

OBTENCIÓN DE HÍBRIDOS DE MAÍZ PARA GRANO EN LA COMARCA LAGUNERA Y AGUASCALIENTES, MÉXICO

Obtaining of corn hybrids for grain in the Comarca Lagunera and Aguascalientes, Mexico

Miguel Ángel Gallegos-Robles, José Luis García-Hernández, *J. Guadalupe Luna-Ortega, José Dimas López Martínez, Ignacio Orona-Castillo, Enrique Salazar-Sosa, Anselmo González-Torres

Universidad Juárez del Estado de Durango, Constitución No. 404 Sur, Col. Centro. Durango, Dgo., México.
*lupe_lunao@yahoo.com.mx

Artículo científico recibido: 22 de enero de 2013, **aceptado:** 9 de marzo de 2015

RESUMEN El objetivo del presente estudio fue determinar la aptitud combinatoria, la heterosis e indentificar las mejores cruza simples de maíz. En el 2006, se formaron 144 cruza simples provenientes de la cruza entre 24 líneas endogámicas, de las cuales 12 se utilizaron como hembras y 12 como machos. Las cuales se evaluaron bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, en el ciclo P-V en el 2007 en Torreón, Coahuila y en el ejido El Niágara en Aguascalientes, México. Las variables evaluadas fueron rendimiento de grano, sus componentes y la floración masculina, los análisis se realizaron con el diseño de apareamiento genético de Carolina del Norte II. Los progenitores machos L-AN 447 y LB-40 y, las hembras CML-313 y CML-278 formaron los híbridos con mayor rendimiento de grano, presentando los más altos efectos de ACG las líneas L-AN 44, CML-264 (machos), CML-313, CML-273 y CML-321 (hembras). La mayor aptitud combinatoria específica para rendimiento de grano se observo en las cruza L-AN 360PV x CML-311, LB-40 x BANDA, L-AN 447 x CML-278, LB-39 x CML-314, CML-319 x CML-273 y CML-264 x CML-321. En tanto que las cruza L-AN 360 PV x CML-311 y LB-40 x BANDA tuvieron heterosis del 21 %.

Palabras clave: *Zea mays*, ACG, ACE, vigor híbrido

ABSTRACT The objective of this study was to determine the combining ability, heterosis, and best single crosses of corn. In 2006, 144 single-crosses were formed by the inter-crossing of 24 inbred lines. Of these, 12 lines were used as females and 12 as males. The lines were evaluated using a random block design with two replications, in the S-S cycle in 2007 in Torreon, Coahuila, and in the El Niagara Ejido in Aguascalientes, Mexico. The variables evaluated were grain yield, its components and male plants flowering. Analyses were performed using the North Carolina II genetic mating design. Male progenitors L-AN 447 y LB-40 and female progenitors CML-313 y CML-278 formed hybrids with greater grain yield, with lines L-AN 44, CML-264 (males), CML-313, CML-273 and CML-321 (females) displaying the highest GCA effects. The highest specific combining ability for grain yield was observed in crosses L-AN 360PV x CML-311, LB-40 x BANDA, L-AN 447 x CML-278, LB-39 x CML-314, CML-319 x CML-273 and CML-264 x CML-321, while crosses L-AN 360 PV x CML-311 and LB-40 x BANDA had a heterosis of 21 %.

Key words: *Zea mays*, GCA, SCA, hybrid vigor

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) constituye el alimento básico de millones de personas a nivel mundial; se emplea como materia prima en la industria (Prasanna 2012), del que se obtiene una amplia gama de productos (Paliwal 2001). Del 2014 al

2015 la producción mundial de maíz será de 990.69 millones de toneladas, de las cuales los Estados Unidos producirá 37.1 %, China 22.0 %, Brasil 7.5 %, la Comunidad Europea 7.1 %, Argentina 2.3 % y México 2.2 % (USDA 2014). En México la mayor producción se obtendrá en los estados de Sinaloa (16.52 %), Jalisco (14.66 %), Michoacán

(8.2 %), Estado de México (7.1 %), Chiapas (6.4 %) y Guerrero (6.0 %), en los cuales se tiene un rendimiento promedio de 3.2 t ha⁻¹ (SIAP 2012).

El mejoramiento genético del maíz se enfoca en la generación de híbridos de amplia adaptabilidad, que presentan alta heterosis (Jara-dat *et al.* 2010). Término que se refiere al mayor vigor, tamaño, fructificación, velocidad de desarrollo, resistencia a plagas y enfermedades, o al estrés climático de cualquier clase, manifestado en las cruzas al compararse con sus progenitores (Shull 1952). Para tener éxito en la formación de híbridos, es importante considerar, no solo los efectos del genotipo y el ambiente, sino también las interacciones del genotipo con el ambiente (Márquez 1988), lo cual puede afectar la eficacia de la selección por problemas de adaptación (Lozano-del Río *et al.* 2009). Es necesario implementar programas a corto plazo para la formación y producción de híbridos de maíz que cumplan con las expectativas de producción y adaptación para el norte de México.

Los métodos de cruzamiento controlados, como los dialélicos de Griffing (Griffing 1956) y el diseño de apareamiento de Carolina del Norte II (Comstock y Robinson 1952) son eficientes para la identificación de cruzas y padres superiores. El diseño de Carolina del Norte II es de apareamiento factorial donde cada miembro de un grupo de machos se aparea con cada miembro del grupo de las hembras, además de que es útil para la estimación de la variación genética, la aptitud combinatoria y el grado de dominancia (Stuber 1980). En este diseño, el cuadrado medio para machos y el de hembras proporcionan estimaciones directas de la ACG para machos y hembras, respectivamente, mientras que la interacción macho x hembra es una estimación de la ACE (Hallauer y Miranda, 1988). Con base en lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar y determinar la heterosis de cruzas simples de maíz para grano por medio del diseño de Carolina del Norte II.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Comarca Lagunera se localiza entre los

24° 22' de LN y los 102° 22' de LO, altitud de 1 120 msnm, con clima árido y lluvias deficientes en todas las estaciones. La temperatura promedio fluctúa entre 18 y 22 °C, con máximas y mínimas de 48 °C y -8 °C. Mientras que el Ejido Niágara se localiza en el estado de Aguascalientes en la región occidental de la Altiplanicie Mexicana, entre los 21° 53' de LN y 102° 18' de LO, con altitud de 1 870 msnm, con clima semiárido templado y temperatura media anual de 17 °C (INEGI 2008).

Material genético utilizado

Se evaluaron 24 líneas endogámicas con un nivel de endogamia variable entre S7 y S9 (Tabla 1), de las cuales 14 provienen del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), tres del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y siete del programa de mejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna (UAAAN-UL). De las 24 líneas 12 se usaron como macho y las otras 12 como hembras, lo que generó 144 cruzas posibles; que se formaron en el ciclo primavera-verano 2006, en el campo experimental de la UAAAN-UL.

Diseño experimental y manejo del cultivo

Las cruzas y el testigo híbrido AN-447 se evaluaron bajo un diseño experimental de bloques al azar, con dos repeticiones en tres ambientes o localidades. Las siembras se realizaron el 18 de marzo y el 21 de junio de 2007, en el campo experimental de la UAAAN-UL. Mientras que en el ejido El Niágara la siembra se realizó el 24 de mayo del mismo año. La parcela útil fue de dos surcos de 2 m de largo y 0.70 m de ancho, con seis plantas por metro lineal, para tener una población aproximada de 85 000 plantas ha⁻¹, el riego se aplicó con cintilla en los tres experimentos, regando dos veces por semana con láminas de 2 a 3 cm.

De acuerdo con los resultados de los análisis químicos de suelo en cada localidad, se aplicó nitrógeno y fósforo para ajustar a 200 unidades de N y 90 unidades de P. La fertilización se aplicó en dos etapas, 50 % de nitrógeno y el total de fósforo al

Tabla 1. Descripción y origen de las líneas participantes como progenitores en la formación de los híbridos simples.

Table 1. Description and origin of lines participating as progenitors in the formation of single hybrids.

Padres	Clave	Descripción de las líneas
M1	L-AN 123 R	Línea derivada de una variedad criolla del municipio de Concepción, Jalisco con precocidad y tolerancia a sequía.
M2	L-AN 447	Línea de 8 autofecundaciones, derivada de generaciones avanzadas del Híbrido AN-447 con características de amplia adaptabilidad.
M3	L-AN 360 PV	Línea obtenida de la población enana Pancho Villa, vigorosa y con hojas anchas.
M4	L-AN 130	Proviene de la F4 del híbrido H-507 cruzada con la población Celaya-2.
M5	L-AN 123	Obtenida de forma divergente y contrastada de una variedad criolla del estado de Jalisco, de hojas pálidas y onduladas.
M6	L-AN 388P	Línea enana, con hojas anchas y succulentas generada a partir de la F3 del híbrido AN-388.
M7	L B-32	Identificada con la genealogía H-353-245-6-10.
M8	L B-39	Identificada con la clave INIFAP-B39.
M9	L B-40	Identificada con la clave INIFAP-B40.
M10	CML-319	CIMMYT RecyW89(Cr.Arg/CIM.ShPINPH)6-3-2-4-B-B.
M11	CML-264	Pob21 CIMMYT, POB21C5F219-3-1-B- 8-1-3-BBB-f.
M12	CML-316	CIMMYT, Pob500P500c0F114-1-1-B*3.
H13	CML-254	Pob21 CIMMYT, TUXSEQ-149-2-BBB-1-BB-F.
H14	CML-313	CIMMYT, Pob501c0F6-3-3-2-1-B-B.
H15	CML-273	Pob43 CIMMYT, (ACT643*43F7)-2-3-2-1-bb-F.
H16	CML-247	Pool24 CIMMYT, (G24F119*G24F54)-6-4-1-1-BB-f.
H17	CML-271	Pob29 CIMMYT, pob29stec1hc25-6-4-1-BBB-F.
H18	CML-311	CIMMYT, Pob500S89500 F2-2-2-2-B*5
H19	CML-278	Pob43 CIMMYT, DMANTES8043-53-1-1-b-1-BB-f.
H20	CML-315	CIMMYT, Pob500P500c0F246-4-1-2-2-B*3
H21	CML-318	Recy W87[B810(66)S3/G24S2]-B-8-1-1-3-B*4.
H22	CML-321	Pop 502 P502c0F1-1-3-1-B*4.
H23	CML-314	Pop 600P600COF14-2-1-2-B*4
H24	Banda	L59 proveniente de la Pob59 del CIMMYT

Las líneas de la M1 a M6 y H24 pertenecen a la UAAAN-UL, las líneas de M7 a M9 al INIFAP, y las líneas M10 a H23 al CIMMYT. Con M se señala a las líneas macho y H a las líneas hembra.

momento de la siembra, y el resto del nitrógeno a los 42 d después de la siembra. No se realizó la aplicación de potasio, debido a que no se requirió en ninguna de las dos localidades.

El control de malezas se realizó de forma manual, por medio de dos deshierbes antes de la escarda y tres después del aporcado del cultivo. Durante el desarrollo del cultivo se presentó el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y la pulga negra (*Chaetocnema pulicaria*), que se controlaron con la aplicación de Decis y Lorsban a dosis de 1.0 L ha⁻¹ para la primer y segunda plaga, respectivamente .

Variables evaluadas

Estas fueron: rendimiento de grano (RG), días a floración masculina (FM), número de gra-

nos por hilera (GHI), peso de 1000 granos (PMG), número de hileras (NOHI), largo de mazorca (LMZ), diámetro de mazorca (DMZ) y altura de mazorca (AMZ).

Análisis genético

Los datos se analizaron bajo el diseño II de apareamiento de Carolina del Norte (Comstock y Robinson 1948), cuyo modelo lineal es:

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

Donde, $i = 1, 2, \dots, m$ (machos); $j = 1, 2, \dots, h$ (hembras); $k = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones); Y_{ijk} = valor observado de la cruce 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; MH_{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 la aptitud combinatoria específica (ACE) para las cruzas, se realizó de acuerdo con Sprague y Tatum (1942):

$$g_i = \tilde{Y}_{i.} - \tilde{Y}_{..}$$

$$g_j = \tilde{Y}_{.j} - \tilde{Y}_{..}$$

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

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 $i \times j$ cruzas; $\tilde{Y}_{i.}$ y $\tilde{Y}_{.j}$ son las medias de los machos y las hembras, Y_{ij} es el valor de la craza $i \times j$ y $\tilde{Y}_{..}$ es la media de todas las $i \times j$ cruzas.

El porcentaje de heterosis de las cruzas se estimó con respecto al progenitor medio (h) y al progenitor superior (h') considerando el comportamiento de las características evaluadas de las cruzas y el comportamiento promedio de las líneas macho y hembra que intervienen en las cruzas, con las siguientes fórmulas:

$$h = \frac{F1 - P_m}{P_m} 100 \text{ y } h' = \frac{F1 - P_s}{P_s} 100$$

Donde, F1 = primera generación filial de la craza; P_m = progenitor medio $\frac{P_i + P_j}{2}$; P_s = progenitor superior. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS V 6.11 (SAS 1998).

RESULTADOS

El análisis de varianza (Tabla 2) detectó diferencias estadísticas entre localidades ($p < 0.01$) en todas las variables evaluadas, con excepción de la FM. Para la fuente de variación repeticiones dentro de localidades, las variables RG, NOHI, LM, DMZ y AMZ presentaron diferencias significativas ($p < 0.01$), lo que indica que las repeticiones entre las localidades

se comportaron de forma diferente. En las fuentes de variación tratamientos y machos, se encontró que todas las variables mostraron diferencias significativas ($p < 0.01$); mientras que para hembras sólo las variables RG y LMZ no fueron significativas. Para la interacción machos por hembras sólo se detectaron efectos significativos ($p < 0.01$) en las variables FM, PMG, NOHI y AMZ, con coeficientes de variación de entre 1.76 y 25.08 %.

Para seleccionar las 15 cruzas de mayor rendimiento de grano se consideró aquellas que superaron el rendimiento promedio del testigo de 10.00 t ha⁻¹, las 15 cruzas (Tabla 3) tuvieron rendimientos de entre 12.29 y 14.49 t ha⁻¹, siendo las cruzas L-AN 447 x CML-278, L-AN 447 x CML-313, LB-40 x BANDA, L-AN 360 PV x CML-311 y L-AN 447 x CML-271 las que tuvieron los mayores rendimientos. Sobresaliendo las cruzas L-AN 447 x CML-278 y L-AN 447 x CML-313 con valores significativos de número de GHI (44.4), LMZ (18.5 cm), DMZ (4.6 cm), AMZ (1.6m). Para NOHI y GHI la variación fue de 31.65 a 44.44 granos por hileras y de 13.74 a 16.21 hileras por mazorca. Mientras que el LMZ fue de 14.6 cm a 19.1 cm, presentando la craza L-AN 447 x CML-313 la mazorca de mayor largo. En tanto que el DMZ tuvo valores de 4.0 a 4.8 cm con excepción de las cruzas L-AN 360 PV x CML-311 y L-AN 123 x CML-311, todas las cruzas fueron estadísticamente iguales. Para la variable altura de la mazorca los valores oscilaron entre 1.23 y 1.63 m, presentando las cruzas L-AN 447 x CML-278 y LB-32 x CML-271 valores superiores al resto. Los mayores efectos de ACG para el RG se encontraron en las líneas macho L-AN 447 y CML-264 (Tabla 4). En la línea L-AN 447, influyeron en mayor proporción las variables RG, FM, GHI, PMG, NOHI y AMZ, en tanto que en la línea CML-264 el rendimiento parece estar determinado por las variables FM, PMG, LMZ y DMZ. Mientras que las líneas hembras CML-313, CML-273 y CML-321 tuvieron los mayores valores de ACG para RG, dentro de las cuales las líneas CML-313 y CML-273 presentaron altos valores de PMG.

En relación a los valores de ACE de las cruzas con los mayores rendimientos de grano (Tabla 5),

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza del diseño II de Carolina del Norte en tres Ambientes.

Table 2. Analysis of variance square means of the North Carolina II design in three environments.

F de V	GL	RG (t ⁻¹)	FM (d)	GHI	PMG (g)	NOHI	LMZ (cm)	DMZ (cm)	AMZ (m)
L	2	7.82**	0.06	1708.40**	1.66**	131.70**	0.10**	0.10**	1.12**
R(L)	2	0.09**	2.71	13.29	0.01	5.86**	0.01*	0.01**	0.41**
T	143	0.02**	33.92**	30.69**	0.01**	3.81**	0.01**	0.01**	0.11**
M	11	0.04**	80.74**	125.93**	0.01**	18.53**	0.01**	0.01**	0.59**
H	11	0.01	24.88**	43.59*	0.01**	7.05**	0.01*	0.01**	0.12**
MxH	121	0.01	30.36**	20.86	0.01**	2.14**	0.01	0.01	0.06**
Error	143	0.01	1.87	21.13	0.01	1.17	0.01	0.01	0.03
Media		10.98	77.38	37.45	0.25	14.86	17.00	4.40	1.33
C.V. %		25.08	1.76	12.27	20.25	7.27	20.40	10.80	13.77

RG=rendimiento de grano, FM=días a floración masculina, GHI=granos por hilera, PMG= peso de mil granos, NOHI=número de hileras por mazorca, LMZ= largo de mazorca, DMZ=diámetro de la mazorca, AMZ=altura de mazorca, CV=coeficiente de variación, *=p < 0.05, **=p < 0.01.

Tabla 3. Rendimiento y sus componentes de las líneas machos y hembras en promedio de cruza de dos localidades y tres ambientes.

Table 3. Yield and its components of male and females lines in terms of average crosses of two localities and three environments.

CRUZA	RG (t ⁻¹)	FM (d)	GHI	PMG (g)	NOHI	LMZ (cm)	DMZ (cm)	AMZ (m)
L-AN 447 x CML-278	14.49	79.00	44.44	290	14.77	18.50	4.60	1.63
L-AN 447 x CML-313	13.85	80.00	40.33	300	14.00	19.10	4.80	1.23
L-AN 447 x CML-271	13.03	79.00	38.10	258	15.20	18.00	4.60	1.48
L-AN 360 PV x CML-311	13.20	78.00	36.82	226	15.16	16.30	4.30	1.28
L-AN 447 x CML-315	12.76	79.00	40.59	263	14.32	17.80	4.50	1.37
L-AN 388P x CML-271	12.51	79.50	38.83	286	16.21	17.80	4.60	1.26
L-AN 123 x CML-311	12.34	78.00	40.99	208	14.99	17.00	4.00	1.36
L B-32 x CML-313	12.41	80.00	36.88	331	14.88	14.60	4.00	1.54
L B-32 x Banda	12.34	79.50	36.15	291	15.65	16.50	4.80	1.36
L B-32 x CML-271	12.29	80.00	34.94	286	14.99	15.80	4.50	1.60
L B-40 x Banda	13.48	78.50	35.93	310	15.33	17.10	4.80	1.39
L B-40 x CML-313	12.86	78.00	38.94	271	15.43	19.10	4.50	1.36
L B-39 x CML-314	12.81	75.50	37.71	266	14.94	16.50	4.60	1.33
CML-319 x CML-273	12.41	80.50	40.15	301	13.74	18.50	4.80	1.36
CML-264 x CML-321	12.59	81.50	31.65	298	14.54	18.30	4.60	1.40
DMS(0.05)	1.57	3.00	1.50	16.00	0.35	1.10	0.30	0.06

RG=rendimiento de grano, FM=días a floración masculina, GHI=granos por hilera, PMG= peso de mil granos, NOHI= número de hileras por mazorca, LMZ=largo de mazorca, DMZ=diámetro de la mazorca, AMZ=altura de mazorca. *= significativo al 0.05 %.

se observa que las cruza L-AN 360 PV x CML-311, LB-40 x BANDA, L-AN 447 x CML-278, LB-39x CML-314, CML-319 x CML-273 y CML-264x CML-321 tuvieron efectos positivos y significativos de ACE; con excepción de las cruza L-AN 447 x CML-278 y CML-264 x CML-321, el resto de las cruza provienen de dos progenitores con efectos negativos de ACG. En la cruza L-AN 447 x CML-

278 el potencial de rendimiento estuvo influenciado por valores positivos y significativos de las variables GHI y PMG, mientras que en la cruza CML-319 x CML-273 los mayores efectos de ACG los tuvieron las variables GHI, PMG y LMZ.

El porcentaje de heterosis con relación al progenitor medio y al superior se presenta en la Tabla 6, en la que se observa que los mayores valores de

Tabla 4. Valores estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas de maíz usados como machos y hembras, en dos localidades y tres ambientes.

Table 4. General Combining Ability Values (GCA) of Corn Lines used as males and females in two locations and three environments.

	RG (t ⁻¹)	FM (d)	GHI	PMG (g)	NOHI	LMZ (cm)	DMZ (cm)	AMZ (m)
Machos								
L-AN 123 R	148	-2.08	0.78	-0.01	0.33	0.01	0.01	-0.12
L-AN 447	1 408	0.82	1.87	0.01	0.16	0.01	0.01	0.11
L-AN 360 PV	-1 185	-0.98	-1.29	-0.02	0.65	-0.01	0.01	-0.09
L-AN 130	-271	-0.38	0.08	60.00	-0.46	-0.01	0.01	0.01
L-AN 123	-247	-0.78	2.14	-0.01	0.16	0.01	-0.01	-0.03
L-AN 388P	6 222	0.72	-0.40	-0.01	0.66	0.01	0.01	-0.12
L B-32	-49	-0.48	-1.73	0.01	-0.18	-0.01	0.01	0.13
L B-39	-148	1.42	0.89	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.04
L B-40	-99	-0.48	0.43	0.01	-0.37	0.01	-0.01	0.11
CML-319	198	0.02	-0.08	0.02	-1.06	0.01	-0.01	-0.07
CML-264	247	1.62	-0.57	0.02	-0.42	0.01	0.01	-0.03
CML-316	-99	0.12	-2.11	0.01	0.54	-0.01	0.01	0.07
Hembras								
CML-254 -	494	-0.18	-1.36	-0.01	-0.61	-0.01	-0.01	-0.02
CML-313	395	0.22	0.84	0.02	0.01	0.01	0.01	-0.05
CML-273	420	0.62	0.07	0.01	-0.02	0.01	0.01	0.02
CML-247	-346	0.32	0.37	-0.01	-0.24	0.01	0.01	0.02
CML-271	-123	0.22	-0.59	-0.01	0.21	-0.01	0.01	0.01
CML-311	-74	-0.88	60.46	-0.01	0.09	0.01	0.01	-0.02
CML-278	-197	0.82	1.36	-0.01	-0.20	-0.01	0.01	0.05
CML-315	-173	-0.58	0.15	-0.01	0.03	-0.01	-0.01	0.05
CML-318	222	-0.98	0.36	-0.01	0.02	0.01	0.01	0.04
CML-321	469	0.22	0.03	0.01	-0.11	0.01	0.01	0.00
CML-314	-173	-1.08	-0.75	-0.01	0.07	-0.01	0.01	-0.08
Banda	173	-0.18	-0.92	0.01	0.74	-0.01	0.01	-0.02

RG=rendimiento de grano, FM=días a floración masculina, AMZ=altura de mazorca, DMZ=diámetro de la mazorca, LMZ=largo de mazorca, NOHI=número de hileras por mazorca, GHI=número de granos por hilera, PMG=Peso de mil granos.

heterosis para RG con respecto al progenitor medio fueron de 22.00 (LB-40 x BANDA) a 27.5 % (L-AN 360 PV x CML-311). Mientras que las cruzas L-AN 360 PV x CML-311 y LB-40 x BANDA mostraron los mayores valores de heterosis con respecto al progenitor superior con heterosis del 21 %.

DISCUSIÓN

Las diferencias estadísticas para la fuente de variación localidades en el análisis de varianza, se debe a los ambientes contrastantes de evaluación y a la diversidad del material genético utilizado, como lo indican De La Rosa *et al.* (2000), Antuna *et al.*

(2003), De La Cruz *et al.* (2003) y Guillen-de la Cruz *et al.* (2009). Mientras que las diferencias entre las cruzas se puede deber al origen contrastante de las líneas, ya que por lo general los mejores híbridos se obtienen cuando los progenitores provienen de progenitores contrastantes (De León *et al.* 2006). Al respecto Vergara *et al.* (2005), De León *et al.* (2006) y Palemón *et al.* (2011) indican que en las cruzas de mayor rendimiento provienen de progenitores de diferente origen genético.

Los machos L-AN 447 y L-AN 360 PV, intervinieron en la formación de cuatro de las 15 cruzas de mayor rendimiento de grano, lo cual se puede deber a sus altos valores de ACG. Al respecto Uddin *et*

Tabla 5. Aptitud combinatoria específica (ACE) en cruzas de maíz.

Table 5. Specific combinatorial suitability (SCA) in corn crosses.

M X H	RG	FM	GHI	PMG	NOHI	LMZ	DMZ	AMZ
L-AN 360 PV x CML-311	3.45*	2.00*	0.20	0.01	-0.44	-8 x10 ⁻³	0.01	1.37
L B-39 x CML-314	2.39*	2.00*	-1.03	0.05*	1.10*	-13 x10 ⁻³	0.01	1.28
L-AN 447 x CML-278	2.27*	0.00	3.76*	0.03*	-0.05	9 x10 ⁻³ *	0.01	1.52*
L B-40 x Banda	2.12*	-2.00	0.12	2x10 ⁻³	0.02	-1 x10 ⁻³	0.01	1.29
CML-264 x CML-321	1.82*	-1.00	-0.73	0.03*	0.12	5 x10 ⁻³	0.01	1.34
CML-319 x CML-273	1.80*	0.00	2.32*	0.05*	0.19*	15x10 ⁻³ *	0.01	1.32
L-AN 447 x CML-315	1.65	62.00*	0.94	-0.02	-0.12	-19 x10 ⁻³	0.02	1.39*
L B-40 x CML-313	1.55	1.00	0.93	0.22	-0.48	-3 x10 ⁻³	0.01	1.25
L B-32 x CML-271	1.45	2.00*	1.62*	0.02*	0.08	1x10 ⁻⁴	0.01	1.41*
L-AN 123 x CML-311	1.45	3.00*	-0.19	1 x10 ⁻³	0.10	-6 x10 ⁻³	0.01	1.47*
L-AN 388P x CML-271	1.40	2.00	2.37*	0.03*	0.48*	5 x10 ⁻³ *	0.01	1.38
L B-32 x CML-313	1.35	0.00	-0.43	0.02	0.62*	4 x10 ⁻³ *	0.01	1.46*
L-AN 447 x CML-313	1.26	-2.00	0.78	7 x10 ⁻³	0.10	1 x10 ⁻³	0.01	1.25
L B-32 x Banda	1.20	2.00*	1.35	0.01	1.23*	3 x10 ⁻³ *	0.01	1.23
L-AN 447 x CML-271	1.06	3.00*	1.56*	0.01	0.17	-1 x10 ⁻³	0.01	1.30

RG=rendimiento de grano, FM=días a floración masculina, GHI=granos por hilera, PMG=peso de mil granos, NOHI=número de hileras por mazorca, LMZ=largo de mazorca, DMZ=diámetro de la mazorca, AMZ=altura de mazorca. *= (p < 0.05).

al. (2008) encontraron que líneas con buenos efectos de ACG formaron cruzas con alto rendimiento de grano, mientras que De La Cruz *et al.* (2003) y Guillen-de la Cruz *et al.* (2009) mencionan que en algunas de las mejores cruzas intervienen progenitores con efectos positivos y negativos de ACG, como sucedió en las cruzas L-AN 447 x CML-278, L-AN 447 x CML-271 y L B-40 x Banda; esto puede indicar que tanto la acción de los genes aditivos como los no aditivos son importantes en ciertas combinaciones híbridas para formar cruzas con buena ACG (Aliu *et al.* 2008).

Las heterosis encontrada indica que se tienen cruzas con niveles deseables de heterosis para RG y PMG; en tanto que en las otras variables se encontraron valores de heterosis bajos tanto positivos como negativos, lo que puede indicar que la heterosis para estas variables no es de importancia, ya que se encuentran por debajo del 20 %, que es el mínimo recomendado por Gutiérrez *et al.* (2002).

Presentando valores superiores al mínimo recomendado, sólo las cruzas L-AN 360 PV x CML-311 y LB-40 x BANDA.

CONCLUSIONES

Se identificaron como líneas sobresalientes, las líneas macho L-AN 447, L-AN 360 PV y CML-264, y líneas hembras CML-313, CML-273 y CML-321, las cuales generaron combinaciones híbridas con los mayores rendimientos de grano que superaron el rendimiento del testigo 34 % en promedio, lo cual es aceptable e indica que están adaptados a las condiciones de las localidades donde se realizó el experimento, por lo que será importante darle seguimiento a las líneas involucradas probándolas en la generación de otras combinaciones híbridas para conocer con mayor certeza sus efectos de aptitud combinatoria específica y general.

Tabla 6. Porcentaje (%) de heterosis de las 15 cruza de mayor rendimiento de grano con respecto al progenitor medio (h) y progenitor superior (h').
Table 6. Percentage (%) of heterosis of the 15 crosses with the highest grain yield in regards to average progenitor (h) and higher progenitor (h').

Cruza	RG		FM		GHI		PMG		NOHI		LMZ		DMZ		AMZ	
	H	h'	H	h'	h	h'	h	h'	h	h'	h	h'	h	h'	h	h'
L-AN 447 x CML-278	25.00	17.00	1.00	1.00	-1.00	-2.00	8.80	5.10	2.20	0.00	16.00	13.20	15.00	14.00	14.00	10.00
L-AN 447 x CML-313	17.00	12.00	2.70	2.00	-6.00	-6.00	8.50	8.50	4.30	0.00	-10.00	-15.00	5.40	5.40	11.00	9.00
L-AN 447 x CML-271	12.10	5.10	1.40	1.00	1.30	1.30	5.80	2.20	2.20	0.00	6.40	2.70	1.60	-2.00	0.30	-2.00
L-AN 360 PV x CML-311	27.50	21.00	2.00	2.00	-1.00	-2.00	-4.00	-7.00	-2.00	-2.00	0.80	-2.30	-2.00	-3.00	-6.00	-10.00
L-AN 447 x CML-315	10.10	3.00	1.90	1.00	-4.00	-5.00	3.40	1.10	2.20	-2.00	-3.00	-5.00	7.00	6.00	3.00	-3.00
L-AN 388 P x CML-271	14.00	12.00	2.10	2.00	0.50	6.50	6.50	4.70	4.50	4.50	-7.00	-5.90	4.00	2.00	15.00	15.00
L-AN 123 x CML-311	14.00	13.10	1.90	2.00	0.00	-5.00	-5.00	-7.00	-7.00	-9.00	4.60	3.80	10.00	8.00	-12.00	-13.00
L B-32 x CML-313	11.00	9.10	3.60	3.00	0.60	0.00	-13.00	-17.00	2.20	0.00	12.00	5.40	-4.00	-5.00	22.00	20.00
L B-32 x Banda	12.00	11.00	3.20	3.00	3.30	0.00	-1.00	-1.00	6.60	4.30	-1.00	-6.80	-6.00	7.00	11.00	8.10
L B-32 x CML-271	13.00	12.40	3.60	3.00	0.00	-6.00	-3.00	-4.00	2.20	2.20	14.00	9.50	-8.00	-10.00	10.00	6.30
L B-40 x Banda	22.00	21.00	1.90	2.00	-1.00	-4.00	-3.00	-9.00	9.00	4.30	1.40	-3.40	-3.00	-5.00	22.00	21.00
L B-40 x CML-313	16.00	13.00	1.00	1.00	62.60	-1.00	5.50	2.10	2.20	0.00	0.00	-5.50	2.30	1.80	2.60	-1.00
L B-39 x CML-314	18.00	18.00	-3.00	-4.00	0.60	0.00	0.00	-1.00	7.00	4.50	1.50	-2.90	1.60	0.20	10.00	7.00
CML-319 x CML-273	10.00	9.00	3.60	3.00	-4.00	-7.00	5.70	2.70	9.00	7.00	4.60	0.70	7.20	6.90	11.00	11.00
CML-264 x CML-321	11.00	10.00	4.00	3.00	0.00	-1.00	5.70	4.50	4.50	0.00	6.80	5.20	-15.00	-16.00	12.00	10.00

RG=rendimiento de grano; FM=días a floración masculina; GHI=granos por hilera; PMG=peso de mil granos; NOHI=número de hileras por mazorca; LMZ=largo de mazorca; DMZ=diámetro de mazorca; AMZ=altura de la mazorca.

LITERATURA CITADA

- Aliu S, Fetahu Sh, Salillari A (2008) Estimation of heterosis and combining ability in maize (*Zea mays* L.) for ear weight (ew) using the diallel crossing method. *Latvian Journal of Agronomy* 11: 7-11.
- Antuna GO, Sánchez FR, del Río EG, Torres NAR, García LB (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicas y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 11-17.
- Comstock RE, Robinson HF (1948) The components of genetic variance in populations of biparental and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4: 254-266.
- Comstock RE, Robinson HF (1952) Estimation of average dominance of genes. In: Gowen, J. W., editor, *Heterosis*. Iowa State College Press, Amesterdam, Iowa, USA. pp: 494- 516.
- De la Cruz LE, Gutiérrez DRE, Palomo GA, Rodríguez HS (2003) Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 279-284.
- De León CH, De la Rosa-Loera A, Rincón Sánchez F, Martínez-Zambrano G (2006) Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a el bajío mexicano. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 247-254.
- De La Rosa A, De León H, Martínez G, Rincón F (2000) Heterosis, habilidad combinatoria y diversidad genética en híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana* 11: 113-122.
- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Science* 9: 463-493.
- Guillen-de la Cruz P, De la Cruz-Lázaro E, Castañón-Nájera G, Osorio-Osorio R, Brito-Manzano NP, Lozano-del Río A, López-Noverola U (2009) Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 101-107.
- Gutiérrez DRE, Palomo GA, Espinoza BA, De la Cruz LE (2002) Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 271-277.
- Hallauer AR, Miranda JB (1988) *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. 2 ed. Iowa State University Press, Amesterdam, Iowa, USA. 468p.
- INEGI (2008) Instituto Nacional de Geografía y Estadística. Atlas Nacional Interactivo de México. Estado de Coahuila. Estado de Aguascalientes. <http://www.inegi.org.mx>. Fecha de consulta 10 de abril del 2013.
- Jaradat AA, Goldstain W, Dashiell K (2010) Phenotypic structures and breeding value of open-pollinated corn varietal hybrids. *International Journal of Plant Breeding* 4: 37-46.
- Lozano-del Río AJ, Zamora-Villa VM, Ibarra-Jiménez L, Rodríguez-Herrera SA, De la Cruz-Lázaro E, de la Rosa-Ibarra M (2009) Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo ammi y potencial de producción de triticales forrajeros (*X Triticosecale* Wittm). *Universidad y Ciencia* 25: 81-92.
- Márquez SF (1988) *Genotécnia vegetal. Métodos y teoría*. II. AGT Editor, S. A. México. 660p.
- Palemón AF, Gómez MNO, Castillo GF, Ramírez VP, Molina GJD, Miranda-Colín S (2011) Cruzas intervarietales de maíz para la región semicálida de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 745-757.

- Paliwal RL, Granados G, Lafitte HR, Violic AD, Marathée JP (2001) El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Usos del maíz. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.htm>. Fecha de consulta 8 de septiembre de 2012.
- Prasanna BM (2012) Diversity in global maize germoplasm: Characterization and utilization. *Journal of Biosciences* 37: 843-855.
- SAS (Statistical Analysis System) (1988) User's Guide. Version 6.11. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.
- Shull GH (1952) Beginnings of the heterosis concept. In: Gowen JW (Ed.). *Heterosis*. Iowa State College Press. Ames, IA. pp: 14-48.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2012) SAGARPA. Cierre de la producción agrícola por estado. www.siap.gob.mx. Fecha de consulta 2 de febrero de 2015.
- Sprague GF, Tatum LA (1942) General versus specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of American Society of Agronomy* 34: 953-932.
- Stuber CW (1980) Mating designs, field nursery layout, and breeding records In: Fehr, W. R. and H. H. Hadley (ed.). *Hybridisation of crops plants*. Madison, Wisconsin. pp: 83-104.
- Uddin MS, Amiruzzaman M, Bagum SA, Hakim MA, Ali MR (2008) Combining ability and heterosis in maize (*Zea mays* L.). *Bangladesh Journal of Plant Breeding of Genetics* 21: 21-28
- USDA (United States Department of Agriculture) (2014). *World Agricultural Supply and Demand Estimates*. www.usda.gov. Fecha de consulta 22 de noviembre de 2014.
- Vergara AN, Rodríguez HSA, Córdova OHS (2005) Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea mays* L.) tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 16:137-143.