

APTITUD COMBINATORIA DE LÍNEAS DE MAÍZ DE ALTA CALIDAD DE PROTEÍNA PARA CARACTERÍSTICAS FORRAJERAS

Combining ability of protein high quality maize inbred lines for forage characteristics

E de la Cruz-Lázaro ✉, SA Rodríguez-Herrera, A Palomo-Gil, A López Benítez, V Robledo-Torres, A Gómez-Vázquez, R Osorio-Osorio

(ECL) (AGV) (ROO) División Académica de Ciencias Agropecuarias Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Km 25 Carretera Villahermosa - Teapa, Centro, Tabasco, México. Tel. Fax +52 01 (993) 142 91 50. efrain.delacruz@daca.ujat.mx. (SARH) (APG) (ALB) (VRT) Universidad Autónoma Agraria "Autónoma Antonio" Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Artículo recibido: 23 de junio de 2006 **aceptado:** 11 de junio de 2007

RESUMEN. Los objetivos de la presente investigación fueron estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de ocho líneas de maíz de alta calidad de proteína (ACP) y la aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruzas. Se realizaron 28 cruzas directas entre las líneas, las cuales fueron evaluadas en el 2001 y 2002, en Torreón, Coahuila, México. En ambos años el diseño experimental usado fue bloques completos al azar con dos repeticiones y densidad de población de 83 333 plantas ha⁻¹. Se evaluaron los caracteres: altura de planta (AP), rendimiento de forraje verde (RFV), materia seca total (MST) y porcentaje de mazorca (PM). La calidad forrajera se determinó con base en: contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), energía neta de lactancia (ENL) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV). Los parámetros genéticos de ACG y ACE fueron estimados mediante el análisis estadístico del diseño dialélico IV. Se encontraron diferencias estadísticas para ACE en todas las variables agronómicas y de calidad forrajera, con excepción de la DIV. Los efectos genéticos aditivos predominaron en las variables RFV, MST, DIV y ENL, en tanto que los de dominancia fueron de mayor importancia para la AP, PM, PC, FDA y FDN. La mayor ACE para RFV y MST se presentó en las cruzas CLQ6203×CML150, CML148×CML150, CML150×CML144 y CML144×CML159. En general, los resultados indicaron que existe amplia variación genética entre las líneas evaluadas, que puede usarse en forma inmediata para iniciar programas de mejoramiento genético efectivos.

Palabras clave: *Zea mays* L., aptitud combinatoria, líneas autofecundadas, cruzas dialélicas, digestibilidad, calidad forrajera.

ABSTRACT. The objectives of this study were to estimate the effect of the general combining ability (ACG) of eight high quality protein (ACP) maize lines, and the specific combining ability (ACE) of their inbred lines. The Griffing Method IV was used to make 28 direct crosses among inbred lines in Torreón, Coahuila, Mexico during 2001 and 2002. The experimental design used during both years included randomized complete blocks with two replicates and a population density of 83 333 plants ha⁻¹. The characteristics evaluated were: plant height (AP), green forage yield (RFV), dry matter yield (MST) and ear percentage (PM). Forage quality was determined considering: crude protein (PC), neutral detergent fiber (FDN), acid detergent fiber (FDA), lactation net energy (ENL) and *in vitro* dry matter digestibility (DIV). The genetic parameters ACG and ACE were estimated through the statistical analysis of the diallelic IV design. Results showed significant variation for ACE in all agronomic and forage quality variables, with the exception of the DIV. The mean squares analysis showed additive effects for the variables RFV, MST, DIV and ENL, and non additive effects for AP, PM, PC, FDA and FDN. The crosses CLQ6201×CML150, CML148×CML150, CML150×CML144 and CML144×CML159 showed the greatest ACE for RFV and MST. In general, the results show there is a wide genetic variation among the evaluated inbred lines, which may be used immediately to start effective genetic improvement programs.

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

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético es un proceso conti-

nuo en la formación de híbridos y variedades de maíz (*Zea mays* L.) para uso comercial. El conocimiento del tipo de acción génica que controla los caracteres

agronómicos y químicos es básico para la planeación y desarrollo de un programa de mejoramiento genético de maíz con calidad forrajera. Sprague & Tatum (1942) propusieron el método que incluye a las cruzas dialélicas y generaron los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE). 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. El término aptitud combinatoria significa la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, medida a través de su progenie (Márquez 1988). Sin embargo, en una población la aptitud combinatoria debe determinarse en varios individuos con el objeto de seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria. La aptitud combinatoria general (ACG) explica la proporción de la varianza genotípica debida a los efectos aditivos de los genes, mientras que la aptitud combinatoria específica (ACE) explica la proporción de la varianza genotípica que puede deberse a las desviaciones de dominancia (Gutiérrez *et al.* 2002).

En un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos, la aptitud combinatoria específica es más importante que la aptitud combinatoria general, debido a que se aprovechan los efectos no aditivos como la dominancia y la epistasis (Hoegenmeyer & Hallahuer 1976). Singh & Chaudary (1985) plantearon que los efectos de ACE son más importantes que los de ACG sólo cuando los materiales han sido sometidos a selección.

En México, los ensilados de maíz tienen un valor de energía neta de lactancia (ENL) bajo (menos de 1.5 Mcal kg⁻¹ de materia seca) en comparación con los ensilados de maíz de Estados Unidos de América y Europa; lo anterior se atribuye a que en el proceso de selección de líneas para formar híbridos forrajeros se ha dado mayor énfasis al rendimiento de forraje por unidad de superficie, que a la calidad nutritiva (Núñez *et al.* 2003). Por lo tanto, evaluar la calidad del forraje es fundamental para la selección de progenitores e híbridos, ya que existen diferencias en contenidos de proteína, fibra y digestibilidad de la materia seca entre los híbridos de maíz para forraje (Allen *et al.* 1995). Asimismo se han encontrado diferencias en proteína cruda (PC) con valores que oscilan de 6 a 17 %, fibra detergente neutra (FDN)

de 40 a 68 %, fibra detergente ácida (FDA) de 23 a 43 % y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV) de 54 a 86 % (Lauer *et al.* 2001). Lo anterior indica gran variabilidad en características de calidad en maíces para forraje.

Los maíces de alta calidad de proteína (ACP) tienen mayor porcentaje de lisina en el grano, en comparación con los maíces de endospermo normal (Núñez *et al.* 2001). La cantidad reducida de este aminoácido en los maíces de endospermo normal, se ha identificado como una de las deficiencias principales que limitan la eficiencia alimenticia del ganado bovino lechero de alta producción (Dado 1999). Sin embargo, debido a la degradación de la lisina en el rumen del ganado y a la dilución del ensilado de maíz con otros ingredientes en las raciones del ganado lechero, el impacto del mayor contenido de lisina de los maíces de ACP puede ser pequeño, aunque existen otros aspectos en estos maíces, como un endospermo suave que puede ser fácilmente degradado por los microorganismos del rumen, lo cual puede permitir que sean más digeridos a nivel ruminal que los maíces normales (Dado 1999; Núñez *et al.* 2001). Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el comportamiento agronómico y la calidad forrajera de ocho líneas de maíz de ACP y de sus cruzas simples posibles y estimar los efectos de aptitud combinatoria general y específica en características agronómicas de planta y calidad forrajera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en los ciclos agrícolas de Primavera - Verano (P-V) de 2001 y 2002 en terrenos del "Rancho Ampuero" en Torreón, Coahuila, México; localizado a 25° 33' N y 103° 26' O y 1200 msnm de altitud. En el año 2001 las temperaturas máximas y mínimas anuales fueron de 36.3 y 16.8 °C con precipitación media de 154 mm y en el 2002 las temperaturas máximas y mínimas anuales fueron de 37.1 y 16.3 °C con precipitación media de 217 mm.

El material genético utilizado lo constituyeron las 28 cruzas directas del cruzamiento dialélico entre ocho líneas endogámicas de maíz con alta calidad de proteína de granos blancos provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

(CIMMYT) descritas por de la Cruz-Lázaro *et al.* (2005). 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. La parcela experimental consistió de tres surcos de 3.0 m de longitud distanciados a 0.75 m, como parcela útil se tomaron los 2 m centrales de los tres surcos. La distancia entre plantas fue de 0.16 m, para obtener una densidad de población de 83 333 plantas ha⁻¹. En ambos ciclos se fertilizó con la fórmula 120N-60P-00K, se aplicaron 60 kg de nitrógeno y todo el fósforo en la siembra, y el resto del nitrógeno en la escarda antes del primer riego de auxilio. En ambos años se aplicaron cuatro riegos de auxilio, una escarda mecánica a los 26 días después de la siembra y una aplicación de insecticida para controlar al gusano cogollero.

Las variables estudiadas fueron: altura de planta (AP), medida como la distancia en metros de la superficie del suelo hasta la base de la espiga, y se tomó en la etapa de floración; rendimiento de forraje verde (RFV) se estimó con base en una muestra de 10 plantas tomadas de la parcela útil y transformado posteriormente a toneladas por hectárea; la muestra se tomó en la etapa en que cada cruzo alcanzó un tercio de la línea de leche en el grano. De esta muestra se tomó una submuestra de un kilogramo, la cual se puso en una estufa de aire forzado a la temperatura de 60 °C, y se secó hasta que llegó a peso constante; con ésta se determinó el contenido de materia seca total (MST) haciendo la conversión a toneladas por hectárea. El porcentaje de mazorca (PM) (olote más grano) se estimó en una muestra de ocho plantas, como la relación entre el peso total de las mazorcas entre el peso total de la muestra y multiplicado por 100.

La calidad del forraje se determinó a partir de una muestra de materia seca por año, resultante de una mezcla homogénea de las muestras de materia seca obtenidas en las dos repeticiones de cada cruzo; por lo que el análisis dialélico de la calidad forrajera se realizó tomando como repeticiones los años. Las muestras se molieron en un molino Willey con malla de 1.0 mm de diámetro; posteriormente se les determinó el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) en g kg⁻¹ de materia seca, me-

dante espectroscopía de reflectancia en el cercano infrarrojo (Jung *et al.* 1998), previamente calibrado con análisis químicos tradicionales (Goering & Van-Soest 1970). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIV) se obtuvo con el procedimiento descrito por Tilley & Terry (1963) modificado por Goering & Van-Soest (1970) y se calculó en g kg⁻¹. La concentración de energía neta de lactancia (ENL) se determinó con la digestibilidad *in vitro* (Belyea *et al.* 1999), empleando el procedimiento descrito por Van-Soest (1971) para forrajes y se obtuvo en megacalorías por hectárea.

Se hizo análisis de varianza de los datos descomponiendo la suma de cuadrados de cruzas, según el modelo IV de Griffing (1956) para determinar los efectos de aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE) como lo describe Martínez (1983). Los valores superiores de las variables en estudio fueron aquellos que superaron al valor de la media general de la característica medida más dos veces su error estándar ($\mu + 2\sigma$) (Abad & Servín 1987). Los efectos genéticos de ACG y ACE de las variables agronómicas y de calidad forrajera se evaluaron con la prueba de t, cuyo valor crítico se obtuvo como el cociente de 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 detectaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) para años en AP y PM, y diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) para RFV y MST. En tanto que en la fuente de variación de cruzas se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) en todas las características agronómicas evaluadas. Para la interacción años \times cruzas sólo la AP y el PM presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) (Tabla 1). Con base en la descomposición de la suma de cuadrados de la fuente de variación de las cruzas en ACG y ACE, no se encontraron diferencias estadísticas para la ACG en ninguna de las variables evaluadas, en tanto que para la ACE se encontró diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) en todas las variables evaluadas.

El análisis de varianza dialélico de las características de calidad forrajera (Tabla 2) para una

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza dialélico para características agronómicas. *($p \leq 0.05$), **($p \leq 0.01$); AP=altura de planta; RFV=rendimiento de forraje verde; PM=porcentaje de mazorca; MST=materia seca total; CV=coeficiente de variación.

Table 1. Mean squares of the diallelic analysis for the agronomic characteristics. *($p \leq 0.05$), **($p \leq 0.01$); AP=plant height; RFV=green forage yield; PM=ear percentage; MST=dry matter yield; CV=coefficient of variation.

FV	GL	AP	RFV	PM	MST
Años	1	4.38**	575.41*	3234.67**	189.02*
Rep(años)	2	0.01	16.98	86.02	3.99
Cruzas	27	0.16**	329.61**	221.12**	84.44**
ACG	7	0.14	589.48	81.82	128.92
ACE	20	0.16**	242.85**	269.97**	68.74**
Años x Cruzas	27	0.06**	16.67	169.06**	6.90
Error	54	0.02	10.47	22.07	2.46
C.V		7.9	7.0	15.90	8.0

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza dialélico para características de calidad forrajera. *($p \leq 0.05$), **($p \leq 0.01$); DIV=digestibilidad *in vitro*; PC=proteína cruda; FDA=fibra detergente ácida; FDN=fibra detergente neutro; ENL=energía neta de lactancia; CV=coeficiente de variación.

Table 2. Table 2. Mean squares from diallelic variance analysis for the forage quality characteristics. *($p \leq 0.05$), **($p \leq 0.01$); DIV=*in vitro* dry matter digestibility; PC=crude protein; FDA=acid detergent fiber; FDN neutral detergent fiber; ENL=lactation net energy; CV=coefficient of variation.

FV	GL	DIV	PC	FDA	FDN	ENL
Años	1	44.23	11.16	244.45	33.02	44870
Cruzas	27	672.82	301.52**	1986.76**	4595.13**	894900**
ACG	7	918.83	250.09	980.47	678.04	1331000
ACE	20	586.72	319.52**	2338.96**	5966.11**	742100**
Error	27	723.98	51.27	285.37	970.87	72140
CV (%)		3.95	8.74	6.31	6.32	8.81

muestra por año, indicó que sólo el efecto de cruzas y ACE presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) para todas las variables de calidad forrajera evaluadas, con excepción de la DIV que no presentó diferencias estadísticas en ninguna de las fuentes de variación. Los coeficientes de variación de los análisis dialélicos de las características agronómicas y de calidad forrajera fueron aceptables, presentando un rango de variación de 3.95 a 15.9 % para las características digestibilidad *in vitro* y porcentaje de mazorca, respectivamente.

La expresión genética de las cruzas, determinada por los valores medios de las características en estudio, mostraron una amplia variación (Tabla 3). Para rendimiento de forraje verde sólo el 43 % (12) de las cruzas superaron las 53 t ha⁻¹ de RFV, en tanto que para MST sólo el 39 % (11) de las cruzas superaron las 16 t ha⁻¹. Dentro de las cruzas de mayor RFV y MST sobresalieron con los mayores rendimientos las cruzas CML144×CML159 con 70.4 t ha⁻¹ de RFV y 21.1 t ha⁻¹ de MST, y la cruz

CML148×CML144 con 71.3 t ha⁻¹ de RFV y 21.4 t ha⁻¹ de MST. Para AP se encontró que el 54 % (15) de las cruzas tuvieron alturas superiores a los 2.22 m, dentro de las cuales sobresalieron con las mayores alturas de planta las cruzas CML148×CML150 con 2.50 m y CML144×CML159 con 2.51 m de AP. En el 46 % de las cruzas con AP menores de 2.22 m, se encontraron cruzas de porte bajo de planta, sobresaliendo con las menores alturas de planta las cruzas CML150×CML159 y CML146×CML140 con 1.80 y 1.87 m de AP, respectivamente. El PM en el forraje varió de 29 a 55 %, con media de 42 %; de las 28 cruzas evaluadas se encontró que el 32 % de las cruzas superaron el 44 % de mazorca, dentro de las cuales sobresalieron las cruzas CML146×CML148 y CLQ6203×CML148 con 55 % de porcentaje mazorca.

En las características de calidad forrajera, se encontró que la DIV de la materia seca tuvo con rango de 632 a 712 g kg⁻¹, con media de 681 g kg⁻¹, superando el va-

Tabla 3. Medias de características agronómicas y de calidad forrajera de 28 cruces de maíz con Alta Calidad de Proteína. [¶]=valores mayores que $\mu + 2\sigma$; μ =media general; σ =desviación estándar; AP=altura de planta (m); RFV=rendimiento de forraje verde (t ha⁻¹); PM=porcentaje de mazorca (%); MST=Materia seca total (t ha⁻¹); DIV=digestibilidad *in vitro* de la materia seca (g kg⁻¹); PC=proteína cruda (g kg⁻¹); FDA=fibra detergente ácida (g kg⁻¹); FDN=fibra detergente neutro (g kg⁻¹) y ENL=energía neta de lactancia (Mcal ha⁻¹).

Table 3. Means of agronomic characteristics and of forage quality of 28 crosses of High Quality Protein Maize. [¶]=values greater than $\mu + 2\sigma$; μ =general mean; σ =standard deviation; AP=plant height (m); RFV=green forage yield (t ha⁻¹); PM=ear percentage (%); MST=dry matter yield (t ha⁻¹); DIV=*in vitro* dry matter digestibility (g kg⁻¹); PC=crude protein (g kg⁻¹); FDA=acid detergent fiber (g kg⁻¹); FDN=neutral detergent fiber (g kg⁻¹); ENL=lactation net energy (Mcal ha⁻¹).

Cruza	Características agronómicas				Características de calidad				
	AP	RFV	PM	MST	DIV	PC	FDA	FDN	ENL
CML146×CLQ6203	2.25	44.3	44 [¶]	13.3	712 [¶]	97 [¶]	228	504 [¶]	27 117
CML146×CML147	2.25	51.0	42	15.3	667	75	285 [¶]	446	28 664
CML146×CML148	1.87	41.5	55 [¶]	12.5	671	85 [¶]	280 [¶]	508 [¶]	30 248 [¶]
CML146×CML150	1.90	40.7	43	12.3	632	70	331 [¶]	512 [¶]	16 599
CML146×CML173	2.21	51.5	46 [¶]	15.5	679	63	285	614 [¶]	29 714 [¶]
CML146×CML144	2.11	59.3 [¶]	32	17.8 [¶]	694 [¶]	78	234	422	25 552
CML146×CML159	2.27 [¶]	63.2 [¶]	50 [¶]	19.0 [¶]	677	96 [¶]	265	491	33 130 [¶]
CLQ6203×CML147	2.41 [¶]	53.0 [¶]	38	15.9	696 [¶]	72	239	505 [¶]	28 974
CLQ6203×CML148	2.10	57.5 [¶]	55 [¶]	17.3	695 [¶]	96 [¶]	263	446	30 345 [¶]
CLQ6203×CML150	2.46 [¶]	43.0	33	12.9	675	57	275 [¶]	447	21 718
CLQ6203×CML173	2.32 [¶]	40.0	47 [¶]	12.0	694 [¶]	95 [¶]	250	572 [¶]	26 725
CLQ6203×CML144	1.94	57.0 [¶]	40	17.1 [¶]	673	80	309 [¶]	486	30 590 [¶]
CLQ6203×CML159	2.31 [¶]	60.3 [¶]	50 [¶]	18.1 [¶]	693 [¶]	77	234	422	34 748 [¶]
CML147×CML148	2.32 [¶]	47.7	41	14.3	678	96 [¶]	256	473	27 863
CML147×CML150	2.38 [¶]	53.1 [¶]	46 [¶]	15.9	678	83	271 [¶]	532	30 146 [¶]
CML147×CML173	2.38 [¶]	53.5 [¶]	32	16.1 [¶]	662	98 [¶]	232	446	28 526
CML147×CML144	2.45 [¶]	65.6 [¶]	42	19.7 [¶]	708 [¶]	81	267	501 [¶]	29 360
CML147×CML159	2.12	47.0	51 [¶]	14.1	672	107 [¶]	302 [¶]	536 [¶]	31 334 [¶]
CML148×CML150	2.50 [¶]	54.4 [¶]	41	16.3 [¶]	657	70	298 [¶]	523 [¶]	30 554 [¶]
CML148×CML173	2.12	61.5 [¶]	29	18.5 [¶]	685	71	286 [¶]	449	26 097
CML148×CML144	2.17	71.3 [¶]	33	21.4 [¶]	673	73	253	526 [¶]	23 652
CML148×CML159	2.22	50.5	34	15.9	675	73	263	503 [¶]	27 320
CML150×CML173	2.15	40.7	46 [¶]	12.2	662	83	306 [¶]	415	21 489
CML150×CML144	2.40 [¶]	53.0 [¶]	48 [¶]	15.9	681	89 [¶]	206	523	33 063 [¶]
CML150×CML159	1.80	41.9	47 [¶]	12.6	701 [¶]	66	274 [¶]	503	29 756 [¶]
CML173×CML144	2.30 [¶]	42.5	51 [¶]	12.8	658	79	324	428	30 512 [¶]
CML173×CML159	1.93	44.3	36	13.3	703 [¶]	88 [¶]	216	553 [¶]	27 148
CML144×CML159	2.51 [¶]	70.4 [¶]	35	21.1 [¶]	707 [¶]	90 [¶]	257	488	33 461 [¶]
μ	2.22	52.12	42	15.7	681	81.7	267	493	28 372
σ	0.02	0.34	0.8	0.2	4	1.0	2	4	359

lor medio sólo el 39% de las cruces (11); dentro de las cuales las cruces CML146×CLQ6203 (712 g kg⁻¹), CML147×CML144 (708 g kg⁻¹) y CML144×CML159 (707 g kg⁻¹) tuvieron los mayores valores de digestibilidad *in vitro*. La PC tuvo una media de 81.7 g kg⁻¹, sobresaliendo con contenidos de proteínas mayores de la media el 46% de las cruces (13), destacando la cruz CML147×CML159 con 107 g kg⁻¹ de PC. La FDA presentó un rango de 206 a 331, con media de 267 g kg⁻¹, teniendo

la cruz CML150×CML144 (206 g kg⁻¹) el menor contenido de FDA. Para la FDN los valores oscilaron entre los 415 y los 614 g kg⁻¹, con media de 493 g kg⁻¹, destacando la cruz CML150×CML173 (415 g kg⁻¹) con el menor contenido de FDN. Para el contenido de ENL se encontró que varió de los 16 599 a los 34 748, con media de 28 372 Mcal ha⁻¹, sobresaliendo la cruz CLQ6203×CML159 (34 748 Mcal ha⁻¹) con el mayor contenido de ENL.

Las estimaciones de los efectos de aptitud

Tabla 4. Efectos de aptitud combinatoria general de ocho líneas de maíz de Alta Calidad de Proteína evaluadas para cuatro características agronómicas y calidad forrajera. * ($p \leq 0.05$), ** ($p \leq 0.01$); AP=altura de planta (m); RFV=rendimiento de forraje verde ($t\ ha^{-1}$); PM=porcentaje de mazorca (%); MST=Materia seca total ($t\ ha^{-1}$); DIV=digestibilidad *in vitro* de la materia seca ($g\ kg^{-1}$); PC=proteína cruda ($g\ kg^{-1}$); FDA=fibra detergente ácida ($g\ kg^{-1}$); FDN=fibra detergente neutro ($g\ kg^{-1}$) y ENL=energía neta de lactancia ($Mcal\ ha^{-1}$).

Table 4. General combining ability effects of eight High Quality Protein Maize inbred lines evaluated for four agronomic and forage quality characteristics. * ($p \leq 0.05$), ** ($p \leq 0.01$); AP=plant height (m); RFV=green forage yield ($t\ ha^{-1}$); PM=ear percentage (%); MST=dry matter yield ($t\ ha^{-1}$); DIV=*in vitro* dry matter digestibility ($g\ kg^{-1}$); PC=crude protein ($g\ kg^{-1}$); FDA=acid detergent fiber ($g\ kg^{-1}$); FDN=neutral detergent fiber ($g\ kg^{-1}$) and ENL=lactation net energy ($Mcal\ ha^{-1}$).

Líneas	Características agronómicas				Características de calidad				
	AP	RFV	PM	MST	DIV	PC	FDA	FDN	ENL
CML146	-0.12**	-2.24*	2.49	-0.15	-5.46	-1.31	5.81	7.73	-1 432.39
CLQ6203	0.04	-1.63	1.84	-0.74	12.29	0.35	-12.27*	-6.44	-2.98
CML147	0.13**	0.99	-0.80	-2.81**	-0.54	6.60*	-3.35	-2.02	-3 107.64**
CML148	-0.04	3.24**	-1.48	2.79**	-5.21	-1.23	4.56	-4.02	3 621.18**
CML150	0.01	-6.36**	-1.58	-1.54**	-13.21	-8.98**	14.64*	5.81	-3 427.14**
CML173	-0.02	-5.14**	0.99	-2.55**	-3.63	0.77	-3.60	4.23	-3 160.14**
CML144	0.06	9.02**	-2.59	2.54**	5.04	-0.39	4.56	-12.85	4 961.27**
CML159	-0.06	2.12*	1.37	2.46**	10.71	4.19	-10.35	7.56	2 547.85**

combinatoria general (ACG) y específica (ACE), para las características agronómicas y de calidad forrajera, se presenta en las Tablas 4 y 5. Para AP se encontró que sólo las líneas CML146 y CML147 tuvieron efectos significativos ($p \leq 0.01$), la primera línea con efectos negativos y la segunda con efectos positivos, con valores de ACG de -0.12 y 0.13 m, respectivamente. Para rendimiento de forraje verde sobresalieron con los mayores efectos, positivos y significativos ($p \leq 0.01$), las líneas CML144 y CML148, pero de entre ellas la línea CML144 presentó el mayor efecto de ACG ($9.02\ t\ ha^{-1}$); mientras que los menores valores los presentó la línea CML150 con efecto negativo de ACG de $-6.36\ t\ ha^{-1}$. Para la MST se encontró que las líneas CML148, CML144 y CML159 presentaron efectos, positivos y significativos ($p \leq 0.01$), de 2.79, 2.54 y $2.46\ t\ ha^{-1}$ de ACG. Para el contenido de PC se encontró que sólo la línea CML147 tuvo efectos positivos y significativos ($p \leq 0.05$) con ACG de $6.60\ g\ kg^{-1}$, y la línea CML150 tuvo los valores más bajos y significativos ($p \leq 0.01$) con PC de $-8.98\ g\ kg^{-1}$. Para contenido de FDA sólo la línea CLQ6203 presentó efectos significativos y negativos ($p \leq 0.05$) con valor de $-12.27\ g\ kg^{-1}$ de ACG. La ENL presentó efectos positivos y significativos ($p \leq 0.01$) para las líneas CML148, CML144 y CML159, sobresaliendo la línea CML144 con los mayores valores de ACG con $4\ 961.27\ Mcal\ ha^{-1}$ de ENL. En tanto, que las características PM, DIV y FDN no tuvieron efectos significativos para

ninguna de las líneas evaluadas.

Los efectos estimados de ACE para las 28 cruzas evaluadas mostraron efectos significativos para algunas de las cruzas evaluadas en las variables agronómicas y de calidad forrajera, dentro de las cuales sobresalieron las siguientes cruzas con los efectos más favorables: CML148×CML173 con efectos de ACE para RFV ($11.27\ t\ ha^{-1}$), MST ($7.77\ t\ ha^{-1}$) y ENL ($10404.76\ Mcal\ ha^{-1}$); CML146×CLQ6203 con ACE para DIV ($24.49\ g\ kg^{-1}$) y PC ($16.55\ g\ kg^{-1}$); CML176×CML144 con ACE para PM (12.99%) y FDN ($-56.89\ g\ kg^{-1}$); y CML150×CML144 con ACE para PC ($16.46\ g\ kg^{-1}$) y FDA ($-72.56\ g\ kg^{-1}$).

DISCUSIÓN

En el análisis de varianza combinado se detectaron diferencias significativas en años para las variables altura de planta, rendimiento de forraje verde, porcentaje de mazorcas y materia seca total, lo que significa que hubo diferencias ambientales, clima y suelo principalmente, en los dos años de evaluación. Sin embargo, en la interacción años × cruzas, sólo las características altura de planta y porcentaje de mazorca fueron significativas, indicando que fueron las más sensibles a los cambios ambientales.

Los coeficientes de variación están dentro del margen de confiabilidad (menores que 16%) en ex-

perimentos de maíz (Tablas 1 y 2). No obstante, debido a la diversidad genética de las líneas, se esperaban coeficientes de variación más altos, tal como lo señalaron Kang *et al.* (1999) y Wong-Romero *et al.* (2006).

En el análisis de varianza dialélico se registraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre cruzas en todas las características agronómicas evaluadas, y en cuatro de las cinco características de calidad forrajera evaluadas (Tablas 1 y 2), lo que sugiere que las cruzas son diferentes entre sí para estas características; resultado que era de esperarse debido a la diversidad genética de las poblaciones de donde proceden las líneas utilizadas. Al respecto Vergara *et al.* (2001) y Gutiérrez *et al.* (2002) encontraron que a medida que se incrementa la diversidad genética de las líneas, se incrementan las diferencias entre sus cruzas.

La no significancia para la digestibilidad *in vitro* en las cruzas, indica que existe poca variación genética en esta característica; tal y como lo señalan Núñez *et al.* (2001) y Peña *et al.* (2003) en poblaciones de maíz de grano normal y de ACP; pero difieren de los resultados de Argillier *et al.* (2000) quienes encontraron alta significancia para digestibilidad *in vitro* entre las cruzas simples de maíz normal.

En el análisis dialélico, no hubo diferencias estadísticas en las características agronómicas y de calidad forrajera en la ACG, pero en la ACE se encontraron diferencias significativas en todas las variables, excepto la digestibilidad *in vitro* (Tabla 2 y 3), lo que sugiere que existen cruzas específicas con efectos de dominancia en algunas líneas que pueden ser aprovechados para formar híbridos con buenas características agronómicas y de calidad forrajera. Resultados similares en maíces de grano normal fueron informados por Dhillon *et al.* (1990), Argillier *et al.* (2000) y Torrecillas & Bertoia (2000).

Los cuadrados medios de los efectos de ACG resultaron de mayor magnitud que los cuadrados medios de la ACE en las características rendimiento de forraje verde, materia seca total (Tabla 2), digestibilidad *in vitro* de la materia seca y energía neta de lactancia (Tabla 3), lo que sugiere que la mayor proporción de la variabilidad genética observada estuvo asociada con efectos aditivos, como lo señalan Ferret *et al.* (1991) y Barrière *et al.* (1993). En tanto, los efectos de ACE fueron de mayor mag-

nitud para las variables altura de planta, porcentaje de mazorca, proteína cruda, fibra detergente ácido y fibra detergente neutro, lo que indica un control genético de la varianza no aditiva (Márquez 1988).

Al analizar la materia seca total, 16 cruzas (57 %) produjeron entre 12 y 16 t ha⁻¹ y solo cuatro (14.2 %) produjeron más de 19 t ha⁻¹ (Tabla 3), de las cuales sobresalieron las cruzas CML184×CML144 y CML144×CML159 con 21.4 y 21.1 t ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento de las cruzas con más de 19 t ha⁻¹ de materia seca total es superior al obtenido en la región Lagunera con híbridos de ACP, los cuales fluctuaron entre 17.4 y 18.8 t ha⁻¹ (Niñez *et al.* 2001). Las cruzas con rendimientos superiores a 21 t ha⁻¹ de MST se encuentran en el rango obtenido en la región Lagunera con híbridos de endospermo normal, que oscilan entre 20 y 23 t ha⁻¹ (Peña *et al.* 2002) lo que indica que las líneas son adecuadas para formar híbridos con alto potencial de rendimiento de materia seca total. Por otra parte, las cruzas con porcentajes de mazorca igual o superior al 50 %, tuvieron alta energía neta de lactancia y bajos contenidos de fibras. La información anterior es consistente con estudios que indican que el contenido de mazorca es una de las características principales de los híbridos de maíz asociada de forma positiva con el valor energético del forraje (Ferret *et al.* 1997; Núñez *et al.* 2001; Núñez *et al.* 2005). Un híbrido de maíz con buena calidad forrajera se puede lograr seleccionando cruzas que tengan una digestibilidad *in vitro* superior a los 700 g kg⁻¹ de materia seca (Peña *et al.* 2004). En este estudio las cruzas CML146×CLQ6203, CML147×CML144, CML150×CML159, CML173×CML159 y CML144×CML159, tuvieron la mayor DIV, con bajos contenidos de fibras y porcentaje de mazorca. Al respecto Peña *et al.* (2003) encontraron que los híbridos con mayor digestibilidad, no necesariamente son los de mayor producción de mazorca.

Para proteína cruda se detectaron diferencias estadísticas entre las cruzas evaluadas, lo que sugiere que existe variación genética en esta característica, resultados que difieren de lo informado por Latournerie *et al.* (1996) quienes no encontraron diferencias en el contenido de proteína cruda en un grupo de híbridos forrajeros de maíz normal. La variación encontrada en el presente estudio se puede deber a que el gen o_2 influye en la calidad y cantidad

Tabla 5. Efectos estimados de aptitud combinatoria específica de 28 cruza de maíz de Alta Calidad de Proteína evaluadas para características agronómicas y calidad forrajera. * ($p \leq 0.05$), ** ($p \leq 0.01$); AP=altura de planta (m); RFV=rendimiento de forraje verde ($t\ ha^{-1}$); PM=porcentaje de mazorca (%); MST=Materia seca total ($t\ ha^{-1}$); DIV=digestibilidad *in vitro* de la materia seca ($g\ kg^{-1}$); PC=proteína cruda ($g\ kg^{-1}$); FDA=fibra detergente ácida ($g\ kg^{-1}$); FDN=fibra detergente neutro ($g\ kg^{-1}$) y ENL=energía neta de lactancia ($Mcal\ ha^{-1}$).

Table 5. Specific combining ability effects of 28 crosses Quality Protein Maize of traits agronomics and forage quality. * ($p \leq 0.05$), ** ($p \leq 0.01$); AP=plant height (m); RFV=green forage yield ($t\ ha^{-1}$); PM=ear percentage (%); MST=dry matter yield ($t\ ha^{-1}$); DIV=*in vitro* dry matter digestibility ($g\ kg^{-1}$); PC=crude protein ($g\ kg^{-1}$); FDA=acid detergent fiber ($g\ kg^{-1}$); FDN=neutral detergent fiber ($g\ kg^{-1}$) and ENL=lactation net energy ($Mcal\ ha^{-1}$).

Cruza	Características agronómicas				Características de calidad				
	AP	RFV	PM	MST	DIV	PC	FDA	FDN	ENL
CML146×CLQ6203	0.10	-3.95**	-3.00	-1.85*	24.49*	16.55**	-33.56**	9.69	-1 915.82
CML146×CML147	0.02	0.13	-2.37	2.70**	-7.68	-11.70**	15.02**	-52.73**	2 735.84*
CML146×CML148	-0.22**	-11.62**	11.81**	-4.51**	0.49	5.63	2.1	11.77	-7 104.49**
CML146×CML150	-0.21**	-2.87**	-3.15	-4.44**	-30.51**	-1.12	42.52**	5.44	-10 192.15**
CML146×CML173	0.13*	6.76**	2.92	3.72**	7.4	-18.37**	7.1	109.02**	5 838.84**
CML146×CML144	-0.05	0.34	-9.90**	0.93	14.24	-2.2	-35.23**	-65.89**	3 250.93*
CML146×CML159	0.23**	11.20**	3.69	3.46**	-8.42	11.21**	2.02	-17.31	7 386.84**
CLQ6203×CML147	0.02	1.52	-5.27	-1.85*	3.57	-17.37**	-12.89	20.44	-386.07
CLQ6203×CML148	-0.12*	3.77**	12.21**	1.26	7.24	15.46**	3.69	-37.06**	2 005.59
CLQ6203×CML150	0.19**	-1.13	-12.50**	-0.96	-4.76	-16.28**	5.11	-15.39	-313.07
CLQ6203×CML173	0.08	-5.33**	4.37	-3.52**	5.15	12.46**	-9.81	81.69**	-6 292.07**
CLQ6203×CML144	-0.38**	-2.51*	-1.78	3.87**	-24.51*	-1.87	57.86**	12.77	4 321.51**
CLQ6203×CML159	0.11*	7.64**	5.97*	3.05**	-11.18	-8.95**	-10.39	-72.14**	2 576.93*
CML147×CML148	0.01	-8.70**	0.6	-2.01**	3.07	9.21**	-12.73	-14.48	-3 118.74**
CML147×CML150	0.02	6.29**	3.13	5.30**	11.07	3.96	-7.81	35.69**	6 212.59**
CML147×CML173	0.05	5.52**	-7.79**	2.03**	-14.01	8.71**	-36.23**	-49.73**	1 326.09
CML147×CML144	0.04	3.46**	3.21	-3.13**	22.82*	-7.12*	6.44	22.86	-2 961.82*
CML147×CML159	-0.17**	-8.23**	8.48**	-3.04**	-18.84	14.30**	48.19**	37.94**	-3 810.90**
CML148×CML150	0.31**	5.39**	-1.19	1.83*	-5.26	-1.2	11.27	28.19*	3 891.76**
CML148×CML173	-0.03	11.27**	-10.37**	7.77**	12.65	-10.95**	9.86	-44.73**	10 404.76**
CML148×CML144	-0.06	6.86**	-5.06*	-0.78	-7.51	-6.78*	-14.98*	49.86**	-589.65
CML148×CML159	0.11*	-6.98**	-8.01**	-3.55**	-10.68	-11.37**	0.77	6.44	-5 489.24**
CML150×CML173	-0.06	0.07	4.12	-0.32	-2.34	9.30**	19.27**	-88.06**	439.09
CML150×CML144	0.11*	-1.79	7.02**	1.09	8.49	16.46**	-72.56**	37.52**	-4 061.18**
CML150×CML159	-0.37**	-5.98**	2.57	-2.49**	23.32*	-11.12**	2.19	-3.39	-4 099.40**
CML173×CML144	0.04	-13.51**	12.99**	-7.11**	-24.09*	-2.78	55.52**	-56.89**	-11 617.32**
CML173×CML159	-0.20**	-4.80**	-6.23*	-2.57**	15.23	1.63	-45.73**	48.69**	-99.4
CML144×CML159	0.29**	7.14**	-6.48*	5.14**	10.57	4.3	2.94	-0.23	3 535.18**

de proteína. En forma general se pudo observar que conforme se incrementa el contenido de fibras, disminuye el contenido de proteína cruda, lo que coincide con lo reportado por Lozano *et al.* (2002) en un estudio de calidad forrajera de mezclas de triticale (*X. triticosecale* Witt.) y zacate ballico (*Lolium multiflorum*).

Las líneas CML144, CML148 y CML159 que participaron en las cruza con rendimientos de MST de $21\ t\ ha^{-1}$, son las que tuvieron efectos positivos y significativos ($p \leq 0.01$) de ACG para RFV, MST y ENL, aún cuando tuvieron valores negativos de ACG en PM y AP (Tabla 4), lo cual explica porqué las cruza son buenas productoras de forraje, pero bajas productoras de mazorca. Para AP las líneas CML146 y CML147 presentaron efectos significativos de ACG, la primera negativos y la segun-

da positivos. Por lo anterior la línea CML146 es un progenitor posible para el mejoramiento genético de maíces con porte bajo, lo que facilita el manejo de los híbridos bajo altas densidades, ya que tienen mayor porcentaje de mazorca y resistencia al acame de tallo y raíz (Antuna *et al.* 2003). Para el contenido de FDA las líneas CLQ6203 y CML150 presentaron efectos significativos ($p \leq 0.05$), la primera negativos y la segunda positivos, por lo que la línea CLQ6203 es la más apropiada para formar cruza con bajos contenidos de fibra detergente ácida. Por otra parte, la ausencia de significancia en las características digestibilidad *in vitro* y fibra detergente neutro de las cruza, es posible que se deba a que el experimento se evaluó sólo en dos repeticiones y la capacidad de detección de diferencias no es la misma para todas las características. Al respecto Jung *et*

al. (1998) y Núñez *et al.* (2001) señalaron que en programas de mejoramiento de maíz para forraje se deben seleccionar progenitores que impartan a su descendencia bajos contenidos de fibra detergente ácida y fibra detergente neutra y alta digestibilidad *in vitro* y energía neta de lactancia. Para los efectos de ACE se observó que una gran cantidad de cruza tuvieron efectos significativos de ACE. Los efectos significativos encontrados en todas las características agronómicas y de calidad forrajera evaluadas, se puede deber a que las líneas pertenecen a poblaciones diferentes y a la suma de efectos aditivos de los genes de las dos líneas progenitoras, o bien, a los efectos de la interacción de los alelos dominantes de un progenitor con los alelos recesivos del otro progenitor (Falconer 1985; Gutiérrez *et al.* 2002). Es importante resaltar que las cruza con los mayores valores de ACE resultaron de cruzar dos líneas de valores diferentes de ACG, ya sea positivo o negativo, con una tendencia a tener bajos valores entre

dos líneas de baja ACG (Gómez & Valdivia, 1988; Pons *et al.* 1991). Con las cruza de mayor ACE se podrían formar híbridos dobles con características deseables de calidad forrajera.

Se encontró una amplia variación genética en las líneas en estudio, con base en sus características agronómicas y de calidad forrajera, factible de usarse en un programa de formación de híbridos de alta calidad forrajera. Especialmente en las líneas CML144, CML148 y CML159 que participaron en las cruza que tuvieron los mayores rendimientos de materia seca total. En tanto que las cruza con los mayores efectos de ACE para las características agronómicas y de calidad forrajera fueron: CLQ6203×CML144 para bajo porte de planta; CML148×CML173 para PFV, ENL y MST; CML173×CML144 tuvo el mayor efecto de ACE para PM; CML146×CLQ6203 para DIV de la materia seca y PC; CML150×CML144 y CML150×CML173 presentaron los efectos de ACE más negativos para FDA y FDN, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Abad A, Servín LA (1987) Introducción al Muestreo. Segunda Edición. Editorial Limusa. México. 216 pp.
- Allen M, Ford S, Harrison J, Hunt J, Lauer J, Muck R, Soderlund S (1995) Corn Silage Production, Management and Feeding. G Roth, D Undersander, M Allen, DJ Undersander (eds). American Soc. of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Sci. Of America. Madison, WI. 42 pp.
- 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.
- Argillier O, Méchin V, Barrière Y (2000) Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. Crop Sci. 40(6): 1596-1600.
- 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(1): 7-13.
- Belyea R, Restrepo R, Martz F, Eilersieck M (1999) Effect of year and cutting on equations for estimating net energy of alfalfa forage. J. Dairy Sci. 82(9): 1943-1949.
- Dado RG (1999) Nutritional benefits of specialty corn grain hybrids in dairy diets. J. Anim. Sci. 77 (suppl 2); (82): 197-207.
- De la Cruz-Lázaro E, Rodríguez-Herrera SA, Mendoza-Palacios JD, Estrada-Botello MA, Brito-Manzano NP (2005) Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. Universidad y Ciencia 21(41): 19-26.
- 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(5): 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(1): 61-66.
- Ferret A, Gasa J, Plaixats J, Casañas F, Bosh L, Nuez F (1997) Prediction of voluntary intake and digestibility of maize silages given to sheep from morphological and chemical composition, *in vitro* digestibility or rumen degradation characteristics. J. Agric. Sci. 64: 493-502.

- Goering HK, Van-Soest PJ (1970) Forage Fiber Analysis (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). In: Agricultural Handbook No. 379. U.S. Department of Agriculture - Agricultural Research Service. U.S. Government Printing Office, Washintong, DC. p 19-20.
- Gómez MN, Valdivia BR (1988) Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11(1): 35-49.
- 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.
- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Hoegenmeyer TC, Hallauer AR (1976) Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Sci.* 16(1): 76.80.
- Jung HG, Mertens DR, Buxton DR (1998) Forage quality variation among maize inbreds: in vitro fiber digestion kinetics and prediction with NIRS. *Crop Sci.* 38(1): 205-210.
- Kang SM, Kushairi DA, Zhang Y, Magari R (1999) Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Sci.* 39(2): 368-371.
- Latournerie ML, Rodríguez HSA, De León CH, Padrón CE (1996) Heterosis y aptitud combinatoria para rendimiento y calidad de forraje en poblaciones de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 7(5): 93-97.
- Lauer JG, Coors JG, R Shaver (2001) What's coming down the pike in corn genetics? Value added corn silage Brown Midrib, waxy, high-oil and others. In: Proceedings, 31st California Alfalfa and Forage Symposium, 12-13 December 2001, Modesto, CA, UC Cooperative Extension, University of California, Davis.
- Lozano del RAJ, Rodríguez HS, Díaz SH, Fuentes BJ, Narváez MJ, Zamora VV (2002) Producción de forraje y calidad nutritiva en mezclas de triticale (X Triticosecale Wittmack) y ballico anual (*Lolium multiflorum*) en Navidad, N. L. *Téc. Pecu. Méx.* 40(1): 17-35.
- Márquez SF (1988) *Genotecnia Vegetal*. Tomo II. Primera edición. Editor AGT. México. 563 p.
- Martínez GA (1983) *Diseños y análisis de experimentos de cruzas dialélicas*. Segunda edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de Méx. 252 pp.
- Núñez HG, Faz CR, Tovar GMR, Zavala GA (2001) Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Téc. Pecu. Mex.* 39(2): 77-88
- Núñez HG, Contreras GEF, Faz CR (2003) Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Téc. Pecu. Mex.* 41(1): 37-48.
- Núñez HG, Faz CR, González CF, Peña RA (2005) Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pecu. Mex.* 43(1): 69-78.
- Peña RA, Núñez HG, González CF (2002) Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Téc. Pecu. Mex.* 40(3): 215-228.
- Peña RA, Núñez 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. Mex.* 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(3): 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. Amer. Society Agronomy* 34: 923-932.
- Tilley JM, Terry RA (1963) A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. British. Grassland Society* 18: 104-111.
- Torrecillas MG, Bertoia LM (2000) Aptitud combinatoria para caracteres forrajeros en poblaciones nativas y compuestos raciales de maíz de Argentina. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetal* 15(1-2): 79-90.

- Van-Soest PJ (1971) Laboratory methods for evaluating the energy value of feed stuffs. Estimation of nutritive value from laboratory analysis. Proc Cornell Nutr. Cont. Feed Manuf. pp: 106-117.
- Vergara AN, Rodríguez HS, De León CH, Malean S, Vasal SK (2001) Aptitud combinatoria de líneas de maíz tropical con diferente tipo de mazorca. Rev. Fitotec. Mex. 24(2): 203-212.
- Wong-Romero R, Gutiérrez-del Río E, Rodríguez-Herrera S, Palomo-Gil A, Córdova-Orellana H, Espinoza-Banda A (2006) Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en la Comarca Lagunera, México. Universidad y Ciencia 22(2): 141-151.

