	6474	4.4	2.8	14.3	13.7	31.6	215
M5	9506*	7078	4.3	2.7	16.3*	15.2	36.5*	185
M6	8866	6713	4.4	2.7	14.6	14.9	29.5	217
M7	8073	6060	4.3	2.6	15.1	14.2	31.5	232*
M8	8423	6000	4.4	2.8	15.5	14.5	34.6	200
M9	8425	6161	4.2	2.6	15.1	14.1	31.0	210
M10	7968	5683	4.2	2.5	15.7*	13.6	30.4	211
H11	9724*	7117	4.5*	2.8*	15.8*	14.7	34.3*	223*
H12	10060*	7946*	4.6*	2.8*	14.8	17.3*	30.6	213*
H13	8567	6158	4.2	2.6	15.4*	12.8	33.5*	223*
H14	8611	6324	4.4	2.7	16.0*	13.8	31.4	226*
H15	8482	6068	4.3	2.7	15.9*	14.1	32.1	199
H16	8969	6494	4.5*	2.9*	14.1	14.7	30.6	222*
H17	8724	6473	4.5*	2.8*	14.3	15.5	29.4	207
H18	8754	6200	4.5*	2.9*	15.6*	14.8	34.4*	193
H19	7927	5606	4.2	2.6	13.8	14.3	31.3	181
H20	7594	5822	4.0	2.5	14.8	14.4	32.4	187
DMS (0.05)	659	543	0.19	0.08	0.64	0.52	1.58	12.93

RMZ = Rendimiento de mazorca; RG = Rendimiento de grano; DMZ = Diámetro de mazorca; DOL = Diámetro de olote; LMZ = Longitud de mazorca; NHMZ = Número de hileras por mazorca; NGH = Número de granos por hilera; PMG = Peso de mil granos. \* ( $P \leq 0.05$ ).

que otros. Para la craza 1 x 16, NGH fue aportación del M1 mientras que PMG fue aportado por H16, y entre ambas contribuyeron a la expresión del alto rendimiento; en cambio, para 5 x 17 los principales componentes fueron LMZ y NGH de M5 y la interacción de M5 y H17, expresada por la ACE para PMG, fue probablemente la que más influyó en la expresión del rendimiento; en la craza 6 x 12, NHMZ y PMG fueron los componentes que más influyeron en el rendimiento.

Otros autores también han reportado que el peso de grano y las características asociadas con la mayor cantidad de granos, son las que definen el rendimiento en cereales (Borrás y Otegui, 2001). Existe la posibilidad de que al conjuntar, por recombinación y selección, algunas líneas contrastantes, podría resultar en patrones heteróticos definidos, tal como lo explica Duvick (1999) al indicar que los híbridos altamente rendidores lo fueron no sólo por la heterosis sino 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 M1 y M6 fueron las que más intervinieron en las cruzas sobresalientes (tres veces cada una), seguidas de las líneas M5 y M2 que intervinieron dos veces cada una. La línea H12 fue la que más apareció en las 15 cruzas (siete veces), por lo que las líneas M1 y H12 serían las

indicadas para separar el resto de las líneas en dos grupos heteróticos (Malacarne y San Vicente, 2003; Sierra *et al.*, 2000). Se observó que en los mejores híbridos el grupo de líneas de origen UAAAN-UL combinaron mejor con las mejores líneas de CIMMYT, que con las líneas del INI-FAP.

### Aptitud combinatoria de los Componentes

Los mayores efectos de aptitud combinatoria general para rendimiento de mazorca y de grano, se encontraron en las líneas M1 y M5 usadas como macho (Cuadro 5), en las que los componentes número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, peso de mil granos y longitud de mazorca fueron los que más contribuyeron a la expresión de ACG del M1 y M5; sin embargo, para las líneas hembra H11 y H12 que de igual forma presentan altos valores de ACG para RMZ y RG, los caracteres que más aportaron fueron longitud de mazorca, número de granos por hilera y peso de mil granos para la H11; en la H12, los valores más altos de ACG se asociaron solamente con el número de hileras por mazorca.

Los trabajos realizados por De La Cruz *et al.* (2003) muestran concordancia en los valores positivos de ACG para rendimiento. El macho M6, al contrario de lo encontrado por estos autores, resultó con valores positivos de

Cuadro 4. Medias de rendimiento y sus componentes de 15 cruzas de maíz sobresalientes. Torreón, Coahuila. Ciclo verano 2004.

Cruza	RMZ (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	DMZ (cm)	DOL (cm)	LMZ (cm)	NHMZ	NGH	PMG (g)
1 x 16	12550*	9656*	4.8*	2.9*	15.4	17	35.5*	225*
6 x 12	11702*	9557*	4.8*	2.9*	14.9	20*	29.7	234*
6 x 11	11681*	8933*	4.5*	2.7*	17.6*	16	38.2*	240*
1 x 12	10864*	8924*	4.6*	2.8*	16.0*	20*	34.0*	192
5 x 17	11754*	8908*	4.7*	2.9*	16.1*	17	33.8*	210*
2 x 11	11541*	8906*	4.6*	2.8*	16.3*	14	36.0*	219*
5 x 12	11115*	8769*	4.5*	2.8*	16.7*	17	36.4*	179
3 x 20	11185*	8672*	4.6*	2.9*	14.2	15	30.4	208*
4 x 12	11064*	8628*	4.7*	2.9*	15.1	17	28.4	236*
2 x 12	10375	8359*	4.6*	2.8*	14.2	17	29.9	235*
1 x 15	11033*	8279*	4.5*	2.6	16.6*	16	37.4*	190
7 x 12	10012	8263*	4.6*	2.6	14.8	16	32.4	205*
6 x 13	10645*	8223*	4.4*	2.7*	16.3*	14	37.0*	230*
9 x 12	10470*	8083*	4.3*	2.6	15.5	16	32.0	211*
7 x 14	10532*	7990*	4.5*	2.6	17.5*	14	32.9	273*
Media	8741	6420	4.3	2.7	15.0	14.6	32.0	207
DMS (0.05)	2086	1717	0.60	0.25	2.3	1.67	5.0	40

RMZ = Rendimiento de mazorca; RG = Rendimiento de grano; DMZ = Diámetro de mazorca; DOL = Diámetro de olote; LMZ = Longitud de mazorca; NHMZ = Número de hileras por mazorca; NGH = Número de granos por hilera; PMG = Peso de mil granos. \* ( $P \leq 0.05$ )

ACG debido a que aquí se cruzó con líneas que no incluyeron esos autores. M3 y H18 mostraron un valor positivo de ACG para el rendimiento de mazorca, pero no para el rendimiento de grano que resultó con signo negativo; esto probablemente sea consecuencia del valor elevado de ACG para diámetro de olote en ambos progenitores, aunado al bajo valor de ACG en M3 y al valor negativo de H18 para PMG. Los machos M1 y M7 y las hembras H11, H13, H14 y H16 mostraron los valores más altos de ACG para peso de mil granos, lo que indica que no todos los componentes responsables del rendimiento tienen comportamientos similares, sino que dependen de la constitución genética de cada línea. Esto puede ser ventajoso en el mejoramiento del rendimiento, como lo menciona Márquez (1991).

En cuanto a la aptitud combinatoria específica (ACE), la mayoría de las cruzas mostraron valores positivos para RMZ y RG (Cuadro 6); las mejores cruzas para ambos caracteres fueron 3 x 20, 7 x 14, 5 x 17, 1 x 16 y 2 x 11, que quedaron dentro del grupo estadísticamente superior, mientras que la ACE de los componentes no mostraron diferencias. Los altos valores de ACE de estas cruzas para RMZ y RG se deben a los altos rendimientos de las cruzas y a los valores bajos o negativos de la ACG de las líneas que intervienen en las cruzas 3 x 20 y 7 x 14, o a la combinación de una línea con alta ACG con otra de valores bajos o negativos de ACG, 1 x 16, 5 x 17 y 2 x 11. Con los valores más bajos de ACE se ubicaron las cruzas 5x12, 9 x 12, 7 x 12, 2 x 12, 4 x 12 y 1 x 12, las cuales tienen en común a la línea 12 que fue una de las que presentaron los valores más altos de ACG; la cruza 1 x 12 fue la única

que obtuvo valores negativos de ACE para RMZ (-548) y RG (-327), debido a que ambos progenitores de esta cruza tuvieron valores altos de ACG. Este resultado sugiere que la manifestación de alto rendimiento en la cruza es debida a la acción génica de efectos aditivos de las líneas, como aseveran Reyes *et al.* (2004). La cruza 6 x 13 resultó con un valor de ACE alto y significativo para RG, donde la mayor contribución fue aportada por el NGH; la cruza 6 x 11 tuvo valores altos y significativos de ACE para LMZ y NGH, y la cruza 6 x 12 mostró valores altos para NHMZ, pero éstos no se vieron reflejados en ACE del rendimiento de dichos híbridos, probablemente debido a los bajos valores de ACE para PMG.

Para DMZ se encontraron valores positivos de ACE en todas las cruzas, que fluctuaron entre 0.07 y 0.64, y corresponden a las cruzas 6 x 11 y 6 x 12, respectivamente. Para DOL el menor valor fue de -0.06 y el mayor de 0.20, que corresponden a las cruzas 1 x 15 y 5 x 7, respectivamente. En estos caracteres se buscarían materiales con valores altos de ACE para DMZ y bajos de DOL, pues esto daría un tamaño mayor de grano o profundidad de grano y probablemente mayor peso de grano, aunque en esta característica un factor importante sería el peso específico del grano.

En LMZ los valores en su mayoría fueron positivos (sólo la cruza 2 x 12 mostró valores negativos -0.60), y la cruza 6 x 11 obtuvo el valor estadísticamente más elevado y significativo (2.29). Para NHMZ el valor más elevado

Cuadro 5. Valores estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de líneas de maíz usadas Como machos y hembras. Diseño II de Carolina del Norte. Torreón, Coahuila. Ciclo verano 2004.

Líneas	RMZ (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	DMZ (cm)	DOL (cm)	LMZ (cm)	NHMZ	NGH	PMG (g)
M1	1352**	1306**	0.10	0.05	0.42	2.06**	4.23**	17.48**
M2	-402	-270	-0.03	0.01	0.02	-0.34	0.43	-5.72
M3	132	-260	0.29**	0.31**	-1.59**	0.56*	-4.12**	3.72
M4	105	53	0.05	0.04	-0.78*	-0.94**	0.23	7.87
M5	765*	658*	-0.08	-0.03	1.23**	0.56*	5.13**	-22.03**
M6	125	292	0.02	-0.03	-0.50	0.26	-1.87*	9.77
M7	-668*	-361	-0.05	-0.09	0.01	-0.44	0.13	24.87**
M8	-319	-420	0.03	0.05	0.42	-0.14	3.18**	-7.57
M9	-316	-260	-0.19*	-0.16**	0.06	-0.54*	-0.37	3.02
M10	-773*	-738**	-0.15	-0.18**	0.69*	-1.04**	-0.97	3.52
H11	983**	696*	0.11	0.09	0.76*	0.06	2.33**	15.37*
H12	1319**	1525**	-0.22	0.09	-0.21	2.66**	-1.42	5.97
H13	-174	-263	-0.18*	-0.08	0.34	-1.84**	1.53	15.72*
H14	-130	-97	0.02	-0.06	0.97**	-0.84**	-0.62	18.37**
H15	-259	-353	-0.04	-0.05	0.89**	-0.54*	0.08	-8.12
H16	228	73	0.13	0.16**	-0.93	0.06	-1.42	14.17*
H17	-17	52	0.15	0.04	-0.79*	0.86**	-2.62**	-0.37
H18	13	-221	0.12	0.16**	0.52	0.16	2.38**	-14.53*
H19	-815*	-815**	-0.15	-0.14*	-1.27**	-0.34	-0.67	-26.18**
H20	-1148**	-599*	-0.39**	-0.23**	-0.29	-0.24	0.43	-20.43**
DMS .05	558	542	0.186	0.087	0.641	0.52	1.58	12.88
DMS .01	868	716	0.245	0.115	0.847	0.69	2.08	17.03
E. E.	332	273	0.094	0.044	0.324	0.26	0.79	6.51

RMZ = Rendimiento de mazorca; RG = Rendimiento de grano; DMZ = Diámetro de mazorca; DOL = Diámetro de olote; LMZ = Longitud de mazorca; NHMZ = Número de hileras por mazorca; NGH = Número de granos por hilera; PMG = Peso de mil granos; EE = Error estándar. \*\* (P ≤ 0.01), \* (P ≤ 0.05).

Cuadro 6. Aptitud combinatoria específica de las 15 mejores cruza de maíz, para rendimiento de mazorca, de grano, y sus componentes. Torreón, Coahuila. Ciclo verano 2004.

Cruza	RMZ (kg ha <sup>-1</sup> )	RG (kg ha <sup>-1</sup> )	DMZ (cm)	DOL (cm)	LMZ (cm)	NHMZ	NGH	PMG (g)
1 x 16	2229*	1856*	0.19	0.01	0.91	0.24	1.32	21.0
6 x 12	1517	1319	0.64	0.14	0.60	2.44**	1.62	10.4
6 x 11	1833	1524	0.07	-0.02	2.29*	1.04	6.37*	7.5
1 x 12	-548	-327	0.39	0.00	0.73	0.64	-0.18	-3.8
5 x 17	2265*	1777*	0.28	0.20	0.61	0.94	-0.08	24.6
2 x 11	2220*	2059*	0.20	0.00	0.47	-0.36	1.87	1.5
5 x 12	290	166	0.42	0.04	0.62	-0.86	1.32	-12.0
3 x 20	3460**	3110**	0.33	0.09	1.03	0.04	2.72	16.9
4 x 12	898	629	0.50	0.05	1.04	0.64	-1.78	14.3
2 x 12	717	683	0.51	0.02	-0.60	0.04	-0.48	27.4
1 x 15	1199	906	0.10	0.00	0.24	-0.16	1.72	8.2
7 x 12	620	678	0.48	-0.06	0.00	-0.86	2.32	-33.0
6 x 13	1953	1773*	0.25	0.17	1.43	0.94	5.97*	-2.8
9 x 12	725	397	0.37	0.01	0.59	-0.76	2.42	-5.3
7 x 14	2589*	2027*	0.19	0.08	1.47	0.64	2.02	22.4
DMS.05	2147	1714	0.59	0.28	2.02	1.66	4.99	40.8
DMS.01	3102	2265	0.78	0.37	2.66	2.19	6.59	53.9
E. E.	1085	865	0.30	0.14	1.02	0.84	2.52	20.6

RMZ = Rendimiento de mazorca; RG = Rendimiento de grano; DMZ = Diámetro de mazorca; DOL = Diámetro de olote; LMZ = Longitud de mazorca; NHMZ = Número de hileras por mazorca; NGH = Número de granos por hilera; PMG = Peso de mil granos; EE = Error estándar.

\*\* (P ≤ 0.01), \* (P ≤ 0.05).

lo tuvo la cruza 6 x 12 que también fue la que tuvo el valor más alto de DMZ, pues a mayor DMZ hay más espacio

para acomodar hileras. Con respecto a NGH, el mayor valor (6.36) se encontró en la cruza 6 x 11 el cual coincide

con el valor más alto para LMZ, pues a mayor longitud de mazorca habría mayor cantidad de granos por hilera, mientras que el bajo valor obtenido de PMG es probable que sea el causante de que no se haya visto reflejada en el rendimiento. Para PMG los valores más elevados correspondieron a las cruza 2 x 12, 5 x 17, 7 x 14 y 1 x 16, de las cuales las tres últimas sobresalieron por su mayor RMZ y RG; en la cruza 2 x 12, a pesar de haber tenido los valores máximos de ACE para PMG (27.4), esto no se vio reflejado en el rendimiento debido a los valores negativos de LMZ (-0.6), NGH (-0.48) y el valor bajo de NHMZ.

Los rendimientos de mazorca y grano correlacionaron positiva y significativamente con todas las demás variables (Cuadro 7); los coeficientes más altos se observaron entre RMZ y RG (0.974\*\*), pues ambos son estimadores del rendimiento y la diferencia entre ellos es el peso del olote. RMZ y DMZ, DMZ y DOL, así como LMZ y NGH, estuvieron altamente correlacionados (0.716\*\*, 0.792\*\* y 0.744\*\*, respectivamente); DMZ, con NHMZ y PMG, DOL y PMG, correlacionaron positivamente. Para LMZ y NGH, su correlación con DMZ y DOL no fue significativa; NHMZ y PMG tampoco correlacionaron. Las correlaciones de NHMZ con NGH y PMG, y de NGH con PMG, no fueron estadísticamente significativas, lo que indica que son características independientes o que son de tipo multi-génico, por lo que se puede considerar a más de una característica como componente de rendimiento (Moreno-González *et al.*, 2000).

### CONCLUSIONES

Las líneas macho M1 y M5 y las hembras H11 y H12 obtuvieron los valores más altos de rendimiento de mazorca y de grano, así como los valores más altos de aptitud combinatoria general.

Las cruza más sobresalientes por su aptitud combinatoria específica fueron 3 x 20, 7 x 14, 5 x 17 y 1 x 16. Destaca esta última por tener los más altos rendimientos de mazorca y grano. La ACE para los componentes longitud de mazorca y número de granos por hilera en la cruza 6 x 11 fueron sobresalientes, y no se reflejaron en ACE para

rendimiento, porque los diámetros de olote y de mazorca, el número de hileras por mazorca y el peso de mil granos tuvieron valores bajos.

La cruza 1 x 12 obtuvo altos rendimientos tanto de mazorca como de grano a pesar de tener valores negativos de ACE, debido a los altos valores de ACG de las líneas progenitoras.

Las mejores cruza fueron las formadas por líneas de origen UAAAN-UL con las líneas superiores de origen CIMMYT. Los rendimientos de mazorca y de grano correlacionaron positivamente con todos los componentes del rendimiento, en particular con diámetro y número de hileras en la mazorca.

### BIBLIOGRAFÍA

- Andrade F H, L Echarte, R Rizzalli, A Della Maggiora, M Casanovas (2002) Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42:1173-1179.
- Antuna G O, F Rincón S, E Gutiérrez del R, N A Ruiz T, L Bustamante G (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:11-17.
- Betrán F J, J M Ribaut, D Beck, D González de León (2003) Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 43:797-806.
- Borlaug N E (1999) How to feed the 21st century? The answer is science and technology. In: The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. J G Coors, S Pandey (eds). CIMMYT. pp:509-519.
- Borrás L, M E Otegui (2001) Maize kernel weight response to post flowering source-sink ratio. *Crop Sci.* 49:1816-1822.
- 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.
- CIMMYT (1999) Maize Inbred Lines Released by CIMMYT. A compilation of 424 CIMMYT maize lines (CMLs) CML1- CML424. First draft.
- De la Cruz L E, E Gutiérrez del R, A Palomo G, S Rodríguez H (2003) Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en La Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:279-284.
- De la Cruz L E, S Rodríguez H, M A Estrada B, J D Mendoza P (2005) Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. *Univ. y Ciencia* 21:19-26.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación de rendimiento y componentes de rendimiento en maíz. Torreón, Coahuila, 2004.

	RMZ	RG	DMZ	DOL	LMZ	MHMZ	NGH	PMG
RMZ	-	0.97**	0.71**	0.51**	0.39**	0.52**	0.45**	0.32**
RG			0.65**	0.41**	0.37**	0.57**	0.44**	0.31**
DMZ				0.79**	0.01 ns	0.53**	0.01 ns	0.38**
DOL					-0.06 ns	0.47**	0.00 ns	0.21*
LMZ						0.01 ns	0.74**	0.06 ns
NHMZ							0.08 ns	-0.11 ns
NGH								-0.15 ns
PMG								

\*( $P \leq 0.05$ ); \*\* ( $P \leq 0.01$ ); ns = No significativo.



- 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.) Agron. Mesoam. 11:113-122.
- Duvick D N (1992) Genetic contribution to advances in yield of U S A maize. Maydica 37:69-79.
- Duvick D N (1999) Heterosis: Feeding people and protecting natural resources. In: The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. J G Coors, S Pandey (eds). CIMMYT. pp:19-29.
- Duvick D N, Cassman K G (1999) Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. Crop Sci. 39:1622-1630.
- Echarte L, F H Andrade, C R C Vega, M Tollenaar (2004) Kernel number determination in Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. Crop Sci. 44:1654-1661.
- Griffing B (1956) A generalized treatment of diallel crosses in quantitative inheritance. Heredity 10:31-50.
- Gutiérrez del R E, A Palomo G, A Espinoza B, E De la Cruz L (2002) Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en La Comarca Lagunera, México. Rev. Fitotec. Mex. 25:271-277.
- Kang S M, Kushairi D A, Zhang Y, Magari R (1999) Combining ability for rind puncture resistance in maize. Crop Sci. 39: 368-371.
- Luna F M, R Gutiérrez S (1993) Efectos de la selección familiar sobre la floración y componentes de rendimiento en maíz. Rev. Fitotec. Mex. 16:151-160.
- Malacarne M F, F M San Vicente G (2003) Patrones heteróticos de líneas tropicales blancas de maíz. Agron. Trop. 53:32-40.
- Márquez S F (1991) Genotecnica Vegetal. Tomo III. 1a ed. AGT Editor, México. pp:7-20.
- Moreno P E del C, D Lewis B, T Cervantes S, J L Torres F (2002) Aptitud combinatoria de líneas de maíz de Valles Altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno. Rev. Fitotec. Mex. 25:253-259.
- Moreno-Gonzalez J, Martinez I, Brichette I, Lopez A, Castro P (2000) Breeding potential of European flint and U. S. Corn Belt dent maize populations for forage use. Crop Sci. 40: 1588-1595.
- 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. Pec. Méx. 41:63-74.
- Ramírez D J L, J Ron P, J B Maya L, O Cota A (1995) H-357 y H-358 híbridos de maíz de cruce simple para la zona subtropical y tropical de México. Folleto Técnico Núm. 4, Campo Experimental Centro de Jalisco, CIPAC, INIFAP, Tlajomulco, Jalisco, México.
- Reta S D G, A Gaytán M, J S Carrillo A (1998) Respuesta del maíz a densidades de población y métodos de siembra. I. Rendimiento y sus componentes. Ciencia Agropec. FAUNAL 8:11-16.
- Reyes L D, J D Molina G, M A Oropeza R, E del C Moreno P (2004) Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. Rev. Fitotec. Mex. 27:49-56.
- Russell W A (1991) Genetic improvement of maize yield. Adv. Agron. 46: 245-298.
- SAGARPA (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. ([www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comfichados.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comfichados.html); 14 noviembre, 2005).
- Sierra M, F Márquez, R Valdivia, O Cano, F A Rodríguez (2000) Aptitud combinatoria general y específica de líneas tropicales de maíz usando probadores. Agron. Mesoam. 11:103-112.
- Soengas P, Ordás B, Malvar R A, Revilla P, Ordás A (2003) Heterotic patterns among flint maize populations. Crop Sci. 43:844-849.
- Sprague G F, L A Tatum (1942) General versus specific combining ability in single crosses of corn. J. Amer. Soc. Agron. 34:923-932.
- Tollenaar M, J Wu (1999) Yield improvement in temperate maize is attributable to great stress tolerance. Crop Sci. 39:1597-1604.