

APTITUD COMBINATORIA Y EFECTOS MATERNOS EN RAZAS DE MAIZ MEXICANAS POR EL MODELO I DE GRIFFING

COMBINING ABILITY AND MATERNAL EFFECTS IN MEXICAN RACES OF MAIZE THROUGH GRIFFING MODEL I

Enrique Andrio-Enríquez¹, Francisco Cervantes-Ortiz¹, J. Guadalupe Rivera-Reyes¹, Luis Patricio Guevara-Acevedo¹, Sergio A. Rodríguez-Herrera², Gilberto Rodríguez-Perez¹, José Antonio Rangel-Lucio¹, y Mariano Mendoza-Elos^{*1}

¹ Instituto Tecnológico de Roque, km 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas, Guanajuato, México. C.P. 38110,

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. CP 25315, México. Subte33@yahoo.com.mx, frcervantes@itroque.edu.mx, jogurrciga@yahoo.com, lpguevara@itroque.edu.mx, sarh@live.com.mx, grodriguez263@hotmail.com, jarangel_l@yahoo.com.mx.

* Autor para correspondencia E-mail: mmendoza66@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar los componentes genéticos de las características agronómicas y del rendimiento en cruzas dialélicas entre diferentes grupos raciales de 10 razas de maíz mexicanos, utilizando el Modelo 1 de Griffing. Las cruzas y razas fueron evaluadas en el campo experimental del Instituto Tecnológico Roque, en Celaya, Guanajuato, en 2011. Las variables registradas fueron: rendimiento de grano, días a floración masculina y femenina, altura de planta, número de hojas, prolificidad, peso de mil granos, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, longitud y diámetro de mazorca. Los efectos genéticos aditivos fueron más importantes y contribuyeron en mayor proporción que los efectos no aditivos. Los efectos recíprocos fueron superiores en todos los caracteres, excepto en altura de planta y prolificidad, atribuidos principalmente a efectos maternos. Las razas Bolita y Tabloncillo mostraron los menores estimadores para la floración, Tuxpeño y Jala fueron los más altos. Para el rendimiento, las razas con el mayor estimador fueron Tuxpeño y Celaya, para longitud de mazorca la mayor fue Jala, mientras que en el peso de mil granos correspondió para el Ancho Pozolero. La craza directa y recíproca Tabloncillo por Pepitilla mostró efectos negativos para floración femenina; y para floración masculina fueron Tabloncillo por Bolita y Tabloncillo por Dulce. Para rendimiento las cruzas más sobresalientes fueron Tepecintle por Dulce y Celaya por Tuxpeño. Para longitud de mazorca las cruzas Dulce por Jala y Jala por Bolita presentaron los valores más alto.

Palabras clave: dialélico, efectos genéticos, razas de maíz.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the genetic components of agronomic traits and yield in diallel crosses between ten races of maize from Mexico, using the Griffing I model. The crosses and races were evaluated in the experimental field of the Instituto Tecnológico Roque in Celaya, Guanajuato, in 2011. The traits evaluated were grain yield, days to tasseling and silking, plant height, leaf number, prolificacy, 1000-grain weight, number of rows per ear, number of grain per row, ear length and diameter. The ANOVA showed significant differences for genotypes and

traits evaluated for most variables. The additive genetic effects were more important and contribute more than non-additive effects. Reciprocal effects were observed for all traits except for plant height and prolificacy, which is mainly attributed to maternal effects (general reciprocal effects). The Bolita and Tabloncillo races showed the lowest estimators for flowering, while Tuxpeño and Jala exhibited the highest one. Regarding yield, the races with the highest estimators were Tuxpeño and Celaya; for ear length Jala had higher values compared with the other races, while the highest estimator of 1000-grain weight corresponded to the Ancho Pozolero. Direct and reciprocal cross of Tabloncillo by Pepitilla showed negative effects for days to silking, while Tabloncillo by Bolita and Tabloncillo by Dulce showed negative effects to tasseling. Crosses with the highest yield were Tepecintle by Dulce and Celaya by Tuxpeño. For cob length the crosses Dulce by Jala and Jala by Bolita presented the highest values.

Key words: diallel, genetics effects, maize races.

INTRODUCCION

En maíz las características agronómicas sobresalientes y el potencial de utilidad y de calidad de la semilla, deben considerarse al generar nuevos cultivares (Coutiño et al., 2010). En este sentido, Haochuan et al. (2014) señalaron la necesidad de considerar la ampliación de la base genética del germoplasma que se utiliza en la generación de nuevas variedades, ya que solo se explota una pequeña porción de la variabilidad existente en los bancos de germoplasma; sin embargo, una de las limitantes en el fitomejoramiento es evaluar la diversidad genética existente para detectar genotipos con buen potencial agronómico que formen parte de nuevos cultivares (Luna et al., 2013).

A nivel mundial, la importancia del maíz se ha incrementado considerablemente, por la diversificación en su utilización, las modificaciones en los hábitos alimenticios de la población, sobre todo en las economías emergentes, y esto ha producido un aumento continuo de la superficie cultivada; en este contexto, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) estimó que en 2011 se produjeron 866,17 millones de toneladas, en una superficie de 160 millones de hectáreas cultivadas y donde Los Estados Unidos de Norteamérica, China, la Unión Europea, Brasil, Argentina, México e India fueron los mayores productores (USDA, 2012); asimismo señaló que la producción de este cereal en México, en el mismo año fue de 24,5 millones de toneladas.

Se reconoce a México como el principal centro de origen del maíz; se reporta el registro de 65 razas y subrazas (Coutiño, 2010), lo que lo ubica como el poseedor de mayor diversidad en esta especie; sin embargo, el aprovechamiento de esta gran riqueza germoplásmica es limitada, ya que solo se emplea una mínima porción del vigor híbrido existente entre los diversos patrones heteróticos, a pesar de que autores como De la Rosa et al. (2006) señalan la importancia de incorporar germoplasma exótico a los programas de mejoramiento de este cultivo, lo que daría a los nuevos

cultivares mejores características agronómicas, como rendimiento, adaptabilidad, tolerancia a estrés, arquetipo, precocidad, entre otras.

En el mejoramiento genético de plantas, la utilización de fuentes de germoplasma de amplia variabilidad, el patrón heterótico contrastante, así como el conocimiento de su aptitud combinatoria, es esencial para lograr avances significativos en el proceso de generación de nuevas variedades. La capacidad de un individuo o población para combinarse con otros a través de su progenie, se define como aptitud combinatoria (Coutiño et al., 2010). Poehlman y Allen (2003) lo denominaron como el comportamiento medio de una determinada línea parental en una serie de combinaciones híbridas como aptitud combinatoria general. En este sentido Sámano et al. (2009), definieron a la aptitud combinatoria general como el desempeño promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, mientras que la aptitud combinatoria específica (ACE) separa las combinaciones híbridas que resulten mejor o peor de lo esperado, en relación con la media de la aptitud combinatoria general (ACG) de los parentales. En este mismo sentido, El-Badawy (2013), establece que la proporción relativa de los efectos de ACG y ACE determinada por los cuadrados medios, indica el tipo de acción génica aditiva y de dominancia, respectivamente, de las características bajo estudio.

La variabilidad genética es atribuida al genotipo, que junto al ambiente y su interacción, determinan la expresión de los caracteres de las plantas, y se considera que el componente aditivo de la varianza genética contribuye en mayor proporción que el de dominancia, en diversas características agronómicas, de calidad de semilla y de crecimiento inicial de plántula (Antuna et al., 2003; Cervantes et al., 2006).

Griffing (1956) definió cuatro métodos de análisis dialélicos, según los genotipos que fueran incluidos para estimar la ACG y ACE, y en la actualidad estos son los más utilizados para estimar parámetros genéticos de las líneas progenitoras

de híbridos o bien de las poblaciones de donde estas se han derivado. Haochuan et al. (2014) los consideran como una herramienta útil para caracterizar progenitores y estimar los parámetros genéticos de estos y sus cruzas, y permiten establecer la metodología de mejoramiento más apropiada a utilizar. De la Cruz et al. (2009) realizaron cruzas dialélicas para estimar ACG y ACE e identificar los grupos heteróticos entre razas mexicanas de maíz con el propósito de desarrollar nuevos cultivares para los trópicos.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue estimar los componentes genéticos de características agronómicas y del rendimiento entre maíces de diferente grupo racial.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un diseño dialélico con 10 razas de maíz: Tepecintle, Tuxpeño, Jala, Pepitilla, Ancho, Celaya, Dulce, Reventador, Bolita y Tabloncillo, que fueron obtenidas del Banco de Germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) (Tabla 1).

Los cruzamientos se realizaron en el ciclo primavera-verano de 2009, en el campo experimental del ITR, en Celaya, Guanajuato (20°31' N; 100°50' O), a una altitud de 1766 msnm. Las características del sitio experimental incluyen un clima semi-cálido, subhúmedo, con una temperatura media anual de 19°C y una precipitación de 600 a 800 mm al año (Hernández, 2015); el suelo, según la clasificación de FAO-UNESCO es vertisol pélico, de textura franco-arcillosa, plano, pH neutro o ligeramente ácido y de alta fertilidad.

En el ciclo primavera-verano 2011, se evaluaron las 90 cruzas y las 10 razas en el campo experimental del ITR. La parcela experimental consistió de tres surcos de 5 m de longitud, separados a 0,75

m y la separación entre plantas fue de 20 cm, originando una población de 69.300 plantas ha⁻¹. Se utilizó un diseño bloques completos al azar con dos repeticiones. La conducción agronómica del ensayo, se realizó de acuerdo a las recomendaciones del paquete tecnológico para producción de maíz del INIFAP (2011). La cosecha se realizó en dos surcos eliminando 0,50 m en cada extremo de los mismos. Se registraron datos de días a floración femenina, días a floración masculina, altura de planta, prolificidad y número de hojas totales; además se cuantificó el rendimiento de grano y sus componentes: peso de mil granos, longitud de mazorca, diámetro de la mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera. Se realizó el análisis de varianza con el programa Diallel-SAS Método I y para calcular los cuadrados medios de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos recíprocos (ER), efectos maternos (EM) y efectos no maternos (ENM) se utilizó el método propuesto por Zhang y Kang (2003).

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre genotipos para todas las características excepto para diámetro de mazorca. En la descomposición de los cuadrados medios de genotipos se detectó que la ACG y los efectos recíprocos ER presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,01$) en todas las características evaluadas; la ACE fue significativa para días a floración femenina y masculina, rendimiento de grano, peso de 100 granos, diámetros de mazorca, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera. Los efectos maternos EM fueron significativos para floración femenina, floración masculina, número de hojas totales, rendimiento de grano, peso de mil granos, número de hojas por mazorca, número de granos por hilera, longitud y diámetro de mazor-

Tabla 1. Colectas de razas de maíz mexicano utilizados en cruzas dialélicas en la localidad de Celaya, Guanajuato, México, en 2011.

Table 1. Accessions of races of Mexican maize used in diallelic crosses in the station of Celaya, Guanajuato, Mexico, in 2011.

Raza	Número de colecta	Origen	Tipo endospermo	Adaptación (msnm)
1. Tepecintle	756	Chiapas	Dentado	1100
2. Tuxpeño	1	Michoacán	Dentado	1300
3. Jala	1655	Nayarit	Dentado	1000
4. Pepitilla	1346	Guerrero	Dentado harinoso	1500
5. Ancho	ITR-01	Guanajuato	Semident-harinoso	1700
6. Celaya	1670	Guanajuato	Dentado	1500
7. Dulce	1060	Guanajuato	Dentado cristalino	1700
8. Reventador	1671	Nayarit	Cristalino	100

ca; mientras que los efectos no maternos (ENM) solo afectaron las floraciones femenina y masculina (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes en razas de maíz evaluados en Celaya, Guanajuato, México, en 2011.
Table 2. Analysis of variance for components of yield in races of maize evaluated in Celaya, Guanajuato, Mexico, in 2011.

Fuente de Variación	GL	FF	FM	AP	Prol.	NHT	RG	PMG	NHM	NGH	LM	DM
	días	días	m	%	Nº	kg ha ⁻¹	g	Nº	Nº	Nº	cm	cm
Repetición	1	10,12	0,125	0,00072	0,0264	9,245	2872794,9	846,49	1,548	4,882	1,265	14,42
Genotipos	99	113,34**	130,216**	0,155*	0,0686**	7,528**	147241,7**	13528,24**	6,332**	49,225**	4,943**	13,186 ns
ACG	9	223,62**	327,478**	0,441**	0,2143**	23,490**	6925367,4**	52832,00**	24,483**	99,484**	13,229**	1,168**
ACE	45	49,30**	44,4438**	0,092 ns	0,0461 ns	3,721 ns	3868622,0**	7588,65**	1,619*	37,050*	3,406 ns	0,343**
ER	45	137,58**	150,5166**	0,108 ns	0,0559 ns	6,359*	3637853,3**	10796,34**	4,482**	50,507**	4,507*	0,452**
EM	9	478,98**	517,209**	0,265 ns	0,0675 ns	16,230**	4948959,4**	27557,39**	12,260**	71,629**	12,576**	0,463*
ENM	36	50,22**	56,266**	0,0664 ns	0,0512 ns	3,642 ns	2071844,04**	6164,14**	2,342**	46,434**	2,607 ns	14,764 ns
Error	99	16,95	24,761	0,11	0,0389	3,747	1153335,2	1572,09	1,027	23,317	2,731	0,190
C,V (%)	---	5,6	6,44	11,22	26,38	12,27	21,1	11,16	8,54	15,43	9,89	10,21

* p ≤ 0,01; ** p ≤ 0,05; ns = no significativo.

FF = floración femenina; FM = floración masculina; AP = altura de planta; ProL. = prolificidad; NHT = número de hojas totales; RG = rendimiento de grano; PMG = peso 1000 granos; NHM = número hileras por mazorca; NGH = número granos por hilera; LM = longitud de mazorca; DM = diámetro de mazorca.

El grupo de variables del rendimiento y sus componentes presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) para todos los caracteres evaluados, con excepción del diámetro de mazorca. Del mismo modo los efectos de ACG fueron altamente significativos para la totalidad de las características en estudio. Por otro lado los efectos de ACE fueron significativos ($p \leq 0,01$) para el rendimiento, peso de mil granos y diámetro de mazorca, y muestran efectos al 95% de confianza en número de hileras por mazorca y número de granos por hilera; este mismo componente no presentó efecto estadístico en la longitud de la mazorca.

En relación con los efectos recíprocos para el rendimiento y sus componentes se determinaron diferencias estadísticas, debidas principalmente a la influencia del efecto materno (recíproco general), con excepción del diámetro de mazorca que fue determinado por los efectos no maternos (ENM).

En los caracteres señalados se observa la mayor magnitud de los efectos de ACG en relación con los de ACE, lo que indica que los efectos aditivos contribuyen en mayor proporción que los efectos de dominancia en la expresión genotípica de los mismos. En relación con efectos recíprocos, los resultados indican que existe influencia del progenitor hembra, lo cual debe ser tomado en consideración al definir la función de los progenitores en los cruzamientos, y esto cobra mayor importancia cuando se trata de producción de semilla.

En la Tabla 3 se presentan los efectos de la ACG, para los caracteres agronómicos estudiados, y se observa que para floración masculina y femenina los genotipos Bolita y Tabloncillo destacan como los más precoces; por otro lado el Tuxpeño y el Jala presentaron los valores más altos y positivos, siendo los más tardíos. Para altura de planta, Bolita presenta un porte bajo y el de mayor altura es Pepitilla. Con respecto al número de mazorcas por planta sobresalen Celaya y Bolita y el menos sobresaliente corresponde al Ancho pozolero. Los progenitores de la raza Tepecintle y Tuxpeño destacan en número de hojas totales con los valores más altos positivos y el maíz dulce expresó la menor cantidad de hojas.

Respecto a los valores observados de ACG para el rendimiento y sus componentes, sobresalen con los estimadores más altos para rendimiento las variedades Tuxpeño, Ancho pozolero y Celaya, y los menos destacados en ACG fueron Dulce, Tabloncillo y Pepitilla. Para la variable peso de mil granos sobresalió la raza Ancho pozolero con el valor más alto. El Dulce y Tepecintle fueron los de menor peso de grano. En cuanto a número de hileras por mazorca, destacan los genotipos Celaya, Dulce, Tuxpeño y Tepecintle, con los estimadores positivos más altos, y Bolita y Ancho Pozolero

mostraron valores negativos, indicando menor número de hileras. Para número de granos por hilera, Tuxpeño y Reventador fueron los mayores, mientras que Pepitilla, Dulce y Bolita presentaron el menor número de granos por hilera; para longitud de mazorca, Jala presentó el más alto estimador positivo y los valores negativos más altos correspondieron a Dulce y Bolita. Respecto al diámetro de mazorca, Tuxpeño y Pepitilla presentaron el mayor valor, mientras que Reventador y Bolita el menor.

Al analizar el comportamiento de los cruzamientos específicos (ACE), de estos mismos caracteres, podemos destacar a las cruzas Tabloncillo por Pepitilla (10x4) y Pepitilla por Tabloncillo (4x10) como las más precoces, respecto a la floración femenina; en relación a la floración masculina las que presentaron menos días fueron también Tabloncillo por Bolita (10x9), Tabloncillo por Dulce (10x7). En altura de planta, la cruz de la raza Dulce por Jala (7x3) y Bolita por Pepitilla (9x4) fueron consistentes con el valor más alto. En la variable prolificidad, Reventador por Tepecintle (8x1), Pepitilla por Tabloncillo (4x10) y Reventador por Jala (8x3) son los genotipos más destacados; mientras que Jala por Tabloncillo (3x10) y Celaya por Tepecintle (6x1), presentaron el efecto contrario, por último, las cruzas Bolita por Jala (9x3) y Ancho Pozolero por Tepecintle (5x1) presentaron la mayor cantidad de hojas por planta, y el cruzamiento entre Tepecintle y Tabloncillo (1x10) la menor (Tabla 4).

La aptitud combinatoria específica indica el comportamiento de los progenitores en sus cruzamientos, en este sentido, las mejores cruzas para rendimiento fueron Tepecintle por Dulce y Celaya por Tuxpeño (1x7 y 6x2, respectivamente), mientras que Tabloncillo por Celaya (1x7) y Tabloncillo por Dulce (10x7) presentaron el rendimiento más bajo. Para Peso de mil granos correspondió a las cruzas Celaya por Ancho pozolero (6x5), Reventador por Tabloncillo (8x10), Reventador por Ancho pozolero (8x5), Bolita por Ancho Pozolero (9x5) y Tabloncillo por Ancho Pozolero (9x5) los mayores estimadores y los peores Jala por Tabloncillo (3x10), Ancho Pozolero por Tabloncillo (5x10). Para número de hileras por mazorca los mejores fueron Tabloncillo por Jala (10x3), Tabloncillo por Ancho Pozolero (10x5) y Tabón por Tuxpeño (10x2) y los genotipos con el estimador más negativo, Reventador por Tabloncillo (8x10) y Dulce por Ancho Pozolero (7x5). En cuanto a número de granos por hilera la cruz Reventador por Tabloncillo (8x5) y Dulce por Tepecintle (7x1) mostraron el mejor estimador, mientras que las cruzas Jala por Dulce (3x7), Tepecintle por Pepitilla (1x4) y Dulce por Jala (7x3) presentaron los estimadores negativos (Tabla 5).

Tabla 3. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para caracteres agronómicos y componentes de rendimiento en razas de maíz evaluadas en Celaya, Guanajuato. México en 2011.
Table 3. Effects of general combining ability (GCA) for agronomic traits and yield components in maize races evaluated in Celaya, Guanajuato. Mexico, in 2011.

Razas	FF	FM	AP	ProL.	NHT	RG	PMG	NHM	NGH	LM	DM
	días	días	m	%	N°	kg ha ⁻¹	g	N°	N°	cm	cm
Tepecintle (1)	1,878**	1,982*	-0,040 ns	0,082*	0,908**	396,539*	-38,537**	0,522**	-0,010 ns	0,273 ns	0,065 ns
Tuxpeño (2)	5,240**	6,177**	0,110 ns	-0,008 ns	0,949**	545,001**	-1,415 ns	0,589**	1,830*	0,545 ns	0,273**
Jala (3)	3,712**	4,149**	0,079 ns	-0,024 ns	0,695*	250,886 ns	10,656 ns	-0,047 ns	-1,342 ns	0,755**	0,096 ns
Pepitilla (4)	1,878**	3,927**	0,134*	-0,053 ns	0,731*	-524,825**	19,273**	-0,049 ns	-2,230**	-0,021 ns	0,307**
Ancho Poz. (5)	1,795**	1,344 ns	0,011 ns	-0,008 ns	0,058 ns	514,378*	51,434**	-1,150**	-1,313 ns	-0,760**	0,130 ns
Celaya (6)	-0,621 ns	0,371 ns	0,050 ns	0,106**	-0,205 ns	593,602**	0,665 ns	0,901**	-0,380 ns	0,134 ns	0,082*
Dulce (7)	-0,704 ns	-1,628 ns	-0,141*	-0,061 ns	-1,164**	-640,298**	-81,967**	0,977**	-2,194**	-0,917**	0,017 ns
Reventador (8)	-1,593*	-1,628 ns	-0,154**	0,047**	-0,893**	117,669 ns	-26,142**	-0,121 ns	1,744*	0,028 ns	-0,209**
Bolita (9)	-2,221**	-2,517**	-0,140*	0,094**	-0,780*	112,799 ns	24,165**	-1,432**	-2,600**	-0,892**	-0,180*
Tabloncillo (10)	-9,466**	-12,180**	0,089 ns	-0,274 ns	-0,298 ns	-1266,753 ns	41,864 ns	-0,189 ns	6,498 ns	0,855 ns	-0,683 ns

*= p ≤ 0,01; **= p ≤ 0,05; ns = no significativo.

FF = floración femenina; FM = floración masculina; AP = altura de planta; ProL. = prolificidad; NHT = número de hojas totales; RG = rendimiento de grano; PMG = peso 1000 granos; NHM = número hileras por mazorca; NGH = número granos por hilera.

Tabla 4. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de las mejores 10 cruzas y las cinco menos destacadas para caracteres agronómicos entre razas de maíz evaluadas en Roque, Celaya, Guanajuato. México, en 2011.

Table 4. Effects of specific combining ability (ACE) of the 10 best crosses and the five less prominent for agronomic traits of maize races evaluated in Roque, Celaya, Guanajuato. Mexico in 2011.

Cruza	FF	Cruza	FM	Cruza	AP	Cruza	Prol.	Cruza	NHT
	días	--	días	--	m	--	%	--	N°
2x8R	13,50**	9x2R	11,25**	7x3R	0,34**	8x1R	0,32**	9x3R	2,87**
3x8R	13,00**	8x2R	11,00**	9x4R	0,33*	4x10D	0,31**	5x1R	2,75**
2x6R	11,75**	7x2R	11,00**	6x2R	0,32ns	8x3R	0,24*	7x3R	2,52*
4x6R	11,00**	6x4R	11,25**	5x2R	0,26ns	1x6D	0,19*	8x2R	2,00*
2x9R	10,75**	8x3R	10,25**	6x9D	0,24ns	4x2R	0,16ns	1x5D	1,71*
2x7R	9,25**	6x2R	10,00**	4x7D	0,23ns	9x3R	0,15ns	3x2R	1,70ns
1x5D	8,58**	5x4R	10,00**	3x7D	0,21ns	5x2R	0,14ns	6x2R	1,62ns
2x8D	4,61*	1x10D	8,04**	6x7D	0,22ns	2x6D	0,14ns	4x3R	1,62ns
1x3D	3,91*	7x3R	8,00**	7x1R	0,23ns	1x8D	0,10ns	8x3R	1,62ns
1x10D	5,04*	6x3R	9,25**	8x2R	0,28ns	4x7D	0,12ns	6x1R	1,62ns
10x4R	-10,05*	10x9R	-11,51*	3x9D	-0,29*	3x10D	-0,25*	1x10D	-3,30**
4x10D	-9,20**	10x7R	-10,62*	1x4D	-0,26ns	6x1R	-0,24*	9x7R	-1,75ns
3x1R	-8,75**	2x1R	-10,00**	1x7D	-0,25ns	6x8D	-0,19*	2x9D	-1,23ns
1x2D	-5,85**	3x1R	-7,00**	4x6D	-0,19ns	9x7R	-0,17ns	3x5D	-1,20ns
5x6D	-3,66**	3x2R	-7,25**	4x2R	-0,21ns	6x2R	-0,18ns	10x1R	-1,30ns

* = $p \leq 0,01$; ** = $p \leq 0,05$; ns = no significativo.

FF = floración femenina; FM = floración masculina; AP = altura de planta; Prol. = prolificidad; NHT = número de hojas totales; RG = rendimiento de grano; PMG = peso 1000 granos; NHM = número hileras por mazorca; NGH = número granos por hilera.

Tabla 5. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de las mejores 10 cruzas y las cinco menos destacadas entre razas de maíz para rendimiento, peso de mil granos e hileras por mazorca evaluadas en Celaya, Guanajuato. México en 2011.

Table 5. Effects of the specific combining ability (ACE) of the 10 best crosses and the five least leading among maize races for yield, 1000-grain weight and rows per ear evaluated in Celaya, Guanajuato. Mexico, in 2011.

Cruza	RG	Cruza	PMG	Cruza	NHM
	kg ha ⁻¹	--	g	--	N°
1x7D	3778**	6x5R	131,6**	10x3R	3,49**
2x4D	1271**	8x10D	122,8**	10x5R	3,38**
2x5D	954*	8x5R	117,2**	10x2R	3,13**
5x9D	1480**	9x5R	114,6**	10x1R	3,11**
8x10D	1664*	10x5R	95,6*	9x7R	2,40**
6x1R	1432**	4x9D	81,4**	7x10R	2,32*
8x1R	1119*	5x6D	77,0**	5x4R	2,30**
6x2R	2421**	9x4R	75,9**	5x10D	2,24**
8x4R	1604**	4x3R	69,9**	2x6D	1,23**
7x6R	1253*	9x10D	69,4**	9x1R	1,40**
10x6R	-2731*	3x10D	-106,3**	8x10D	-2,19*
10x7R	-2233*	5x10D	-104,5**	7x5R	-1,95**
8x7R	-2081**	5x4R	-95,9**	6x5R	-1,80**
4x1R	-2023**	9x7R	-90,3**	4x1R	-1,45**
3x1R	-1715**	3x1R	-69,6**	6x1R	-1,00*

RG = rendimiento de grano; PMG = peso 1000 granos; NHM = número hileras por mazorca; D = cruza directa; R = cruza recíproca.

En otro sentido, Dulce por Jala (7x3) y Bolita por Celaya (9x6) fueron las mejores combinaciones híbridas para longitud de mazorca y Jala por Reventador (3x8) y Celaya por Tabloncillo (6x10) fueron los genotipos menos sobresalientes para este carácter. Para diámetro de mazorca sobresalen las cruzas de Pepitilla por Dulce (4x7) y Celaya por Pepitilla (6x4), mientras que las de Tabloncillo por Jala (10x3) y Dulce por Pepitilla (7x4), fueron las menores (Tabla 5 y 6).

DISCUSION

La mayor varianza aditiva (ACG) con respecto a la ACE de este experimento para los caracteres de días a floración femenina y masculina, altura de planta, prolificidad, y número de hojas totales, presentan una condición similar a las conclusiones de Antuna et al. (2003) y Cervantes et al. (2007) en líneas endogámicas de maíz. Del mismo modo, Dzib et al. (2011) reportaron resultados semejantes en variedades criollas de maíz, y Coutiño et al. (2010) describieron este mismo comportamiento para el contenido de azúcares. Sin embargo, no coinciden con los resultados obtenidos por De la Cruz et al. (2009) y Ávila et al. (2009), quienes señalan que los efectos de ACE fueron mayores a los de ACG en líneas endogámicas de maíz.

Similar respuesta se encuentra para rendimiento y todos sus componentes (PMG, N°. de hileras por mazorca, granos por hilera, longitud y diámetro de mazorca); en todos los caracteres antes señalados los efectos de ACG son mayores a los correspondientes a la ACE, aunque es importante señalar también la presencia de genes dominantes, sin embargo, los efectos de genes aditivos contribuyen en mayor proporción que los efectos no aditivos en la expresión del fenotipo; estos efectos coinciden con El-Badawy (2013) para la variable número de hileras por mazorca. Sin embargo, en un estudio de híbridos y líneas de maíz, estos resultados difieren a los publicados Kanagarasu et al. (2010) y Borghi et al. (2012) quienes encontraron que los efectos no aditivos fueron superiores a los aditivos para rendimiento de planta, diámetro y longitud de mazorca, altura de planta y peso de 100 granos.

La finalidad de realizar las cruzas directas y recíprocas tiene como objetivo elegir cual progenitor va a ser el masculino y cual el femenino; en este caso se encontraron efectos recíprocos, resultados que coincide con lo reportado por Ávila et al. (2009) y Sámano et al. (2009). En la descomposición de los cuadrados medios de los ER para la obtención de efectos maternos y no maternos, se encontró efecto altamente significativo en días a floración femenina y masculina, resaltando que

Tabla 6. Efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de las mejores 10 cruzas y las cinco menos destacadas entre razas de maíz para componentes de rendimiento evaluadas en Celaya, Guanajuato. México en 2011.

Table 6. Effects of the specific combining ability (ACE) of the 10 best crosses and the five least leading among maize races for yield components evaluated in Celaya, Guanajuato. Mexico in 2011.

Cruza	NGH	Cruza	LM	Cruza	DM
	N°	--	cm	--	cm
8x10R	11,16*	3x9D	1,60*	4x7D	1,05**
7x1R	8,26**	5x1R	1,75*	6x4R	0,78**
6x2R	6,79**	7x1R	1,75*	8x3R	0,58**
1x6D	5,85**	6x2R	1,75*	7x2R	0,46*
5x1R	5,37*	7x3R	1,92*	1x10D	0,41ns
4x7D	5,36*	9x6R	1,91*	2x1R	0,29ns
8x3R	5,30*	8x3R	1,37ns	8x2R	0,33ns
9x8R	5,27*	9x3R	1,33ns	8x4R	0,29ns
6x4R	4,87*	7x5R	1,75ns	9x5R	0,35ns
8x9D	4,26*	9x8R	1,23ns	8x6R	0,32ns
3x7D	-6,38**	3x8D	-2,21**	10x3R	-1,21*
1x4D	-6,32**	6x10D	-2,29*	7x4R	-1,10**
7x3R	-6,19*	3x10D	-1,93*	3x10D	-1,09**
5x9D	-5,20*	1x5D	-1,51*	1x7D	-0,47*
4x1R	-5,05*	8x7R	-1,30ns	3x10D	-0,45*

NGH = número de granos por hilera; LM = longitud de mazorca; DM = diámetro de mazorca; D = indica cruza directa; R = cruza recíproca.

los efectos maternos fueron de mayor magnitud que los efectos no maternos; este comportamiento difiere al reportado por Ávila et al. 2009 y consistentes con los de Cervantes et al. (2007). Sámano et al. (2009) mencionan que el efecto materno (recíproco general) se refiere al efecto del genotipo o tejido materno sobre alguna característica de su progenie, mientras que Wong et al. (2007) mencionan que el componente no materno (recíproco específico) es la interacción entre factores nucleares y extranucleares en los cruzamientos.

La diferencia estadística, en relación a los efectos recíprocos para el rendimiento y sus componentes, es atribuida principalmente a la influencia del efecto materno (recíproco general), a excepción del diámetro de mazorca que fue determinado por los efectos no maternos (ENM). Al respecto Ordás et al. (2008) reportaron efectos recíprocos para emergencia, vigor y días a floración en híbridos de maíz. En este sentido Ávila et al. (2009) y Palemon et al. (2008) concluyeron que el componente no materno fue más importante en la expresión de los efectos recíprocos para el rendimiento y la longitud de mazorca, cuando trabajaron con líneas endogámicas de maíz para Valles Altos.

La detección de cruzamientos específicos sobresalientes en los caracteres más importantes considerados en la generación de nuevos cultivares, es la parte de mayor importancia del trabajo del fitomejorador. Al analizar los resultados obtenidos en los grupos de variables agronómicas y del rendimiento y sus componentes, se observó que los progenitores que mostraron alta ACG intervinieron en algunas cruzas específicas sobresalientes, lo cual concuerdan con lo reportado por Haro et al. (2007), Cervantes et al. (2007) y Ávila et al. (2009), quienes señalan que una cruza específica será destacada, si al menos uno de sus progenitores es de alta ACG. Por otro lado, se observó falta de consistencia en el comportamiento de la mejor ACE con respecto a los estimadores de los progenitores con la mayor ACG; y a lo cual De la Cruz et al. (2010) puntualizaron que el comportamiento de las cruzas específicas no puede ser predicho totalmente en base a los estimadores de la ACG de sus parentales.

CONCLUSIONES

Los resultados reflejaron que los genes aditivos fueron más importantes que los dominantes para todas las variables, además se encontró en la mayoría de los caracteres la presencia de efectos recíprocos, donde la mayor proporción se atribuyó a los efectos maternos (recíproco general). No existió una consistencia entre los progenitores con la mayor ACG en la formación de cruzas de

alta ACE. Conocer la herencia de sus cruzas y sus progenitores (razas) permite parte del éxito en un programa de mejoramiento para la formación de variedades mejoradas e híbridos.

LITERATURA CITADA

- Antuna, G.O., S.F. Rincón, R.E. Gutiérrez, T.N.A. Ruíz, y G.L.A. Bustamante. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1):11-17.
- Avila, P.M.A., H.S.A. Rodríguez, B.M.E. Vázquez, E.F. Borrego, R.A.J. Lozano, y B.A. López. 2009. Aptitud combinatoria y efectos recíprocos en líneas endogámicas de maíz de valles altos del centro de México. *Agricultura Técnica México* 35(3):285-293.
- Borghì, M.L., M.A. Ibañez, N.C. Bonamico, M.V. Kandus, D.A. Gomar, E.A. Guillin, J.C. Salerno, and M.A.D. Renzo. 2012. Combining ability of Flint corn inbred lines: Mal del Rio Cuarto Disease tolerance and grain yield. *J. Exp. Bot.* 81:123-131.
- Cervantes, O.F., A.G. García, A.C. Carballo, D. Bergvinson, J. Crossa, E.M. Mendoza, y M.E. Moreno. 2006. Análisis dialélicos para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica México* 32(1):77-87.
- Cervantes, O.F., A.G. García, A.C. Carballo, D. Bergvinson, J. Crossa, E.M. Mendoza, y M.E. Moreno. 2007. Herencia del vigor de plántula y relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41(4):425-433.
- Coutiño, E.B., M.V.A. Vidal, G.B. Cruz, y V.C. Cruz. 2010. Aptitud combinatoria general y específica del contenido de azúcares en maíces criollos eloteros. *Rev. Fitotec. Mex.* 33 (Núm. Especial 4):57-61.
- De la Cruz, L.E., H.S.A. Rodríguez, B.M.A. Estrada, P.J.D. Mendoza, y M.N.P. Brito. 2009. Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. *Universidad y Ciencia* 21(41):19-26.
- De la Cruz, L.E., N.G. Castañón, M.N.P. Brito, V.A. Gómez, T.V. Robledo, y J.A. Lozano. 2010. Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Revista Internacional de Botánica Phytón (Argentina)* 79:11-17.
- De la Rosa, L.A., H.C. De León, F.S. Rincón, y G.Z. Martínez. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados al bajo mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(3):247-254.
- Dzib, A.L.A., C.J.C. Segura, P.R. Ortega, y L.M.

- Latournerie. 2011. Cruzas dialélicas entre poblaciones nativas de Yucatán y poblaciones mejoradas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:119-127.
- El-Badawy, M.E.M. 2013. Heterosis and combining ability in maize using diallel crossed among seven new inbred lines. *Asian J. Crop Sci.* 5:1-13.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Austr. J. Biol. Sci.*
- Haochuan, L., T. Jihua, H. Yanmin, Y. Jiwey, and L. Zonghua. 2014. Analysis on combining ability and estimation of genetic parameters for chlorophyll content in maize. *J. Plant Breed. and Crop Sci* 6(8):97-104.
- Haro, R.P.A., M.C.J. García, y H.V. Reyes. 2007. Determinación materna del contenido de aceite en semillas de girasol. *Rev. Fitotec. Mex.* 30:39-42.
- Hernández, E.F.J. 2015. Parámetros genéticos para calidad de semilla, concentración de clorofila, rendimiento y sus componentes en líneas S3 de maíz. 88 p. Tesis de Maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas. Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Gto., México.
- INIFAP. 2011. Guía para cultivar maíz de riego y temporal en Guanajuato. 33 p. Folleto para productores N° 3. CEBAJ, Celaya, México.
- Kanagarasu, S., G. Nallathambi, and K.N. Ganesan. 2010. Combining ability analysis for yield and its components traits in maize (*Zea mays* L.). *Electron. J. Plant Breed.* 1:915-920.
- Luna, O.J., J.L.H. García, R.D.C. Valdés, M.A.R. Gallegos, P.R. Preciado, C.G. Guerrero, y A.B. Espinoza. 2013. Aptitud combinatoria y sus componentes genéticos en líneas de maíz. *Universidad y Ciencia* 29(3):243-253.
- Ordás, B., R.A. Malvar, A. Ordás, and P. Revilla. 2008. Reciprocal differences in sugary x sugary enhancer sweet corn hybrids. *J. Amer. Soc. Hortic. Aci.* 133:777-782.
- Palemón, A.F., G.F. Castillo, M.N. Gómez, V.P. Ramírez, G.J.D. Molina, y C.S. Miranda. 2008. Diversidad fenotípica de maíz ancho. p. 73. En XXII Congreso Nacional y 2º Internacional de Fitogenética. 21 a 26 de Septiembre. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI), Texcoco, México.
- Poelhman, J.M, y D.S Allen. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. 2ª ed. Ed. Limusa, México DC, México.
- Sámamo, G.D., S.F. Rincón, T.N.A. Ruíz, V.J. Espinoza, y C.H. León. 2009. Efectos genéticos en cruza directa y recíprocas formadas a partir de líneas de dos grupos germoplásmicos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(1):67-74.
- USDA. 2012. World agricultural supply and demand estimates. 42 p. United States Department of Agriculture (USDA), Economy Department. Research Service, Washington D.C., USA.
- Wong, R.R, R.E. Gutiérrez, E.G.A. Palomo, S.H. Rodríguez, H.O. Córdoba, B.A. Espinoza, y J.J.G. Lozano. 2007. Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento de líneas de maíz para grano en la comarca lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(2):181-189.
- Zhang, Y., and M.S. Kang. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallels methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders. M.S. Kang (ed). FPP. New York-London, Oxford, USA.