

APTITUD COMBINATORIA GENERAL Y ESPECÍFICA DE LÍNEAS DE MAÍZ (*Zea mays*) TROPICAL Y SUBTROPICAL¹

Narciso Vergara Avila², Sergio A. Rodríguez Herrera³, Hugo S. Córdova Orellana²

RESUMEN

Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea mays*) tropical y subtropical. Veinte líneas fueron cruzadas con seis líneas usadas como probadores, con el objetivo de examinar su aptitud combinatoria, general y específica, y determinar su utilización en un programa de hibridación. Las cruzas fueron evaluadas en tres localidades en México durante 1997. Estimaciones de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) fueron obtenidas usando un análisis de Línea x Probador. CML264 (1.586 kg/ha) y CML319 (1.285 kg/ha) tuvieron el mayor efecto de ACG en el grupo de líneas tropical y subtropical, respectivamente. El mayor efecto de ACE fueron para las cruzas CML322 x M.L.S4-1 (1.651 kg/ha) y CML258 x SSE255-18-19 (1.512 kg/ha). Estos resultados señalan que es posible estructurar un programa de híbridos utilizando las mejores líneas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y los mejores probadores de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Palabras clave: Líneas, probadores, ACG, ACE, híbridos.

ABSTRACT

General and specific combining ability of tropical and subtropical maize (*Zea mays*) lines. Twenty maize lines were crossed with six inbreds used as testers, with the objective of examining their general and specific combining ability and determine their usefulness in a hybridization program. The crosses were evaluated in three environments at Mexico during 1997. General combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) effects were calculated using a Line x Tester analysis. CML264 (1586 kg/ha) and CML319 (1285 kg/ha) were the highest GCA lines in the tropical and subtropical group, respectively. The highest SCA effects were for the crosses CML322 x M.L.S4-1 (1651 kg/ha) and CML258 x SSE255-18-19 (1512 kg/ha). These results indicate that it is possible to develop a hybrid program using the best lines released by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), and the best testers from UAAAN.

Key words: Lines, testers, GCA, SCA, hybrids.



INTRODUCCIÓN

Las cruzas dialélicas generalmente son utilizadas por los programas de mejoramiento de plantas para obtener información de aptitud combinatoria y parámetros genéticos de sus fuentes de germoplasma. Sin embargo, éstas han sido usadas y abusadas más extensivamente que otros, causando una controversia acerca de su utilidad (Hallauer y Miranda 1981).

Griffing (1956) estableció cuatro métodos de diseños dialélicos para estimar la aptitud combinatoria

general y específica de líneas, los cuales son adecuados cuando el número de progenitores es reducido, pero cuando este número se incrementa el procedimiento es más difícil. Para solucionar lo anterior, se propuso el método de mestizos, el cual utiliza una amplia base de genotipos usando un probador para determinar la habilidad combinatoria general de las líneas. Mientras que, el análisis de línea x probador, es una extensión del método anterior, en el cual varios probadores son utilizados, proporcionando información de aptitud combinatoria general y específica, y además estima varios tipos de efectos genéticos (Singh y Chaudhary 1985).

¹ Recibido: 10 de noviembre, 2004. Aceptado: 30 de agosto, 2005. Presentado en la XLVI Reunión Anual del PCCMCA. San Juan, Puerto Rico. 2000.

² Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Apdo. Postal 6-641, 06600 México D.F., México. E-mail: nvergara58@hotmail.com, hcordova@cgiar.org.

³ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Instituto Mexicano del Maíz, Buenavista 25315, Saltillo, Coah. México.: E-mail: serroh99@hotmail.com

La identificación de pares de líneas con comportamiento superior en rendimiento en combinaciones híbridas es una situación común en un programa de hibridación, en donde se deberá tener una serie de líneas disponibles las cuales se puedan cruzar con uno de los padres de una cruce simple élite con el propósito de aislar nuevas líneas a partir de generaciones segregantes, las cuales van a mejorar el comportamiento del híbrido original (Dudley 1984 y Dudley 1987).

En el programa de mejoramiento genético de maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se ha estado usando germoplasma introducido como una fuente principal de heterosis en cruces con el germoplasma local para obtener híbridos altamente productivos. El objetivo de este estudio es estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica de las líneas de CIMMYT, con el propósito de identificar las más sobresalientes y utilizarlas dentro del programa de mejoramiento genético de la UAAAN.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Veinte líneas élites con un nivel de endogamia de S_6 - S_{10} blancas, desarrolladas por el Centro Internacional

de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y seis líneas élites del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), fueron seleccionadas para realizar este estudio (Cuadro 1). Las 20 líneas fueron cruzadas en forma manual y apareada con las seis líneas usadas como probadores durante la época de siembra en Tepalcingo, Morelos, 1997. Se establecieron dos fechas de siembra para procurar efectuar todas las cruces posibles; sin embargo, no se pudo obtener semilla suficiente de 21 de las 120 posibles cruces. En la cosecha se juntaron las mazorcas provenientes de cada cruce, desgranándose por separado para posteriormente hacer una mezcla de semillas de ambas cruces con la finalidad de obtener suficiente semilla para representar cada cruce en particular.

Evaluación de experimentos

Ciento diecinueve cruces (116 cruces línea x probador, y tres cruces entre probadores) y dos testigos locales, fueron evaluadas bajo un diseño experimental láctice simple 11x11 con dos repeticiones, durante el verano de 1997, en Celaya, Guanajuato (1.754 msnm, 20° 31' latitud norte, 100° 49' longitud oeste); Tlalatzapan, Morelos (840 msnm, 18° 41' latitud norte, 99° 68' longitud oeste), y Cotaxtla, Veracruz (15 msnm, 18° 50' latitud norte, 96° 10' longitud oeste) (García 1988).

Cuadro 1. Descripción del material utilizado en este estudio. México, 1997.

Código	Germoplasma	Adaptación	Germoplasma	Adaptación
Líneas del (CIMMYT)				
CML247	Pool 24	Tropical	CML311	Población 500 Subtropical
CML254	Tuxpeño Sequía	Tropical	CML312	Población 500 Subtropical
CML258	Población 21	Tropical	CML313	Población 501 Subtropical
CML264	Población 21	Tropical	CML314	Población 600 Subtropical
CML271	Población 29	Tropical	CML315	Población 500 Subtropical
CML273	Población 43	Tropical	CML318	Población 87 Subtropical
CML275	Población 43	Tropical	CML319	Población 89 Subtropical
CML277	Población 43	Tropical	CML320	Población 501 Subtropical
CML278	Población 43	Tropical	CML322	Población 89 Subtropical
CML281	Población 43	Tropical	CML246	Población 800 V. Altos
Probadores del (IMM)				
AN1	AN1	Bajío		
AN2	AN2	Bajío		
SSE232	SSE232-33-30	Bajío		
SSE255	SSE255-18-19	Bajío		
SSE255	SSE255-18-19	Bajío		
M.L.S4-1	M.L.S4-1	Bajío		

CML = Líneas liberadas por CIMMYT.

La parcela experimental consistió de un surco de cinco metros de largo espaciados a 75 cm, con una distancia de siembra entre plantas de 25 cm, depositándose dos semillas por punto de siembra para posteriormente ralearse a una planta y así obtener una densidad de 53.333 plantas por hectárea. Se registraron datos de rendimiento de grano el cual fue ajustado al 15,5 % de humedad y 85 % de desgrane, así como otras características agronómicas importantes, como días a floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, acame de raíz y tallo, pudrición y cobertura de mazorca.

Análisis estadísticos

El comportamiento para rendimiento de las cruzas faltantes se predijo utilizando el método propuesto por Eckhardt (1951). Los valores estimados de rendimiento se promediaron junto con los rendimientos de las otras cruzas para obtener un estimador de ACG (aptitud combinatoria general) que fuera más confiable y preciso. Después de la predicción de las cruzas faltantes, en cada localidad se realizó un análisis de varianza con base en el modelo del diseño látice propuesto por Gómez y Gómez (1984), usando el paquete estadístico Alfa - Látice (Barreto *et al.* 1993). Los programas PROC GLM (SAS 1997) y PROC MIXED (Littell *et al.* 1996), fueron usados para calcular los componentes de varianza y las pruebas de *F* en el análisis de varianza combinado, donde ambientes y repeticiones fueron consideradas como efectos aleatorios y las cruzas como fijos. Los programas PROC MIXED y LSMEANS de SAS fueron usados para obtener las medias ajustadas de rendimiento de grano a través de repeticiones y ambientes.

Se realizó un análisis genético línea x probador para cada localidad y a través de localidades para rendimiento de grano usando el método descrito por Kempthorne (1957), lo cual permitió estimar los efectos de ACG y ACE para los progenitores y sus cruzas. Dichos efectos, fueron probados usando una prueba de *t*, utilizando sus valores de error estándar (Singh y Chaudhary 1985). Las pruebas de *F* para el análisis combinado (Línea x Probador), fueron calculadas de la siguiente manera: los efectos principales líneas y probadores fueron probadas contra sus respectivas interacciones con localidades, las demás interacciones fueron probadas contra la triple interacción y ésta a su vez fue probada contra el error experimental. Además, se construyó la estructura genética para rendimiento de grano de cada una de las 120 cruzas con base a los efectos de ACG y ACE, de acuerdo a la metodología descrita por Claure (1990), con el fin de observar si el alto rendimiento de ciertas cruzas se debe a: efectos aditivos ($gi+gj > Sij$); efectos no aditivos $Sij > (gi+gj)$ o a efectos aditivos más no aditivos ($gi+gj = Sij$).

Sobre la base del modelo ($Yij = u + gi + gj + Sij$)

Donde:

Yij = rendimiento promedio de una cruz en el que interviene el *ij*-ésimo progenitor.

u = valor medio del grupo de cruzas

gi = efecto de ACG del *i*-ésimo progenitor (Líneas)

gj = efecto de ACG del *j*-ésimo progenitor (Probadores)

Sij = efecto de ACE del *i*-ésimo progenitor con el *j*-ésimo probador.

Sobre la base de los efectos de ACG de las líneas, se procedió a la clasificación en valores altos, intermedio y bajo, mediante la agrupación de los valores de ACG > 1, ACG cercanos a 1, y ACG < 1, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias altamente significativas en todas las fuentes de variación en el análisis de varianza combinado para rendimiento de grano (Cuadro 2). Las diferencias observadas en localidades pueden ser atribuidas a las condiciones climáticas; Cotaxtla es una localidad de clima tropical de la costa del Golfo de México y se encuentra a nivel del mar; Tlaltizapan tiene clima subtropical con una altitud de 840 msnm, y Celaya está más distante de éstas a una altitud de 1.754 msnm y es considerada como Bajío. Las diferencias

Cuadro 2. Análisis de varianza combinado (línea x probador) para rendimiento de grano (kg/ha). México, 1997.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	F calculada
Localidad (Loc.)	2	2659602114,9	1.936,0 **
LC (ACG)	19	30856126,4	6,1 **
LN (ACG)	5	2832560,7	5,6 **
LC x LN (ACE)	95	5074887,3	2,2 **
LC (ACG) x Loc.	38	7966543,4	3,4 **
LN (ACG) x Loc.	10	21936303,2	9,3 **
LC x LN (ACE) x Loc.	190	2361707,1	1,7 **
Error	360	1373748,7	
Total	719		
DMS (0,05)		1.326,3	
C.V (%)		12,5	

*, ** Diferencias significativas a 0,05 y 0,01 % de probabilidad. LC = líneas de CIMMYT; LN = líneas de NARRO.

observadas en las líneas (LC) y probadores (LN), se deben a que provienen de diferente germoplasma y tienen diferente adaptación climática. En la interacción LC x LN, las diferencias encontradas indican que las líneas de CIMMYT clasifican a la ACE de las líneas de NARRO en forma diferente, y viceversa. Estos resultados eran de esperarse debido a que existen diferencias dentro de cada grupo coincidiendo con lo reportado por Hallauer (1990). Las diferencias en la interacción de líneas (LC) y probadores (LN) con localidades, indican que ambos grupos tuvieron un comportamiento diferente en cada una de las localidades de evaluación. Las diferencias en la triple interacción LC x LN x localidad, muestran que los materiales se comportaron de manera diferente de una localidad a otra.

Los estimadores de los efectos de ACG para ambos grupos de líneas en cada localidad y a través de localidades se muestran en el Cuadro 3. En el grupo de

Cuadro 3. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) por localidad y a través de localidades para rendimiento de grano (kg/ha) de los dos grupos de líneas evaluadas. México, 1997.

Línea	Celaya	Tlaltizapan	Cotaxtla	Combinado
CIMMYT				
CML247	-2166,6 *	-1134,8 *	-643,3 *	-1314,9 *
CML254	-690,9	-45,1	613,6*	-40,8
CML258	616,4	1036,4 *	1657,5 *	1103,4 *
CML264	2685,8 *	1154,2 *	918,5 *	1586,2 *
CML271	-1212,6 *	-748,8 *	291,4	-556,7
CML273	1822,1 *	130,3	268,0	740,1
CML275	-1849,5 *	-907,6 *	-524,1	-1093,8 *
CML277	321,4	379,5	1292,5 *	664,5
CML278	-632,0	60,5	-279,2	-283,6
CML281	1189,9 *	1112,2 *	1197,3 *	1166,5 *
CML311	281,4	-568,9 *	953,4 *	222,0
CML312	1210,0 *	1040,0 *	-95,3	718,2
CML313	-365,8	-403,2	1391,1 *	207,3
CML314	-52,7	213,3	139,2	99,9
CML315	-881,0 *	-258,3	-1198,4 *	-779,2
CML318	198,9	210,1	-2269,7 *	-620,2
CML319	1241,7 *	1031,5 *	1580,7 *	1284,6 *
CML320	-538,7	-113,3	-1702,5 *	-784,8
CML322	-1152,00 *	-814,6 *	-311,7	-759,4
CML246	-25,9	-1373,4 *	-3278,9 *	-1559,4*
Error estándar	438,7	235,1	280,4	458,6
NARRO				
AN1	-1877,8 *	-346,8 *	-50,2	-758,3
AN2	-227,3	-968,7 *	312,6 *	-294,5
SSE232-33-30	1116,9 *	595,7 *	-147,0	521,9
SSE255-18-19	-468,9 *	178,4	158,4	-44,1
SSE255-18-19	-14,0	277,4 *	2,6	88,7
M.L.S4-1	1471,1 *	264,0 *	-276,5	486,2
Error estándar	225,1	120,6	143,9	390,3

* Más grande que 2 x Error estándar.

líneas de CIMMYT (LC), 10 líneas tuvieron efectos de ACG positivos, y las mejores líneas tropicales con alto valor de ACG positivo y significativo fueron CML264 (1.586,2 kg/ha), CML281 (1.166,5 kg/ha) y CML258 (1.103,4 kg/ha), mientras que CML319 (1.284,6 kg/ha) y CML312 (718,2 kg/ha) fueron las únicas líneas subtropicales con alto valor de ACG. Por su parte en el grupo de líneas de NARRO (LN) SSE232-33-30 (522 kg/ha) y M.L.S4-1 (486,2 kg/ha) fueron las mejores líneas con el mayor efecto de ACG positivo.

De acuerdo a la clasificación de los efectos de ACG (Figura 1), las líneas CML264, CML281, CML258 y CML319 fueron consideradas como de alta ACG; mientras que CML273, CML277 y CML312 fueron clasificadas de intermedia ACG y el resto de las líneas fueron consideradas como de baja ACG. Varios investigadores Betrán *et al.* (1997), Vergara *et al.* (1997), han confirmado el potencial genético de estas líneas señalando su valor genético en combinaciones híbridas.

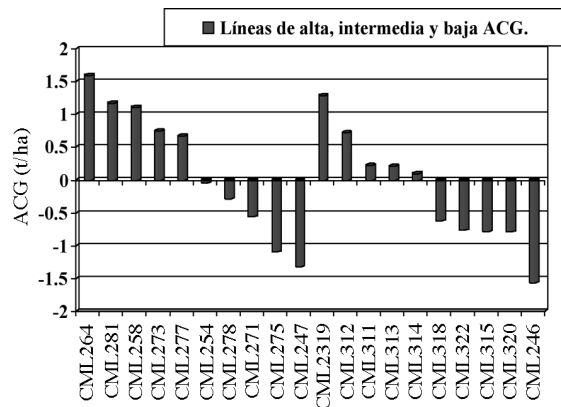


Figura 1. Clasificación de 10 líneas tropicales y 10 subtropicales de alta, intermedia y baja ACG. México, 1997.

Las cruces CML258 x SSE255-18-19 (1512,21 kg/ha) y CML278 x AN2 (1.318,6 kg/ha), CML247 x SSE232-33-30 (1.257,7 kg/ha), CML247 x AN2 (1.106,8 kg/ha) y CML275 x AN2 (1.105,2 kg/ha), que involucran líneas tropicales tuvieron altos valores de ACE. Mientras que en las cruces donde intervienen líneas subtropicales, CML322 x M.L.S4-1 (1.650,9 kg/ha), CML315 x AN2 (1.413 kg/ha), CML315 x M.L.S4-1 (1.301,1 kg/ha), CML320 x M.L.S4-1 (1.318,3 kg/ha) y CML318 x SSE255-18-19 (1.290,1 kg/ha) tuvieron alta ACE, destacándose CML247 y CML315 las cuales mostraron altos efectos de ACE con dos probadores, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) a través de localidades para rendimiento de grano (kg/ha) de 20 líneas y seis probadores. México, 1997.

	AN1	AN2	SSE232	SSE255	SSE255	M.L.S4-1
CML247	255,5	1.106,8	1.257,7*	-1000,5	-1.133,2*	-486,2
CML254	-373,9	1.074,8	1.170,2*	-626,1	-758,8	-486,2
CML258	-675,3	-440,5	-1.289,7*	1512,2*	1.379,5*	-486,2
CML264	758,3	-320,9	394,8	190,1	175,7	-1.197,9*
CML271	617,9	-641,6	-699,2	417,7	285,0	20,1
CML273	-305,1	-897,8	676,6	584,2	428,4	-486,2
CML275	-1.905,9*	1105,2	595,7	394,7	480,0	-669,8
CML277	845,4	-141,4	357,3	-785,2	-356,0	79,8
CML278	508,7	1318,6*	487,4	-1.046,4	-1.179,2*	-89,1
CML281	758,2	-779,4	255,0	-1.128,3*	14,5	880,1
CML311	578,6	-305,4	-399,0	306,9	174,1	-355,2
CML312	416,6	-1.717,4*	70,0	126,6	799,1	305,0
CML313	-578,6	938,8	651,4	-38,5	-54,4	-918,8
CML314	794,1	115,2	747,5	-586,7	-844,8	-225,3
CML315	-2.267,3*	1.413,3*	-521,9	103,7	-29,0	1.301,1*
CML318	758,3	-1.911,9*	-1.002,0	509,8	1.290,1*	355,8
CML319	758,3	311,2	-679,1	402,3	-1.209,5*	416,9
CML320	-1.104,1	292,8	-637,3	-321,2	451,4	1.318,3*
CML322	-900,8	-1343,3*	-332,7	525,0	401,0	1.650,9*
CML246	1.061,1	823,0	-1102,8	459,8	-313,9	-927,2
Error estándar	558,2					

* Más grande que 2 x Error estándar.

El valor más alto de ACE fue registrado por la cruce CML322 x M.L.S4-1 (1.650,9 kg/ha); sin embargo, obtuvo el lugar diecisiete para rendimiento de grano (10.758,3 kg/ha). Por su parte, la cruce CML258 x

SSE255-18-19 obtuvo el segundo lugar para ACE (1.512,2 kg/ha) y primer lugar para rendimiento de grano (11.952,2 kg/ha) (Cuadro 5). Se puede observar que en las mejores cinco cruces con valores altos de ACE,

Cuadro 5. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) para rendimiento (kg/ha), y su estructura genética de cinco cruces superiores y cinco inferiores a través de localidades. México, 1997.

Cruza	Rend (kg/ha)	Línea	Probador	gi+gj	ACE	†	‡
CML322 x M.L.S4-1	10.758,3	-759,4	486,2	-273,2	1.650,9	1	17
CML258 x SSE255-18-19	11.952,2	1.103,4	-44,1	1.059,3	1.512,2	2	1
CML315 x AN2	9.720,2	-779,2	-294,5	-1.073,7	1.413,3	3	50
CML278 x AN2	10.121,2	-283,6	-294,5	-578,6	1.318,6	4	37
CML320 x M.L.S4-1	10.400,3	-748,8	486,2	-262,9	1.318,3	5	29
CML322 x AN2	6.983,4	-759,4	-294,5	-1.053,9	-1.343,3	116	115
CML312 x AN2	8.087,0	718,2	-294,5	423,8	-1.717,4	117	104
CML275 x AN1	5.622,7	-1.093,8	-758,3	-1.852,0	-1.905,9	118	119
CML318 x AN2	6.554,0	-620,2	-294,5	-914,7	-1.911,9	119	118
CML315 x AN1	5.576,9	-779,2	-758,3	-1.537,5	-2.267,3	120	120
DMS (0,05)	1.323,3						

†= lugar ocupado según su valor de ACE.

‡= lugar ocupado según su valor de rendimiento.

Cuadro 6. Comportamiento promedio de cruzas con alto y bajo rendimiento (kg/ha), y su estructura genética a través de localidades. Verano, 1997 B. México, 1997.

Cruza	Rend. (kg/ha)	Línea	Probador	gi+gj	ACE	†	‡
CML258 x SSE255-18-19	11.952,2	1.103,4	-44,2	1.059,3	1.512,2	2	1
CML281 x M.L.S4-1	11.913,3	1.166,5	486,2	1.652,7	880,0	16	2
CML264 x SSE232-33-30	11.883,5	1.586,2	521,9	2.108,1	394,8	45	3
CML319 x M.L.S4-1	11.568,4	1.284,6	486,2	1.770,8	416,9	41	4
CML281 x SSE232-33-30	11.323,9	1.166,5	521,9	1.688,4	255,0	55	5
CML322 x AN1	6.962,1	-759,4	-758,3	-1.217,7	-900,8	102	116
CML320 x AN1	6.733,5	-784,8	-758,3	-1.543,1	-1.104,1	109	117
CML318 x AN2	6.554,0	-620,2	-294,5	-914,7	-1.911,9	119	118
CML275 x AN1	5.622,7	-1093,8	-758,3	-1.852,0	-1.905,9	118	119
CML315 x AN1	5.576,9	-779,2	-758,3	-1.537,5	-2.267,3	120	120
DMS (0.05)	1.323,3						

†= lugar ocupado según su valor de ACE

‡= lugar ocupado según su valor de rendimiento.

los efectos no aditivos fueron más importantes; con excepción de CML258 x SSE255-18-19, donde aparentemente ambos efectos aditivos y no aditivos fueron de igual importancia. Además en las cinco cruzas con los valores más bajos y negativos de ACE, ambos efectos aditivos y no aditivos fueron negativos.

Las cinco mejores cruzas tuvieron un rango de rendimiento de grano de 11.323,9 a 11.952,2 kg/ha, este alto rendimiento se debió a que los efectos aditivos fueron más importantes; excepto en la cruza CML258 x SSE255-18-19 donde los efectos no aditivos fueron más importantes (Cuadro 6). Por su parte, el bajo rendimiento de las cinco peores cruzas se debió a que ambos efectos aditivos y no aditivos fueron negativos.

CONCLUSIONES

Las líneas tropicales CML258, CML264, CML273, CML277, CML281 y subtropicales CML312 y CML319, mostraron los mejores efectos de ACG por lo que deberán ser consideradas como progenitores potenciales para formar híbridos con las líneas de la UAAAN. Las cruzas CML322 x M.L.S4-1 (1.651 kg/ha) y CML258 x SSE255-18-19 (1.512 kg/ha), tuvieron los mayores efectos de ACE.

Se observaron importantes combinaciones heteróticas entre las cruzas de las líneas de CIMMYT con las líneas del IMM usadas como probadores, las cuales pueden ser explotadas para el desarrollo de nuevos

híbridos en un tiempo corto. Con los resultados de este estudio es posible diseñar y estructurar un programa de híbridos en el IMM, para incorporar el germoplasma de CIMMYT.

LITERATURA CITADA

- BARRETO, H.; EDMEADES, G.; CHAPMAN, S.; CROSA, J. 1993. El diseño Alfa-Látice en fitomejoramiento y agronomía: generación y análisis. Síntesis de resultados experimentales del Programa Regional de Maíz (PRM) 4: 273-283.
- BETRÁN, F.; BECK, D.; EDMEADES, G.O.; RIBAUT, J.; BAZINGER, M.; SÁNCHEZ, C. 1997. Genetic analysis of abiotic stress tolerance in tropical maize hybrids. *In*: CIMMYT ed. Book of abstracts. The Genetic and Exploitation of Heterosis in Crops. An International Symposium. Mexico, D.F., Mexico. p. 28-29.
- CLAURE I., V. 1990. Aumento del potencial de rendimiento mediante alternancia de hibridación y selección en maíz (*Zea mays* L.). Tesis doctoral, Colegio de postgraduados. Montecillos, México. 136 p.
- DUDLEY, J. 1984. A method of identifying lines for use in improving parents of a single cross. *Crop Sci.* 24: 355-357.
- DUDLEY, J. 1987. Modification of methods for identifying inbred lines useful for improving parents of a elite single crosses. *Crop Sci.* 27:944-947.

- ECKHARDT, R. 1951. Predicting yields of missing single crosses of corn. *Agron. J.* 44: 215-216.
- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana) 4 ed. UNAM. Instituto de Geografía. México, 217 p.
- GÓMEZ A.; GÓMEZ, A.K. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2nd ed. Wiley. USA. 680 p.
- GRIFFING, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- HALLAUER, A.; MIRANDA, J. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press Ames, Iowa, USA. 468 p.
- HALLAUER, A. 1990. Methods used in developing maize inbreds. *Maydica* 35: 1-16.
- KEMPTHORNE, O. 1957. An introduction to genetics statistics. New York: Wiley, Inc. London. Chapman, Hall, Ltd. p. 468-471.
- LITTELL, R.; MILLIKEN, G.; STROUP, W.; WOLFINGER, R. 1996. SAS system for mixed models. SAS Institute., Cary, N.C. USA.
- SAS. 1997. Statistical analysis system. SAS / STAT User's Guide: release 6.11. SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA.
- SINGH, R.; CHAUDHARY, B. 1985. Biometrical techniques in genetics and breeding. International Bioscience Publishers Hissar. India. p. 205-214.
- VERGARA, A.; VASAL, S.; MCLEAN, S.; SRINIVASAN, G.; RODRÍGUEZ H. 1997. Heterosis and combining ability among long and short-ear maize inbred lines. *In*: CIMMYT ed. Book of abstracts. The Genetic and Exploitation of Heterosis in Crops. An International Symposium. Mexico, D.F., Mexico. p. 198-199.