



Universidad y Ciencia

ISSN: 0186-2979

ciencia.dip@ujat.mx

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

México

Cruz-Lázaro, E. de la; Rodríguez-Herrera, S. A.; Estrada-Botello, M.A.; Mendoza-Palacios, J. D.; Brito-Manzano, N.P.

Análisis dialélico de líneas de maíz qpm para características forrajeras

Universidad y Ciencia, vol. 21, núm. 41, junio, 2005, pp. 19-26

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Villahermosa, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15404103>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## ANÁLISIS DIALÉLICO DE LÍNEAS DE MAÍZ QPM PARA CARACTERÍSTICAS FORRAJERAS

### Diallel analysis of QPM maize inbred lines for forage characteristics

E de la Cruz-Lázaro , SA Rodríguez-Herrera, MA Estrada-Botello, JD Mendoza-Palacios, NP Brito-Manzano

(ECL) (MAEB) (JDMP) (NPBM) División Académica de Ciencias Agropecuarias  
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
Km 25 Carretera Villahermosa – Teapa, Centro, Tabasco, México.  
efrain.delacruz@daca.ujat.mx

(SARH) Instituto Mexicano del Maíz  
Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”  
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

**Artículo recibido:** 12 de mayo de 2005

**Artículo aceptado:** 13 de junio de 2005

**RESUMEN.** El objetivo del presente trabajo fue estimar los efectos de la aptitud combinatoria general (ACG) de ocho líneas de maíz (*Zea mays L.*) de alta calidad proteínica y la aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruzas directas. El material genético consistió de 28 cruzas directas posibles entre las líneas. Las cruzas fueron evaluadas en los años 2001 y 2002, en Torreón, Coahuila, México. En ambos años, la densidad de población aproximada fue de 80 000 plantas  $ha^{-1}$ . Las variables: producción de forraje verde (PFV), materia seca total (MST), porcentaje de mazorca (PM) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV) se evaluaron con un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones. Los parámetros genéticos fueron estimados mediante el diseño dialélico IV de Griffing, con el cual se detectaron diferencias estadísticas para ACE en todas las características evaluadas, con excepción de la DIV. Los efectos genéticos aditivos predominaron en la variable DIV, en tanto que los de dominancia fueron de mayor importancia en la expresión de la PFV, PM y MST. Los mayores efectos de ACG se observaron en las líneas CML144 para PFV; CML146 para PM; CML148 para MST y CLQ6203 para DIV. Mientras que los mayores efectos de ACE para PFV y MST lo presentó la cruza CML146 + CML148, y para las variables PM y DIV correspondieron a las cruzas CML173 + CML144 y CML146 + CLQ6203. Los resultados indican que existe amplia variación genética entre líneas evaluadas, que puede usarse en forma inmediata para iniciar programas de mejoramiento genético para forraje.

**Palabras clave:** *Zea mays L.*, aptitud combinatoria, líneas, cruzas dialélicas, digestibilidad, forraje.

**ABSTRACT.** The objective of this study was to estimate the general combining ability (GCA) in eight inbred lines of quality protein maize (*Zea mays L.*) and the specific combining ability (SCA) in their direct crosses. The genetic material consisted of 28 crosses derived from crossing eight inbred lines. The crosses were evaluated at Torreón, Coahuila, México; from 2001 to 2002. In both years, a plant density was 80,000 plants  $ha^{-1}$ . The parameters green forage yield (GFY), dry matter production (DMY), ear proportion (EP) and *in vitro* dry matter digestibility (IVD) were estimated through a complete randomized block experimental design with two replications. The Griffing Method IV design was utilized to estimate GCA and SCA effects. The Diallel Analysis indicated significant effects for SCA effects from all evaluated characteristics, except for IVD. The additive effects as more important for IVD, and non additive effects were important in GFY, DMY and PM. The lines CML144 for GFY, CML146 for EP, CML148 for DMY and CLQ6203 for IVD showed the highest GCA, and the Crosses CML146 + CML148 for DMY and GFY, CML173 + CML144, CML146 + CML148 showed the best SCA effects for EP and IVD, respectively. The results showed wide genetic variation between the evaluated inbreds, which can be used immediately to begin effective genetic improvement programs for forage.

**Key words:** *Zea mays L.*, combining ability, inbred lines, diallel crosses, digestibility, forage

## INTRODUCCIÓN

El creciente aumento en la producción de maíz forrajero en las cuencas lecheras del país, plantea la necesidad de definir estrategias que identifiquen fuentes de germoplasma y aprovechen el potencial genético existente a través del desarrollo de programas de mejoramiento genético. A la fecha, ninguno de los híbridos de maíz usados para forraje en México ha sido desarrollado en programas de mejoramiento genético para mayor producción y calidad forrajera, sino que fueron seleccionados para rendimiento de grano (Peña *et al.* 2004).

Entre los métodos existentes para estudiar las cualidades de un conjunto de progenitores se encuentran los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956), que permiten identificar las combinaciones superiores. Sprague & Tatum (1942) propusieron el método que incluye a las cruzas dialélicas y que originó los conceptos de aptitud combinatoria general y específica. La aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población, de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez 1988). Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios; a fin de poder seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria. Al respecto Hoegenmeyer & Hallauer (1976) señalaron que la aptitud combinatoria específica (ACE) es más importante que la aptitud combinatoria general (ACG) en un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, ya que con la ACE se puede hacer mejor uso de los efectos no aditivos como la dominancia y la epistasis. Además, la ACG explica la proporción de la varianza genotípica debida a los efectos aditivos de los genes, mientras que la ACE revela la proporción de la varianza genotípica que puede deberse a las desviaciones de dominancia. Los efectos de ACE fueron más importantes que los de ACG cuando los materiales fueron sometidos a selección (Singh & Chaudary 1985).

Entre los criterios de selección para el mejoramiento del maíz para ensilaje están la digestibilidad, el rendimiento de la materia seca y el porcentaje de elote. Varios estudios han demostrado la existencia de una amplia variabilidad genética en la calidad forrajera del maíz, factible de ser explotada genéticamente (Peña *et al.* 2003; Peña *et al.* 2004). Según Lauer *et al.* (2001) el mejoramiento genético para grano ha propiciado incrementos en producción de materia seca total, de la parte vegetativa y del grano, así como incrementos significativos en la digestibilidad *in vitro* del forraje.

En años recientes se han desarrollado híbridos forrajeros con mayor digestibilidad, bajo el supuesto de que así se incrementa el consumo de materia seca y se logra mayor producción de leche. Al respecto Arguillier *et al.* (2000)

sugieren desarrollar líneas para la formación de híbridos forrajeros, lo que además permite evaluar un gran número de genotipos prometedores. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estimar los efectos de la ACG de ocho líneas de maíz de alta calidad proteínica (QPM) y la ACE de sus cruzas directas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó durante los años 2001 y 2002 en el "Rancho Ampuero" en Torreón, Coahuila, México ( $25^{\circ} 33' N$  -  $103^{\circ} 26' O$ ), a una altitud de 1 200 metros sobre el nivel del mar, con temperatura y precipitación media anual de  $21^{\circ} C$  y 220 mm, respectivamente.

El material genético lo constituyeron 28 cruzas directas provenientes de un cruzamiento dialélico entre ocho líneas endogámicas de maíz de alta calidad de proteína (QPM) de grano blanco provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (Tabla 1). En ambos años las 28 cruzas se evaluaron con un diseño en bloques completos al azar con dos repeticiones. La siembra se realizó en húmedo el 10 de julio de 2001 y el 20 de abril de 2002. Las parcelas experimentales consistieron cada una de tres surcos de 3.0 m de longitud, distanciados a 0.75 m. La distancia entre plantas fue de 0.16 m entre plantas, para obtener una densidad de población de 80 000 plantas  $ha^{-1}$ . En ambos años se fertilizó con la fórmula 120-60-00. Sesenta unidades de nitrógeno y todo el fósforo se aplicaron en la siembra, y el resto del nitrógeno en la escarda antes del primer riego de auxilio. El manejo del cultivo en los dos años del estudio fue el recomendado por el INIFAP. En cada año se administraron cuatro riegos (un riego de presiembra y tres de auxilio a los 30, 60 y 90 días después de la siembra) y una escarda mecánica a los 26 días después de la siembra para el control de malezas. El control de plagas se realizó durante todo el ciclo del cultivo mediante insecticidas.

En ambos años se evaluaron las variables: producción de forraje verde (PFV), determinada cuando el grano presentó un tercio de avance de la línea de leche (Peña *et al.* 2003). Para medirla la PFV se pesaron 10 plantas por parcela útil y los resultados se transformaron a ton  $ha^{-1}$ . Al momento de la determinación del PFV se recolectó una submuestra de 500 g de forraje verde y se secó en una estufa de aire forzado a temperatura de  $60^{\circ} C$  hasta alcanzar peso constante para estimar el contenido de materia seca total (MST) en ton  $ha^{-1}$ . El porcentaje de mazorca (PM) se estimó con una muestra de 10 plantas. Los elotes y las plantas se pesaron por separado para calcular el porcentaje de elote como la relación entre el peso total del elote entre el peso total de la planta. La digestibilidad *in vitro* (DIV)

de la materia seca se obtuvo con el procedimiento descrito por Tilley & Terry (1963) modificado por Goering & van Soest (1970).

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza con base en un diseño de bloques completos al azar. Respecto a los tratamientos se hizo una descompo-

Tabla 1. Origen de las líneas usadas en el experimento (CML= línea QPM del CIMMYT; CLQ = línea en proceso de liberación)  
Table 1. Origin of used lines in the experiment (CML= line QPM from the CIMMYT; CLQ = line in liberation process)

Línea	Origen	Descripción de la población o pool
CML146	Población 63	Población tropical de grano blanco dentado, con germoplasma de Tuxpeño-1 QPM, la posta QPM y pool 24 QPM. Con contenidos promedios de lisina y triptofano en el grano del 9 al 10 %.
CML147		
CML159		
CLQ6203	Población 62	Población tropical de grano blanco semiduro, de amplia base genética con germoplasma Tuxpeño-1 QPM, mezcla tropical blanca, blanco cristalino, Tuxpeño caribe, la posta y Pools 20,23 y 24.
CML144		
CML148	Pool 23	Tropical, con grano blanco dentado y madurez intermedia. Proviene principalmente de germoplasma Tuxpeño de México y materiales tardíos de América central.
CML150	Pool 24	Pool tropical de grano blanco dentado. Con germoplasma Tuxpeño-1 QPM, mezcla tropical blanca, tuxpeño caribe, la posta, y familias resistentes a <i>Phyllachora maydis</i> del pool blanco dentado QPM.
CML173	Población 68	Población subtropical de granos blancos semidentados a dentados. La base genética incluye de 30 a 40 % de germoplasma templado y de 60 a 70 % de germoplasma tropical, con contenidos promedios de triptofano y lisina en el grano de 10 a 11 %.

ción según el modelo IV de Griffing (1956) para determinar los efectos de ACG y ACE (Martínez 1983). Los valores máximos de las variables en estudio fueron aquellos que superaron al valor de la media general de la característica en estudio más dos veces su error estándar ( $\mu + 2\sigma$ ) (Antuna *et al.* 2003). Los efectos genéticos de ACG y ACE de las variables fueron estimadas con la prueba de *t*, cuyo valor se obtuvo al dividir el valor del parámetro estimado entre su error estándar (Singh & Chaudary 1985; Antuna *et al.* 2003).

## RESULTADOS

Los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para dos años y cuatro variables (Tabla 2), mostraron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) para años en la variable PM y diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) para PFV y MST. Las cruzas mostraron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) para la PFV, PM y MST. Para la interacción años\* cruzas sólo el PM presentó diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ). En las restantes tres variables no se estimaron diferencias estadísticas. Los valores mínimos y máximos de los coeficientes de variación fueron de 3.95 a 15.9 % que correspondieron a la DIV y el PM, respectivamente. Con base en la descomposición de la suma de cuadrados de la fuente de variación cruzas en ACG y ACE, no se encontraron diferencias estadísticas.

cas para la ACG de ninguna de las variables evaluadas, en tanto que para la ACE solamente tuvieron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) la PFV, PM y MST.

La expresión genotípica de las cruzas determinada por los valores medios de las variables en estudio, mostraron una amplia variación entre ellas (Tabla 3). En general, las cruzas de alta PFV (CML148 + CML144 y CML144 + CML159) resultaron con alta producción de MST y bajo PM. Mientras que, las cruzas de mayor PM (CML146 + CML148 y CLQ6203 + CML148) alcanzaron rendimientos promedios o menores de PFV y MST. Para la DIV la cruz de mayor valor (CML146 + CLQ6203) tuvo bajos rendimientos de PFV y MST.

Las líneas presentaron efectos positivos y negativos de ACG con diferencias estadísticas de ( $p < 0.01$ ) y ( $p < 0.05$ ) en las variables PFV y MST (Tabla 4). En tanto, ninguna línea presentó efectos significativos para las variables PM y DIV. Para la PFV los mayores efectos de ACG correspondieron a las líneas CML144 (9.02) y los menores efectos a las líneas CML150 (-6.36) y CML173 (-5.14). En tanto que para MST el mayor y menor efecto lo presentaron las líneas CML148 (2.79) y CML147 (-2.81).

En los efectos estimados de ACE para las 28 cruzas se observaron que las cruzas presentaron valores positivos y negativos con diferencias estadísticas de ( $p < 0.01$ )

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza dialélico (GL= grados de libertad; PFV= rendimiento de forraje verde (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); PM= porcentaje de mazorca (%); MST = materia seca total (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); DIV= digestibilidad *in vitro* de la materia seca (g<sup>kg</sup><sup>-1</sup> de MS); CV = coeficiente de variación; \* = p<0.05, \*\*= p<0.01).

Table 2. Mean squares from diallel analysis (GL= degree of freedom; PFV= green forage yield (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); PM= ear percentage (%); MST= dry matter production (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); DIV= *in vitro* dry matter digestibility (g<sup>kg</sup><sup>-1</sup> of MS); CV= coefficient of variation; \* p<0.05; \*\*= p<0.01).

FV	GL	PFV	PM	MST	DIV
Años	1	575.41*	3234.67**	189.02*	901.83
Rep(Años)	2	16.98	86.02	3.99	35.74
Cruzas	27	329.61**	221.12**	84.44**	672.82
ACG	7	589.48	81.82	128.92	918.83
ACE	20	242.85**	269.97**	68.74**	586.72
Años * Cruzas	27	16.67	169.06**	6.90	34.24
Error	54	10.47	22.07	2.46	723.98
CV		7.0	15.9	8.0	3.95

Tabla 3. Medias de las variables evaluadas. <sup>a</sup> = valores mayores que  $\mu + 2\sigma$ ;  $\mu$  = media general;  $\sigma$  = desviación estándar; PFV= producción de forraje verde (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); PM= porcentaje de mazorca (%); MST = Materia seca total (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); DIV= digestibilidad *in vitro* de la materia seca (g<sup>kg</sup><sup>-1</sup> de MS).

Table 3. Means of traits evaluated. <sup>a</sup> = greater values that  $\mu + 2\sigma$ ;  $\mu$  = general mean;  $\sigma$  = standard deviation; PFV= green forage yield (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); PM= ear percentage (%); MST= dry matter production (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); DIV= *in vitro* dry matter digestibility (g<sup>kg</sup><sup>-1</sup> of MS); CV= coefficient of variation.

Cruzas	PFV	PM	MST	DIV
CML146 x CLQ6203	44.3	44 <sup>a</sup>	13.3	712 <sup>a</sup>
CML146 x CML147	51.0	42	15.3	667
CML146 x CML148	41.5	55 <sup>a</sup>	12.5	671
CML146 x CML150	40.7	43	12.3	632
CML146 x CML173	51.5	46 <sup>a</sup>	15.5	679
CML146 x CML144	59.3 <sup>a</sup>	32	17.8 <sup>a</sup>	694 <sup>a</sup>
CML146 x CML159	63.2 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	19.0 <sup>a</sup>	677
CLQ6203 x CML147	53.0 <sup>a</sup>	38	15.9	696 <sup>a</sup>
CLQ6203 x CML148	57.5 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	17.3 <sup>a</sup>	695 <sup>a</sup>
CLQ6203 x CML150	43.0	33	12.9	675
CLQ6203 x CML173	40.0	47 <sup>a</sup>	12.0	694 <sup>a</sup>
CLQ6203 x CML144	57.0 <sup>a</sup>	40	17.1 <sup>a</sup>	673
CLQ6203 x CML159	60.3 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	18.1 <sup>a</sup>	693 <sup>a</sup>
CML147 x CML148	47.7	41	14.3	678
CML147 x CML150	53.1 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	15.9	678
CML147 x CML173	53.5 <sup>a</sup>	32	16.1	662
CML147 x CML144	65.6 <sup>a</sup>	42	19.7 <sup>a</sup>	708 <sup>a</sup>
CML147 x CML159	47.0	51 <sup>a</sup>	14.1	672
CML148 x CML150	54.4 <sup>a</sup>	41	16.3 <sup>a</sup>	657
CML148 x CML173	61.5 <sup>a</sup>	29	18.5 <sup>a</sup>	685
CML148 x CML144	71.3 <sup>a</sup>	33	21.4 <sup>a</sup>	673
CML148 x CML159	50.5	34	15.9	675
CML150 x CML173	40.7	46 <sup>a</sup>	12.2	662
CML150 x CML144	53.0 <sup>a</sup>	48 <sup>a</sup>	15.9	681
CML150 x CML159	41.9	47 <sup>a</sup>	12.6	701 <sup>a</sup>
CML173 x CML144	42.5	51 <sup>a</sup>	12.8	658
CML173 x CML159	44.3	36	13.3	703 <sup>a</sup>
CML144 x CML159	70.4 <sup>a</sup>	35	21.1 <sup>a</sup>	707 <sup>a</sup>
$\mu$	52.12	42	15.7	681
$\sigma$	0.34	0.8	0.2	4

Tabla 4. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de ocho líneas de maíz. \* (p<0.05), \*\* (p<0.01); PFV= producción de forraje verde (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); PM= porcentaje de mazorca (%); MST = materia seca total (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); DIV= digestibilidad *in vitro* de la materia seca (g<sup>kg</sup><sup>-1</sup> de MS).Table 4. General combining ability (GCA) effects of eight maize inbred lines. \* (p<0.05), \*\* (p<0.01); PFV = green forage yield (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); PM= ear percentage (%); MST= dry matter production (ton<sup>ha</sup><sup>-1</sup>); DIV= *in vitro* dry matter digestibility (g<sup>kg</sup><sup>-1</sup> of MS)

Líneas	Características agronómicas			
	PFV	PM	MST	DIV
CML146	-2.24*	2.49	-0.15	-5.46
CLQ6203	-1.63	1.84	-0.74	12.29
CML147	0.99	-0.80	-2.81**	-0.54
CML148	3.24**	-1.48	2.79**	-5.21
CML150	-6.36**	-1.58	-1.54**	-13.21
CML173	-5.14**	0.99	-2.55**	-3.63
CML144	9.02**	-2.59	2.54**	5.04
CML159	2.12*	1.37	2.46**	10.71

y (p < 0.05) en alguna de las cuatro variables evaluadas (Tabla 5). Por ejemplo, la cruz CML148 + CML173 presentó los mayores efectos para PFV (11.27) (p < 0.01) y MST (7.77) (p < 0.01), pero en contraste tuvo efectos negativos en la PM (-10.37) (p < 0.01). Mientras que la cruz CML173 + CML144 presentó los mayores efectos para PM (12.99) (p < 0.01) y efectos negativos para PFV (-13.51) (p < 0.01), MST (-7.11) (p < 0.01) y DIV (-24.09) (p < 0.05). Mientras que la cruz CML146 + CLQ6203 presentó efectos positivos para DIV (24.49) (p < 0.05) y negativos para PFV, MST y PM.

## DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado detectó diferencias estadísticas entre años, para las variables PFV, MST y PM, lo que significa que el ambiente constituido por clima, suelo y manejo no es uniforme de un año a otro, por lo que en un programa de mejoramiento genético de plantas es común establecer el mismo experimento en diferentes ambientes o años, con el fin de estimar con mayor precisión el valor de los componentes genéticos y separar el efecto de la interacción genotipo + ambiente (Gutiérrez *et al.* 2002). Las diferencias detectadas para la fuente de variación cruzas en el análisis dialélico sugiere que las cruzas son diferentes entre sí para las variables PFV, MST y PM; al respecto Gutiérrez *et al.* (2002) encontraron que a medida que incrementa la diversidad genética de las líneas, se incrementan las diferencias entre sus híbridos. En el análisis combinado la DIV no tuvo diferencias estadística para ninguna fuente de variación, lo que sugiere que su variación genética es mínima (Núñez *et al.* 2001; Peña *et al.* 2003). Para la interacción años \* cruzas solamente mostró diferencias estadísticas la PM, lo que indica que para ésta variable los genotipos mostraron una respuesta diferente entre años.

Las variables PM, PFV y MST son de las más afectadas por factores ambientales; lo que justifica que el mayor coeficiente de variación correspondiera a la variable PM (Tabla 2). Los coeficientes de variación de las variables estudiadas, no son tan altos para dudar de la confiabilidad de los resultados, ya que un coeficiente de variación del 15 % es típico de experimentos de maíz en bloques completos al azar, e indica que el experimento estuvo adecuadamente conducido. Aunque debido a la diversidad de orígenes de las líneas utilizadas se esperaban mayores coeficientes de variación (Kang *et al.* 1999).

Las diferencias significativas para la ACE de las variables PFV, MST y PM sugieren que existen cruzas específicas con los efectos de dominancia de algunas líneas que pueden ser utilizadas para formar híbridos con alta PFV, MST y PM. Este resultado coincide con Dhillon *et al.* (1990). La proporción relativa de los efectos de ACG y ACE, determinada por los cuadrados medios, indica el tipo de acción genética promedio de los factores genéticos que determinan los caracteres (Baker 1978; Antuna *et al.* 2003), por lo que para las variables PFV, MST y DIV los efectos de ACG fueron más importantes que la ACE, lo que señala la importancia de los efectos de tipo aditivo en estas características, coincidiendo estos resultados con Ferret *et al.* (1991) y con Barrière *et al.* (1993). Estos autores señalaron la importancia de los efectos de tipo aditivo en estas variables. En tanto, que los efectos de ACE fueron los más importantes para la variable proporción de mazorca, lo que pudo deberse a que los efectos de dominancia y/o epistasis están interaccionando.

Las cruzas de mayor PFV y MST tuvieron bajo PM, lo que coincide con Núñez *et al.* (2003). Estos autores registraron que el rendimiento de materia seca de los híbridos de maíz se asoció negativamente con la proporción de mazorca. En lo referente a la DIV las cruzas de mayor valor

Tabla 5. Efectos estimados de aptitud combinatoria específica (ACE) de 28 cruzas. \* (p<0.05), \*\* (p<0.01); PFV= producción de forraje verde (ton\*ha<sup>-1</sup>); PM= porcentaje de mazorca (%); MST = Materia seca total (ton\*ha<sup>-1</sup>); DIV= digestibilidad *in vitro* de la materia seca (g\*kg<sup>-1</sup> de MS).Table 5. Specific combining ability (ACE) effects of 28 crosses. \* (p<0.05), \*\* (p<0.01); PFV= green forage yield (ton\*ha<sup>-1</sup>); PM= ear percentage (%); MST= dry matter production (ton\*ha<sup>-1</sup>); DIV= *in vitro* dry matter digestibility (g\*kg<sup>-1</sup> of MS).

Genotipos	PFV	PM	Características agronómicas		DIV
			MST	DIV	
CML146 x CLQ6203	-3.95**	-3.00	-1.85*	24.49*	
CML146 x CML147	0.13	-2.37	2.70**	-7.68	
CML146 x CML148	-11.62**	11.81**	-4.51**	0.49	
CML146 x CML150	-2.87**	-3.15	-4.44**	-30.51**	
CML146 x CML173	6.76**	2.92	3.72**	7.40	
CML146 x CML144	0.34	-9.90**	0.93	14.24	
CML146 x CML159	11.20**	3.69	3.46**	-8.42	
CLQ6203 x CML147	1.52	-5.27	-1.85*	3.57	
CLQ6203 x CML148	3.77**	12.21**	1.26	7.24	
CLQ6203 x CML150	-1.13	-12.50**	-0.96	-4.76	
CLQ6203 x CML173	-5.33**	4.37	-3.52**	5.15	
CLQ6203 x CML144	-2.51*	-1.78	3.87**	-24.51*	
CLQ6203 x CML159	7.64**	5.97*	3.05**	-11.18	
CML147 x CML148	-8.70**	0.60	-2.01**	3.07	
CML147 x CML150	6.29**	3.13	5.30**	11.07	
CML147 x CML173	5.52**	-7.79**	2.03**	-14.01	
CML147 x CML144	3.46**	3.21	-3.13**	22.82*	
CML147 x CML159	-8.23**	8.48**	-3.04**	-18.84	
CML148 x CML150	5.39**	-1.19	1.83*	-5.26	
CML148 x CML173	11.27**	-10.37**	7.77**	12.65	
CML148 x CML144	6.86**	-5.06*	-0.78	-7.51	
CML148 x CML159	-6.98**	-8.01**	-3.55**	-10.68	
CML150 x CML173	0.07	4.12	-0.32	-2.34	
CML150 x CML144	-1.79	7.02**	1.09	8.49	
CML150 x CML159	-5.98**	2.57	-2.49**	23.32*	
CML173 x CML144	-13.51**	12.99**	-7.11**	-24.09*	
CML173 x CML159	-4.80**	-6.23*	-2.57**	15.23	
CML144 x CML159	7.14**	-6.48*	5.14**	10.57	

presentaron bajos valores de PM. Estos resultados concuerdan con Peña *et al.* (2003) quienes señalaron que los híbridos con alta DIV, no son los de alta proporción de mazorca.

Para PFV y MST la línea CML144 presentó efectos positivos y significativos de ACG, lo que la hace ser una posible progenitora de cruzas con alta PFV y MST. Para porcentaje de elote no se estimaron efectos significativos para ninguna línea, por lo que se infiere que todas las líneas imparten efectos similares a sus cruzas, pero dentro de ellas sobresalen por sus mayores efectos de ACG las líneas CML146, CLQ6203 y CML159. Entre estas líneas, la CML159 es la mejor candidata para un programa de mejoramiento genético de maíz forrajero, al impartir a sus cruzas efectos positivos de PFV, MST, PM y DIV. En la variable DIV no se determinaron efectos significativos para alguna

línea; por lo que se infiere que todas las líneas imparten efectos similares a sus cruzas. Sin embargo, los mayores efectos de DIV, lo presentaron las líneas CLQ6203 y CML159.

La crusa CML148 x CML173 presentó el mayor valor de ACE para rendimiento de forraje verde y materia seca total. Para PM la crusa de mayor efecto de ACE fue la CML173 x CML144 y para DIV el mayor efecto correspondió a la crusa CML146 x CLQ6203. Con las cruzas de mayor ACE de las variables en estudio se podrían formar híbridos dobles con características deseables de calidad forrajera, ya que estas cruzas con los mayores efectos de ACE resultaron de cruzar dos líneas de cualquier valor de ACG, ya sea positivo o negativo, con una tendencia a tener bajos valores entre dos líneas de baja ACG, como lo indicaron Gómez & Valdivia (1988) y Pons *et al.* (1991).

## LITERATURA CITADA

- Antuna GO, Rincón SF, Gutiérrez del RE, Ruiz TNA, Bustamante GL (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(1):11-17.
- Arguillier O, Méchin V, Barrière Y (2000) Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. *Crop Sci.* 40:1596-1600.
- Baker RJ (1978) Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18:533-536.
- Barrière Y, Hébert Y, Julier B, Young E, Furstoss V (1993) Genetic variation for silage and NIRS traits in a half-diallel design of 21 inbred lines of maize. *Maydica* 38:7-13.
- Dhillon BS, Paul Chr, Zimmer E, Gurrath PA, Pollmer WG (1990) Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize. *Crop Sci.* 30:931-936.
- Ferret A, Casañas F, Verdú AM, Bosch L, Nuez F (1991) Breeding for yield and nutritive value in forage maize: An easy criterion for stover quality and genetic analysis of Lancaster variety. *Euphytica* 53:61-66.
- Goering HK, van Soest PJ (1970) Forage Fiber Analysis (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). En: Agricultural Handbook No. 379. U.S. Department of Agriculture – Agricultural Research Service. U.S. Government Printing Office, Washintong, DC. 19-20.
- Gómez MN, Valdivia BR (1988) Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11:35-49.
- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Gutiérrez del RE, Palomo GA, Espinoza BA, de la Cruz LE (2002) Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3):271- 277.
- Hoegenmeyer TC, Hallauer AR (1976) Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Sci.* 16:76.80.
- Kang SM, Kushairi DA, Zhang Y, Magari R (1999) Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Sci.* 39:368-371.
- Lauer JG, Coors JG, Flannery PJ (2001) Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. *Crop Sci.* 41:1449-1455.
- Márquez SF (1988) Genotecnia Vegetal. Tomo II. Primera edición. Editor AGT. México. 563 pp.
- Martínez GA (1983) Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas. Segunda edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de Méx. 252 pp.
- Núñez HG, Contreras GEF, Faz CR (2003) Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Téc. Pecu. Méx.* 41(1):37-48.

Núñez HG, Faz CR, Tovar GM, Zavala GA (2001) Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. Téc. Pecu. Méx. 39(2):77-88.

Peña RA, Nuñez HG, González CF (2003) Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. Téc. Pecu. Méx. 41(1):63-74.

Peña RA, González CF, Núñez HG, Jiménez GC (2004) Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. Rev. Fitotec. Mex. 27 (Núm. Especial 1):1-6.

Pons HJL, Carballo QA, González HV, Ángeles AH (1991) Modificaciones al índice de cosecha. Agrociencia 2:35-49.

Singh RK, Chaudary BD (1985) Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. Kalyani Publishers. New Delhi, India. 319 pp.

Sprague GF, Tatum LA (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. J. Am. Soc. Agron. 34:923-932.

Tilley JM, Terry RA (1963) A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Brit. Grassland Soc. 18:104-111.