

## Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical

### Heterosis and combining ability of tropical maize populations

De la Cruz-Lázaro E<sup>1</sup>, G Castañón-Najera<sup>2</sup>, NP Brito-Manzano<sup>1</sup>, A Gómez-Vázquez<sup>1</sup>,  
V Robledo-Torres<sup>3</sup>, AJ Lozano del Río<sup>3</sup>

**Resumen.** La estimación de parámetros genéticos en experimentos de cruas dialélicas ayuda en la toma de decisiones objetivas en los programas de mejoramiento genético. Los objetivos de la presente investigación fueron estimar la heterosis, la aptitud combinatoria general (ACG) de ocho poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) y la aptitud combinatoria específica (ACE) de 28 cruas directas. Las poblaciones evaluadas fueron: 21, 22, 23, 25, 32, 43, 49 y la variedad comercial VS 536. Para estimar los efectos de ACG y ACE se empleó el método 2 de efectos aleatorios del dialélico de Griffing, en un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones por fecha de siembra. El análisis dialélico indicó diferencias estadísticas ( $p \leq 0,01$  y  $p \leq 0,05$ ) en las fuentes de variación Fecha de siembra (FS), Cruas (C), ACG e interacciones FS  $\times$  C y FS  $\times$  ACE. Los mayores efectos significativos de ACG ( $p \leq 0,01$ ) para rendimiento de grano lo tuvieron las poblaciones 23 y 43, en tanto que para ACE, las cruas VS 536  $\times$  Pob 32, Pob 22  $\times$  Pob 43, Pob 25  $\times$  Pob 49 y Pob 43  $\times$  Pob 49 mostraron los mayores efectos. Se encontraron efectos positivos de heterosis con respecto al progenitor superior, sobresaliendo las cruas Pob 25  $\times$  Pob 49, Pob 43  $\times$  Pob 49 y Pob 22  $\times$  Pob 43. De acuerdo con estos resultados las poblaciones 23 y 43 tienen potencial para usarse en un programa de mejoramiento genético de maíz tropical.

**Palabras clave:** *Zea mays* L.; Aptitud combinatoria; Cruas dialélicas; Heterosis; Maíz tropical.

**Abstract.** Estimation of genetic parameters using diallel crosses experiments aids to objective decision making in plant breeding programs. The objectives of this study were to estimate heterosis, the general combining ability (GCA) of eight tropical maize populations, and the specific combining ability (SCA) of 28 crosses. The populations evaluated were: population 21, 22, 23, 25, 32, 43, 49 and the commercial variety VS 536. The Griffing method 2 design was utilized to estimate GCA and SCA effects, on a complete randomized block design with two replications, at two planting dates. The diallel analysis showed significant differences ( $p \leq 0.01$  and  $p \leq 0.05$ ) among planting dates (PD) of evaluation, crosses (C), GCA, PD  $\times$  C and PD  $\times$  SCA interactions. Populations 23 and 43 showed the highest GCA ( $p \leq 0.01$ ), and the crosses VS 536  $\times$  Pob 32, Pob 22  $\times$  Pob 43, Pob 25  $\times$  Pob 49 y Pob 43  $\times$  Pob 49 showed the highest SCA effects ( $p \leq 0.01$ ). Both high parent positive heterosis were observed for the crosses Pob 25  $\times$  Pob 49, Pob 43  $\times$  Pob 49 and Pob 22  $\times$  Pob 43. Populations 23 and 43 revealed potential to be used in tropical maize breeding programs.

**Keywords:** *Zea mays* L.; Combining ability; Diallel crosses; Heterosis; Tropical maize.

<sup>1</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa-Teapa, Km 25, Centro, Tabasco, México.

<sup>2</sup> Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Carretera Villahermosa-Cárdenas, Km 0.5, entronque Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco, México.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Address Correspondence to: Efraín de la Cruz Lázaro, e-mail: eclazaro@hotmail.com, teléfono y fax (52) 01 (993) 156 5205, (52) 01 (993) 142 9159.

Recibido / Received 11.II.2010. Aceptado / Accepted 18.III.2010.

## INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético del maíz, es un proceso continuo para la formación de híbridos y variedades. Al mejorar un cultivo, es importante conocer el componente genético de los materiales usados como progenitores. En todo programa de mejoramiento genético, la elección de germoplasma progenitor es una de las decisiones más importantes que se deben tomar. Al respecto, Gutiérrez et al. (2004) y Castañón-Nájera et al. (2005) mencionan que conocer la aptitud combinatoria de los progenitores, mejora la eficiencia de un programa de mejoramiento. Esto permite seleccionar progenitores con buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos, e identificar combinaciones específicas con un comportamiento superior a lo esperado.

La evaluación de la ACG y ACE mediante cruzamientos dialélicos es eficiente en la clasificación de progenitores, e identifica fuentes de germoplasma útiles en programas de mejoramiento genético (Castañón-Nájera et al., 2005). La estimación de los parámetros genéticos se obtiene por medio del análisis de diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956). Los diseños dos y cuatro de Griffing han sido utilizados para estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) a partir de sus componentes de varianza (Montesinos et al., 2005). Al respecto, Preciado et al. (2005) señalan que al detectarse efectos mayores en la aptitud combinatoria general, es factible explotar la proporción aditiva de la varianza genética, mediante cualquier variante de selección recurrente; por el contrario, en cruzamientos donde se registra mayor aptitud combinatoria específica, puede implementarse un programa de selección recurrente recíproca o de hibridación.

La heterosis es el fenómeno en el que la  $F_1$ , resultante del cruzamiento entre dos genotipos, es superior en crecimiento, tamaño, rendimiento y vigor (Gutiérrez et al., 2002). Al respecto, Vasal et al. (1993) encontraron valores máximos de heterosis en poblaciones de maíz tropical para alta calidad de proteína (QPM) de 19,7% para rendimiento de grano. En cruas entre germoplasma templado, tropical y subtropical se ha obtenido entre 18,5 y 38,3% de heterosis (Malik et al., 2004). Gutiérrez et al. (2002) y De la Cruz et al. (2003) mencionan que en el mejoramiento genético de maíz el nivel deseable para aprovechamiento de la heterosis en una cruza es cuando menos del 20%.

El valor de un genotipo depende de su potencial *per se* y de su capacidad de combinarse. La evaluación de germoplasma es un aspecto decisivo en programas de mejoramiento genético de maíz. La evaluación de poblaciones apoya al programa de hibridación, mediante el suministro de las mejores poblaciones de polinización libre con alta frecuencia de alelos favorables. Dicha evaluación permite a los mejoradores concentrar sus esfuerzos en las poblaciones con potencial de producir progenies superiores (Vacaro et al., 2002). Los objetivos del

presente trabajo fueron determinar la aptitud combinatoria general de ocho poblaciones, la aptitud combinatoria específica y la heterosis de 28 cruas, e identificar poblaciones con valor para un programa de mejoramiento genético.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron siete poblaciones de maíz tropical del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y una variedad comercial. Las poblaciones fueron: Población 21 (Tuxpeño crema 1), Población 22 (Mezcla tropical blanca), Población 23 (Blanco cristalino 1), Población 25 (Blanco dentado), Población 32 (ETO Blanco), Población 43 (La posta) y Población 49 (Blanco dentado 2), descritas en la lista de germoplasma de maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1998). La variedad comercial fue VS 536, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Los materiales fueron identificados en evaluaciones preliminares con base en el rendimiento de grano (De la Cruz-Lázaro et al., 2009). Las siete poblaciones y la variedad comercial fueron cruzadas en un diseño dialélico en el campo experimental de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, durante el ciclo Agrícola otoño-invierno 2005 - 2006. En el desarrollo de las cruas dialélicas se utilizaron al menos 10 plantas como hembras para realizar cada cruza.

Las 28 cruas y los progenitores se evaluaron en el campo experimental de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, durante 2006 en dos fechas de siembra. La primera siembra se realizó el 1 de julio, dentro de la fecha recomendada para sembrar maíz, mientras que la segunda siembra se realizó el 30 de julio, fuera de la fecha de siembras óptima recomendada para siembra de maíz en el estado de Tabasco (Tinoco et al., 2002). En ambas fechas de siembra se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. La parcela experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 3 m de largo y 0,75 m de ancho, con distancia de 0,25 m entre plantas, lo que dio una densidad aproximada de 53500 plantas/ha. Las variables que se analizaron fueron: número de días a 50% de floración masculina (días); altura de planta (cm); altura de mazorca (cm) y rendimiento de grano. Este último fue calculado en base al peso de campo por parcela útil (kg por parcela) multiplicado por su respectivo factor de superficie y ajustado al 14% de humedad; se obtuvo así el rendimiento en kg/ha.

Con las variables evaluadas se realizó un análisis de varianza y un análisis genético, usando el modelo II de efectos aleatorios (Griffing, 1956) para estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) de los progenitores y sus cruas, respectivamente. El análisis estadístico se realizó de acuerdo al programa SAS-IML de Castañón-Nájera et al. (2005), que particiona la suma

de cuadrados de Cruzas en ACG y ACE. De la misma manera, la interacción Fecha de siembra  $\times$  Cruzas se particionó en Fecha de siembra  $\times$  ACG y Fecha de siembra  $\times$  ACE. En base a la proporción relativa de los cuadrados medios de los efectos de ACG y ACE, se determinó la contribución relativa de los efectos aditivos y no aditivos de las variables en estudio. La heterosis se calculó en relación al progenitor medio y se expresó en porcentaje. Los efectos de ACG y ACE se probaron usando la prueba de  $t$ , calculando los respectivos errores estándar como lo señalan Singh y Chaudhary (1985). Los valores superiores de las variables en estudio fueron aquellas que superaron al valor de la media más el error estándar ( $\mu + \sigma$ ). Como criterio de selección de las mejores cruzas se utilizó el valor del rendimiento superior a la media del mismo carácter más su error estándar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ( $p \leq 0,01$ ) en la fuente de variación fecha de siembra, para rendimiento de grano y altura de mazorca. Esto indica que estas variables se comportaron de forma diferente en cada fecha de siembra. La precipitación podría ser uno de los factores que contribuyó a obtener los resultados medidos. En la primera fecha de siembra, dicha precipitación fue de 506 mm en la fase vegetativa, 256 mm en la fase reproductiva y 324 mm durante la fase de llenado de grano. En la segunda fecha de siembra, las precipitaciones fueron de 402, 290 y 164 mm en dichas fases fenológicas, respectivamente. Las precipitaciones en ambas fechas de siembra se encuentran dentro del intervalo adecuado (500 a 1000 mm) para el cultivo del maíz en el trópico húmedo (Tinoco et al., 2002).

Se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0,01$ ) en la fuente de variación cruzas, para rendimiento de grano, altura de planta y altura de mazorca. Esto se puede deber a la diversidad genética de los progenitores. Al respecto, Guillen-De la Cruz et al. (2009) encontraron que a medida que se incrementa la diversidad genética de los progenitores, se incrementan las diferencias entre sus cruzas, tanto en características agronómicas como fisiológicas. Al desglosar la fuente de variación cruzas en los efectos de ACG y ACE, se encontró que la ACG, tuvo efectos significativos ( $p \leq 0,01$  y  $p \leq 0,05$ ) para rendimiento de grano, altura de mazorca y altura de planta. Al mismo tiempo, para ACE sólo las variables altura de planta y altura de mazorca presentaron efectos significativos ( $p \leq 0,05$ ). La proporción relativa de los efectos de ACG y ACE determinada por los cuadrados medios, indica el tipo de acción génica (Antuna et al., 2003). En general, el análisis de los cuadrados medios muestra, que los efectos genéticos aditivos (ACG) fueron de mayor expresión en el rendimiento de grano (Tabla 1), e indica la importancia relativa de la acción génica aditiva sobre los efectos no aditivos (Pswarayi y Vivek, 2008). Esto coincide con los resultados informados por Vasal et al. (1992), quienes encontraron que la

acción génica no aditiva constituye el componente genético más importante del rendimiento de grano en maíz tropical. En cambio, la acción génica no aditiva fue de mayor importancia para días a floración. Cuando en una población los efectos de acción génica aditiva son más importantes que los efectos de acción génica no aditiva, se recomienda mejorar la población por selección recurrente; por el contrario, si los efectos de acción génica no aditiva son los más importantes, la población debe mejorarse por hibridación. Sin embargo, se sugiere explotar primero la varianza genética aditiva por selección, y después la varianza no aditiva por hibridación. La estrategia de mejorar por selección, hibridación, o por selección seguida por hibridación, depende de la proporción que representa la varianza aditiva y la de dominancia de la población estudiada, respecto a la variación genética total (Reyes et al., 2004).

**Tabla 1.** Cuadrados medios del análisis de varianza dialélico para cuatro características agronómicas de 28 cruzas y ocho progenitores de maíz tropical.

**Table 1.** Mean squares of the diallel analysis of variance of four agronomic characteristics of 28 crosses and eight parental tropical maize populations.

Fuentes de variación	GL	RG (kg/ha)	AP (cm)	AM (cm)	DF (d)
Fecha de siembra (FS)	1	28721561,0**	132,3	1771,0**	1,6
Bloques / FS	2	131280,3	528,3*	274,2	102,0
Cruza (C)	35	765891,1**	421,8**	223,9**	2,5
ACG	7	1183870,9**	651,3*	290,2**	2,1
ACE	28	661396,1	364,5*	207,3*	2,7
FS $\times$ Cruzas	35	643602,5**	221,2*	195,1**	2,3
FS $\times$ ACG	7	1086891,1	177,9	176,0*	2,2
FS $\times$ ACE	28	532780,4*	232,0**	199,9**	2,3
Error	70	270762,4	110,3	78,6	4,1
CV		14,2	4,5	10,0	3,3

\* \*\* significativos a  $p < 0,05$ , y  $p < 0,01$ , respectivamente; GL = grados de libertad; RG = rendimiento de grano; AP = altura de planta; AM = altura de mazorca; DF = días floración; CV = coeficiente de variación.

\*, \*\* significant at  $p < 0,05$ , and  $p < 0,01$ , respectively; GL = degree of freedom; RG = grain yield; AP = plant height; AM = ear height; DF = days to flowering; CV = coefficient of variation.

Para la interacción Fecha de siembra  $\times$  Cruzas, todas las variables presentaron efectos significativos ( $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,05$ ), con excepción de días a floración. La floración no fue afectada por la fecha de siembra. Sin embargo, ésta última afectó el rendimiento de grano, la altura de la planta y la altura de la mazorca. Se observaron efectos significativos ( $p \leq 0,05$ ) en la interacción Fecha de siembra  $\times$  ACG en la variable altura de mazorca. En la interacción Fecha de siembra  $\times$  ACE se detectaron efectos significativos ( $p \leq 0,01$  y  $p \leq 0,05$ ) en las variables rendimiento de grano, altura de planta y altura de mazorca. La significancia en la interacción Fecha de siembra  $\times$  ACG revela la importancia de los efectos aditivos en la altura de mazorca, e indica que los efectos de ACG tienen efectos específicos de

acuerdo con la fecha de siembra, y que se deben seleccionar los progenitores con los mejores efectos de ACG a través de las fechas de siembra. La interacción Fecha de siembra × ACE indica que las cruzas no mantuvieron su ACE en las fechas de siembra. Esto se puede atribuir a la variación presentada en cada fecha de siembra, y al comportamiento diferencial de algunos de los progenitores.

La estimación de los efectos de ACG de los progenitores muestra que los mayores efectos de ACG significativos y positivos para rendimiento de grano correspondieron a las poblaciones 23 y 43, con 224,53 y 272,51 kg/ha, respectivamente (Tabla 2). Estos resultados indican que ambas poblaciones tienen una alta contribución en la expresión del rendimiento en sus progenies, y que los efectos aditivos son los más importantes. Por lo tanto, pueden incluirse en un programa de mejoramiento genético de maíz, para contribuir con alelos superiores para rendimiento de grano (Vacaro et al., 2002; Preciado et al., 2005; Guillen-De la Cruz et al., 2009). Para altura de planta se encontró que las poblaciones 21, 22 y 32 tuvieron efectos significativos negativos, mientras que las poblaciones 23, 25 y 43 presentaron efectos significativos positivos. Para altura de mazorca sólo las poblaciones 21 y 23 tuvieron efectos significativos, mostrando valor negativo la población 21 y positivo la población 23. La significancia negativa de aptitud combinatoria general en las variables altura de planta y mazorca, indica que mientras la población 21 disminuye dichos parámetros, la población 23 los incrementa. Para días a floración no se encontraron efectos significativos en ninguna de las poblaciones. Desde el punto de vista de la identificación de germoplasma con propósitos de utilización en programas de mejoramiento genético, se pueden considerar tanto los efectos de ACG como los efectos de ACE, dependiendo de los objetivos específicos.

Se encontraron seis cruzas con efectos significativos de ACE para rendimiento de grano, sobresaliendo con efectos positivos las cruzas Pob 43 × Pob 49; Pob 25 × Pob 49; VS 536 × Pob 32; y Pob 22 × Pob 43, con valores entre 453,83 y 1065,98 kg/ha. De los seis progenitores que intervienen en las cuatro cruzas con los mayores efectos de ACE, sólo la población 43 tuvo efectos positivos de ACG para rendimiento de grano. Al respecto, se espera que las cruzas con mayor ACE resulten de cruzar al menos una población con alta ACG (Reyes et al., 2004). En el presente trabajo se encontró que progenitores con efectos bajos o negativos de ACG produjeron cruzas con alto rendimiento de grano. Cruzas similares fueron obtenidas por Guillen-De la Cruz et al. (2009) al cruzar progenitores con ACG negativa y obtener cruzas con valores positivos de ACE. Las cruzas con los mayores valores de ACE pueden considerarse en programas de mejoramiento genético para formar híbridos, y para introducir variación genética en programas de selección recíproca recurrente. Para altura de planta se encontraron seis cruzas con efectos significativos de ACE, de las cuales una tuvo efectos positivos (10,36 cm) y cinco tuvieron efectos negativos (-9,45 y -22,98 cm). Para altura de mazorca cinco cruzas tuvieron efectos significativos,

**Tabla 2.** Efectos de aptitud combinatoria general y específica de caracteres agronómicos de poblaciones y cruzas de maíz tropical.

**Table 2.** General and specific combining ability effects for agronomic characteristics of tropical maize populations and crosses.

Genotipos	RG (kg/ha)	AP (cm)	AM (cm)	DF (d)
Efectos de aptitud combinatoria general				
VS-536	-130,42	0,19	-0,81	0,11
Pob 21	65,88	-4,54*	-4,31*	-0,09
Pob 22	-51,84	-3,51*	-1,33	0,33
Pob 23	224,53**	5,72*	4,88*	-0,17
Pob 25	-195,52*	3,91*	1,06	-0,29
Pob 32	-53,19	-3,66*	-0,61	0,11
Pob 43	272,51**	3,94*	1,96	-0,22
Pob 49	-131,95	-2,03	-0,84	0,23
Efectos de aptitud combinatoria específica				
VS 536 × Pob 21	240,68	7,67	3,39	0,77
VS 536 × Pob 22	-493,09*	7,89	16,42*	1,10
VS 536 × Pob 23	-373,72	0,67	-1,80	-0,90
VS 536 × Pob 25	-5,67	-15,23*	-12,73*	-0,28
VS 536 × Pob 32	693,01**	4,04	-1,06	0,07
VS 536 × Pob 43	-7,69	-8,80	-0,38	-0,85
VS 536 × Pob 49	-171,49	5,17	2,42	0,45
Pob 21 × Pob 22	-294,89	4,37	0,42	-0,45
Pob 21 × Pob 23	-89,77	3,39	4,20	-0,20
Pob 21 × Pob 25	-120,72	1,69	-0,23	-0,08
Pob 21 × Pob 32	260,45	5,52	6,19	-0,48
Pob 21 × Pob 43	145,51	-9,82*	-5,88	0,60
Pob 21 × Pob 49	151,96	0,89	-1,32	0,40
Pob 22 × Pob 23	-82,29	-3,88	-0,52	-0,38
Pob 22 × Pob 25	159,51	1,67	-1,46	-0,75
Pob 22 × Pob 32	53,18	6,74	0,72	-1,15
Pob 22 × Pob 43	1065,98**	5,15	-2,11	1,17
Pob 22 × Pob 49	-304,07	10,36*	6,70	-0,78
Pob 23 × Pob 25	-290,12	-7,05	-2,42	0,25
Pob 23 × Pob 32	28,55	-3,48	-3,25	0,85
Pob 23 × Pob 43	286,61	2,91	0,67	-0,83
Pob 23 × Pob 49	380,05	-1,86	-2,52	0,97
Pob 25 × Pob 32	40,11	-2,67	-1,18	0,22
Pob 25 × Pob 43	187,66	3,47	6,49	0,30
Pob 25 × Pob 49	564,36*	-13,05*	-7,20	0,10
Pob 32 × Pob 43	-482,67*	-9,45*	-11,33*	-1,35
Pob 32 × Pob 49	-447,22	-22,98**	-12,52*	-0,30
Pob 43 × Pob 49	453,83*	7,67	9,90*	-1,48

\*, \*\* = diferentes de cero a los niveles de probabilidad de 0,05 y 0,01.

\*, \*\* = different from zero at the 0.05 and 0.01 probability levels.

dentro de las cuales dos cruza tuvieron valores positivos y tres de ellas valores negativos entre -11,33 y -12,73 cm. Dentro de las cruza con efectos significativos para altura de planta y mazorca sobresalieron las cruza VS 536 × Pob 25 (-15,23 y -12,73 cm) y Pob 32 × Pob 49 (-22,98 y -12,52 cm) por impartir efectos negativos de altura de planta y mazorca a sus cruza. Al respecto, se considera deseable contar con materiales de porte bajo, ya que éstos toleran altas densidades de plantas por hectárea y resisten el acame, sin descuidar la relación positiva de la altura de planta con el potencial de rendimiento de grano. Para la variable días a floración no se detectaron efectos significativos en ninguna de las cruza.

En rendimiento de grano, la heterosis varió de -14,2 a 43,6%. De las 28 cruza, 17 tuvieron heterosis positiva, de las cuales sobresalen las cruza VS 536 × Pob 32; Pob 25 × Pob 43; Pob 25 × Pob 49; Pob 43 × Pob 49 y Pob 22 × Pob 43, con heterosis de 20,1; 22,9; 28,0; 31,6 y 43,6%, respectivamente (Tabla 3). Estos valores son superiores a las heterosis de 18,2% reportada para maíces de valles altos (Vasal et al., 1995), y a la heterosis de 16,7% para cruza de la raza de maíz chalqueño (Romero et al., 2002). En las cruza Pob 22 × Pob 43 (43,6%) y VS 536 × Pob 22 (-14,2%), con la mayor y menor heterosis, respectivamente, interviene la población 22. Los resultados sugieren que entre la variedad VS 536 y la población 22 no existe heterosis, lo que es reflejo de la divergencia genética de ambos genotipos e indica que hay *loci* comunes para rendimiento de grano. Todas las cruza en las que intervino la Población 23 tienen niveles bajos o negativos de heterosis, lo que se puede deber al alto potencial de rendimiento de la población. Al respecto, Romero et al. (2002) mencionan que la expresión de la heterosis es un indicador de la divergencia genética, aunque la ausencia de ella no necesariamente infiere falta de divergencia.

El mayor rendimiento de grano (4955 kg/ha), heterosis (43,6%) y ACE (1065,98 kg/ha) lo presentó la cruza Pob 22 × Pob 43. Estos resultados coinciden con Morales et al. (2007) quienes mencionan que los mayores valores de heterosis, corresponden a las mayores ACE. Al respecto, se puede observar que la estimación de la heterosis de esta cruza fue favorecida por los bajos rendimientos de ambos progenitores (Tabla 4). La población 43 es una buena opción para ser utilizada en programas de mejoramiento, especialmente para la formación de líneas de alta ACG. Esto es debido a que el promedio de rendimiento de las cruza de la Población 43 fue el más alto, como resultado de la mayor heterosis general de las cruza.

La expresión genética de las cruza y los progenitores, determinada por los valores medios de las variables en estudio, muestra una amplia variación. Para rendimiento de grano el 16,7% (6) de las cruza y el 2,8% (1) de los progenitores superaron los 4000 kg/ha de rendimiento, dentro de las cuales sobresalen las cruza Pob 22 × Pob 43, y Pob 23 × Pob 43, con 4955 y 4452 kg/ha, respectivamente. El rendimiento de las cruza con más de 4200 kg/ha, es superior a los rendimiento reportados para variedades y poblaciones de maíz tropical (De la Cruz-Lázaro

**Tabla 3.** Heterosis con relación al progenitor medio para caracteres agronómicos de 28 cruza de maíz tropical.

**Table 3.** Heterosis in relation to the mid parent for agronomic characteristics of 28 tropical maize crosses.

Cruza	RG (kg/ha)	AP (cm)	AM (cm)	DF (d)
VS 536 x Pob 21	8,0	5,0	8,2	1,6
VS 536 x Pob 22	-14,2	7,3	28,5	1,4
VS 536 x Pob 23	-11,5	-0,6	-1,7	-1,4
VS 536 x Pob 25	3,0	-9,4	-17,1	-0,4
VS 536 x Pob 32	20,1	-0,5	-5,6	-0,6
VS 536 x Pob 43	10,9	-4,5	0,6	-2,2
VS 526 x Pob 49	-1,3	0,8	3,3	0,6
Pob 21 x Pob 22	-5,5	7,3	9,2	-1,0
Pob 21 x Pob 23	-1,3	1,9	5,0	-0,2
Pob 21 x Pob 25	2,6	-1,2	-3,6	0,1
Pob 21 x Pob 32	10,4	1,5	2,5	-1,4
Pob 21 x Pob 43	17,9	-3,7	-5,7	0,2
Pob 21 x Pob 49	11,3	0,4	-0,9	0,6
Pob 22 x Pob 23	-2,4	0,8	3,5	-1,2
Pob 22 x Pob 25	9,8	0,8	-1,3	-1,8
Pob 22 x Pob 32	3,3	4,1	0,1	-3,2
Pob 22 x Pob 43	43,6	4,8	2,6	0,4
Pob 22 x Pob 49	-3,7	6,7	12,7	-2,0
Pob 23 x Pob 25	-5,3	-6,8	-8,4	0,2
Pob 23 x Pob 32	0,8	-4,6	-10,2	0,4
Pob 23 x Pob 43	17,6	-0,6	-1,4	-2,4
Pob 23 x Pob 49	13,8	-3,1	-5,2	1,2
Pob 25 x Pob 32	6,5	-6,5	-11,5	-0,6
Pob 25 x Pob 43	22,9	-2,6	1,2	-0,6
Pob 25 x Pob 49	28,0	-9,8	-13,6	-0,2
Pob 32 x Pob 43	-1,0	-7,1	-18,2	-4,0
Pob 25 x Pob 49	-7,7	-13,4	-20,3	-1,6
Pob 43 x Pob 49	31,6	0,8	8,8	-3,6

et al., 2009). Esto indica que los progenitores población 22, 23, y 43 son adecuados para formar híbridos intervarietales con alto potencial de rendimiento, o para derivar líneas que al cruzarse tengan buena combinación entre ellas. La altura de planta osciló entre 248 y 206,8 cm para las cruza, y entre 259 y 212,3 cm para los progenitores. La altura de mazorca fue de 103,8 a 75,5 cm para las cruza, y de 102 a 76,8 cm para los progenitores. Para altura de planta y altura de mazorca se encontró que el 50% (14) de las cruza tuvieron alturas mayores que la media. Con respecto a la altura de planta y mazorca, los valores medios de todas las cruza sugieren un porte de planta y posición de mazorca intermedio, lo que puede conferir tolerancia al acame. Con respecto a las cruza de mayor rendimiento de grano, se

**Tabla 4.** Medias de características agronómicas de 28 cruzas y ocho progenitores de maíz tropical.**Table 4.** Means of agronomic characteristics of 28 crosses and eight parental tropical maize populations.

Genotipo	RG (kg/ha)	AP (cm)	AM (cm)	DF (d)
Pob 22 × Pob 43	4955**	241,0	88,0	63,5*
Pob 23 × Pob 43	4452*	248,0*	97,0	61,0
Pob 43 × Pob 49	4263*	245,0	100,5*	60,8
Pob 23	4188*	251,5*	102,0*	62,0
VS 536 × Pob 32	4178*	236,0	87,0	62,5
Pob 21 × Pob 43	4153*	225,0	81,3	62,5
Pob 23 × Pob 49	4141*	237,3	91,0	63,3*
Pob 21 × Pob 32	3942	232,8	90,8	61,8
Pob 25 × Pob 43	3933	246,8*	99,0*	62,0
Pob 25 × Pob 49	3906	224,3	82,5	62,3
Pob 21 × Pob 23	3869	240,0	94,3	61,8
Pob 23 × Pob 32	3860	234,0	90,5	63,0
VS 536 × Pob 21	3845	238,8	87,8	63,0
VS 536 × Pob 43	3803	230,8	90,3	61,3
Pob 22 × Pob 23	3759	233,8	92,5	62,0
Pob 21 × Pob 49	3755	229,8	83,0	62,8
Pob 21	3654	219,5	77,5	61,8
Pob 22 × Pob 32	3617	235,0	88,3	61,5
Pob 22 × Pob 25	3581	237,5	87,8	61,5
Pob 22	3513	212,3	76,8	63,5
Pob 32	3490	239,3	99,5*	63,5
VS 536	3467	235,3	84,8	62,3
Pob 25 × Pob 32	3460	233,0	88,8	62,3
Pob 21 × Pob 25	3418	236,5	86,0	61,8
Pob 23 × Pob 25	3408	238,0	93,0	62,0
Pob 32 × Pob 43	3405	226,3	79,5	60,8
VS 536 × Pob 23	3389	242,0	91,8	61,3
Pob 43	3389	247,8*	94,8	63,0
Pob 21 × Pob 22	3388	231,8	84,3	62,0
VS 536 × Pob 25	3337	224,0	77,0	61,8
VS 526 × Pob 49	3235	238,8	90,3	63,0
Pob 22 × Pob 49	3181	240,3	94,0	62,0
Pob 49	3091	238,3	90,0	63,0
Pob 32 × Pob 49	3036	206,8	75,5	62,3
Pob 25	3010	259,0**	101,0*	61,8
VS 536 × Pob 22	2994	240,0	103,8*	63,8*
Media	3668	235,3	89,5	62,2
$\sigma$	437	10,4	7,5	0,8

\* mayor que  $\mu + \sigma$ , \*\* mayor que  $\mu + 2\sigma$ ,\* greater than  $\mu + \sigma$ , \*\* greater than  $\mu + 2\sigma$ .

observó que éstas tuvieron alturas mayores o iguales que la media en altura de planta y mazorca. La floración masculina osciló entre 60,8 y 63,8 días con media de 62,2 días para progenitores y cruza. Esto indica que son de ciclo intermedio. Al respecto, De la Cruz-Lázaro et al. (2009) mencionan que para el trópico húmedo son deseables maíces precoces con alrededor de 60 días a floración.

## CONCLUSIONES

Los efectos aditivos fueron el componente principal en la expresión de las variables rendimiento de grano, altura de mazorca y altura de planta. Los efectos de tipo no aditivo fueron los efectos más importantes para días a floración. De las ocho poblaciones evaluadas sobresalieron las poblaciones 23 y 43 con los mayores efectos de ACG para rendimiento de grano. Para altura de planta y altura de mazorca, la población 21 tuvo efectos deseables. Los mayores valores de ACE se obtuvieron en las cruza Pob 22 × Pob 43; VS 536 × Pob 32; Pob 25 × Pob 49 y Pob 43 × Pob 49. La mayor heterosis para rendimiento de grano la tuvieron cinco cruza: dentro de éstas, sobresale la cruza Pob 22 × Pob 43 con el mayor rendimiento de grano, ACE y heterosis.

## REFERENCIAS

- Antuna, G.O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N.A. Ruiz T. y L. Bustamante G. (2003). Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 11-17.
- Castañón-Nájera, G., L. Latournerie-Moreno y M. Mendoza-Elos (2005). Macro de SAS-IML para analizar los diseños II y IV de Griffing. *Universidad y Ciencia* 21: 27-35.
- CIMMYT (1998). A Complete listing of improved maize germplasm from CIMMYT. Maize Program Special Reports. México, D.F. 94 p.
- De la Cruz, L.E., E. Gutiérrez del R., A. Palomo G. y S. Rodríguez H. (2003). Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26: 279-284.
- De la Cruz-Lázaro, E., H. Córdova-Orellana, M.A. Estrada-Botello, J.D. Mendoza-Palacios, A. Gómez-Vázquez y N.P. Brito Manzano (2009). Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia* 25: 93-98.
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Science* 9: 463-93.
- Guillen-De la Cruz, P., E. de la Cruz-Lázaro, G. Castañón-Nájera, R. Osorio-Osorio, N. P. Brito-Manzano, A. Lozano-del Río y U. López-Noverola (2009). Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 101-107.
- Gutiérrez, del R.E., A. Espinoza B., A. Palomo G., J. Lozano G. y O. Antuna G. (2004). Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27 (Núm. Especial 1): 7-11.

- Gutiérrez, del R.E., A. Palomo G., A. Espinosa B. y E. De la Cruz L. (2002). Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 271-277.
- Malik, H.N., S. Malik, S.R. Chughtai y H.I. Javed (2004). Estimates of heterosis among temperate, subtropical and tropical maize germplasm. *Asian Journal of Plant Sciences* 3: 6-10.
- Montesinos, L.O.A., A. Martínez G., A.A. Mastache L., G. y Rendón S. (2005). Mejor predictor lineal e insesgado para aptitud combinatoria específica de los diseños dos y cuatro de Griffing. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 369-376.
- Morales, R.M.M., J. Ron P, J.J. Sánchez G., J.L. Ramírez D., E. De la Cruz L., S. Mena M., S. Hurtado de la P. y M. Chuela B. (2007). Relaciones fenotípicas entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 285-294.
- Preciado, O.R.E., A.D. Terrón I., N.O. Gómez M. y E.I. Robledo G. (2005). Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana* 16: 145-151.
- Pswarayi, A. y B.S. Vivek (2008). Combining ability amongst CIMMYT's early maturing maize (*Zea mays* L.) germplasm under stress and non-stress conditions and identification of testers. *Euphytica* 162: 353-362.
- Reyes, L.D., J.D. Molina G., M.A. Oropeza R. y E. del C. Moreno P. (2004). Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 49-56.
- Romero, P.J., F. Castillo G. y R. Ortega P. (2002). Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 107-115.
- Singh, R.K. y B.D. Chaudhary (1985). *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. Kalyani Publishers. India. 2a. ed. 319 p.
- Tinoco, A.C.A., F.A. Rodríguez M., J.A. Sandoval R., S. Barrón F., A. Palafox C., V.A. Esqueda E., M. Sierra M. y J. Romero M. (2002). Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico 9. Veracruz, México. 113 p.
- Vacaro, E., J.F. Barbosa N., D. Girardi P., C. Natalino N., y L.D. Haa C. (2002). Combining ability of twelve maize populations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 67-72.
- Vasal, S.K., G. Srinivasan, J. Crossa y D.L. Beck (1992). Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early-maturity maize germplasm. *Crop Science* 32: 884-890.
- Vasal, S.K., G. Srinivasan, F. González C., D.L. Beck y J. Crossa (1993). Heterosis and combining ability of CIMMYT's quality protein maize germplasm: II. Subtropical. *Crop Science* 33: 51-57.
- Vasal, S.K., G. Srinivasan, N. Vergara A. y F. González C. (1995). Heterosis y aptitud combinatoria en germoplasma de maíz de valles altos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 18: 123-139.