

## COMPORTAMIENTO GENÉTICO Y APTITUD COMBINATORIA EN CRUZAS SIMPLES CON LÍNEAS ÉLITE DE MAÍZ

**Genetic behaviour and combining ability in single crosses with inbred lines of forage maize**

C Guerrero-Guerrero , A Espinoza-Banda, A Palomo-Gil, E Gutiérrez-Del Río, JG Luna-Ortega, N Rodríguez-Dimas

(CGG) Academia de investigación. Centro de Estudios Tecnológicos e Industriales No. 59, calle mayela s/n. Torreón Coahuila, México cesar\_gg47@hotmail.com

(AEB)(APG)(EGR)(JGLO)(NRD) Departamento de Postgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Periférico y Carretera a Santa Fe. Torreón Coahuila, México.

**Artículo recibido:** 10 de junio 2010, **aceptado:** 9 de marzo de 2012

**RESUMEN.** El presente trabajo se realizó en dos etapas, en 2006 la formación de cruzas, en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAANUL), y la evaluación de las mismas en dos localidades con tres ambientes en 2007; en el campo experimental de la UAAANUL durante los ciclos primavera y verano, y en el ejido El Niágara, municipio de Aguascalientes Ags, durante la primavera. El material genético utilizado estuvo constituido por 24 líneas endogámicas, siete del programa de la UAAANUL, cuatro del INIFAP y 13 del CIMMYT. El objetivo fue, estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas y la aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruzas, así como cuantificar la heredabilidad y el grado de dominancia, de las 128 cruzas formadas. Para rendimiento en forraje verde, en ACG sobresalieron los probadores macho: B-40 ( $52.0 \text{ t ha}^{-1}$ ), CML-311 ( $49.0 \text{ t ha}^{-1}$ ), y AN-447 ( $45.2 \text{ t ha}^{-1}$ ), mientras que para aptitud combinatoria específica (ACE), los valores más altos fueron para las cruzas: B-40xCML-319 ( $30.8 \text{ t ha}^{-1}$ ), B-40xCML-254 ( $30.7 \text{ t ha}^{-1}$ ), CML-311xCML-254 ( $30.0 \text{ t ha}^{-1}$ ) y CML-311xCML-319 ( $29.7 \text{ t ha}^{-1}$ ), que también resultaron ser las más sobresalientes en rendimiento de forraje verde con: 123, 123, 120 y 119  $\text{t ha}^{-1}$  respectivamente. En los parámetros genéticos para rendimiento, la varianza de dominancia fue de 210, supero a la varianza aditiva que fue de 154, la heredabilidad en sentido amplio fue 73 %, mientras que en sentido estricto fue 30 % y sobredominancia de 1.7.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., Parámetros genéticos, material genético, heredabilidad.

**ABSTRACT.** This study was carried out in two stages: in 2006 with the formation of crosses in the experimental station of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAANUL) and their evaluation in two localities with three environments in 2007, in the experimental station of the UAAANUL during the spring and summer seasons and in El Niagara, municipality of Aguascalientes, Ags., during the spring. The genetic material used included 24 breeding lines, seven from the programme of the UAAANUL, four from the INIFAP and 13 from the CIMMYT. The objective was to estimate the effects of the general combining ability (ACG) of the breeding lines and the specific combining ability (ACE) of the crosses, as well as to quantify the capacity to inherit and the degree of dominance of the 128 resulting crosses. With respect to the yield of green forage, for the general combining ability (ACG) the male testers B-40 ( $52.0 \text{ t ha}^{-1}$ ), CML-311 ( $49.0 \text{ t ha}^{-1}$ ) and AN-447 ( $45.2 \text{ t ha}^{-1}$ ) stood out, whereas for the specific combining ability (ACE) the highest values were recorded for the crosses B-40xCML-319 ( $30.8 \text{ t ha}^{-1}$ ), B-40xCML-254 ( $30.7 \text{ t ha}^{-1}$ ), CML-311xCML-254 ( $30.0 \text{ t ha}^{-1}$ ) and CML-311xCML-319 ( $29.7 \text{ t ha}^{-1}$ ), which were also the best regarding the yield of green forage with 123, 123, 120 and 119  $\text{t ha}^{-1}$  respectively. Among the genetic parameters for yield, the dominance variance was 210, greater than the additive variance of 154, the capacity to inherit was 73 % in a broad sense and 30 % in a strict sense, and the overdominance was 1.7.

**Key words:** *Zea mays* L., genetic parameters, genetic material, capacity to inherit.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de buscar nuevas alternativas para abaratar costos de producción principalmente del ganado lechero, hacen necesario realizar estudios, en uno de los cultivos de mayor demanda como lo es el maíz forrajero, a fin de satisfacer las necesidades de la alimentación en la dieta de vacas lecheras, dada su alta productividad y calidad en verde. De tal manera que es importante buscar mejores alternativas, en cuanto a genotipos que aseguren altos rendimientos de forraje, tomando en cuenta una mayor relación hoja-tallo, elote-planta, alta producción de materia seca y mayor calidad nutritiva. De tal forma que al realizar ensilados, éstos presenten un alto valor nutritivo, lo que se verá reflejado en una mayor producción de leche, logrando de ésta manera que una alta producción de forraje y de buen valor nutritivo, abaraten costos de producción en la industria lechera, aumentando los dividendos de los productores (Wong *et al.* 2007). El éxito en cualquier programa genético, con énfasis en el desarrollo de líneas endocriadas para la formación de híbridos, dependerá de la elección del germoplasma base a considerarse dentro del programa de mejoramientos (Wong *et al.* 2006).

Líneas autofecundadas de diferente origen permite explotar la gran diversidad genética presente en el maíz, manejando adecuadamente este material se puede incrementar la respuesta heterótica entre ellas (De León *et al.* 2006). La información de aptitud combinatoria de las fuentes de germoplasma y de los progenitores derivados de ellas es un requerimiento importante, además de considerar su respuesta heterótica para incrementar la eficiencia en la hibridación, dada la importancia de combinar progenitores endocriados y no endocriados o una combinación de ambos (Antuna *et al.* 2003). Para la evaluación de maíces forrajeros, estos deben tener buenas características de rendimiento como; alto volumen de producción en un solo corte, alto contenido de carbohidratos, alto contenido de materia orgánica, de fácil cosecha, que permita una elevada ingesta para los rumiantes y calidad nutritiva que está en función de la digestibilidad “in vitro”, mismos que están determinados por la relación grano, caña

y hojas (Anónimo 2007). En la Comarca Lagunera en los últimos 10 años de evaluación de maíces forrajeros, se han incluido 152 híbridos diferentes, de los cuales se han identificado materiales con buenas características de rendimiento y calidad forrajera, que los productores pueden seleccionar con la certeza de obtener un ensilado de alta calidad (Faz *et al.* 2005). Sin embargo, durante el proceso de la selección, es importante considerar, no solo los efectos lineales del genotipo x ambiente, sino también la interacción genotipo x ambiente, ya que a través de ella se detecta la eficiencia de la selección en función de la adaptación genotípica a través de ambientes, lo cual evita la necesidad de desarrollar programas de mejoramiento específicos para cada ambiente en particular (Wong *et al.* 2006). Peña *et al.* (2004) comentan que ninguno de los híbridos de maíz usados para la producción de forraje en México han sido desarrollados en programas de mejoramiento genético para aumentar la producción y la calidad del forraje, sino que fueron seleccionados para rendimiento de grano. Clark *et al.* (2002) reportan que ganado lechero alimentado con híbridos de maíz seleccionados para forraje, rindieron mas leche, con mayor contenido de proteína y que el consumo de materia seca fue mayor que el alimentado con maíz normal, por lo que es necesario implementar programas de formación y producción de híbridos de maíz forrajero que cumplan con las expectativas de calidad, producción y adaptación para el norte de México en donde se encuentra ubicada la Comarca Lagunera. Y donde se cuenta con aproximadamente 500 000 mil cabezas de ganado bovino lechero en producción, las cuales producen 6.0 millones de litros de leche diarios (Salazar *et al.* 2007).

En la Comarca Lagunera, se siembra una superficie de 39 413 ha de maíz, con una producción de 1 500 808 t (Anónimo 2007). La magnitud de este sistema de producción, plantea la necesidad de proponer estrategias concernientes a la producción de forraje para su manutención, por lo que se ha seleccionado el maíz como forraje de importancia, ya que se considera como una planta de la cual se obtiene una alta producción (Espinoza *et al.* 2003). En la actualidad 93 % de los agricultores usa materiales mejorados (Aguilar *et al.* 2000), mientras

que el resto de los productores utiliza variedades criollas y ocasionalmente semillas de generaciones segregantes, procedentes de progenies de híbridos (Gutiérrez-del Río *et al.* 2002). Al respecto, Reta *et al.* (2002) indican que es posible obtener hasta 80 t ha<sup>-1</sup> de forraje fresco y 24 t ha<sup>-1</sup> de forraje seco (30 % de materia seca) con un contenido de grano de 45 a 50 %. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue, estimar y cuantificar la acción génica involucrada en las cruzas de maíz forrajero, a partir de líneas élite, así como la aptitud combinatoria general, específica y la estimación de los componentes genéticos de algunos rasgos agronómicos para seleccionar híbridos experimentales con alto rendimiento en forraje verde.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado estuvo constituido por 24 líneas endogámicas de maíz, siete de ellas provenientes del programa de mejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAANUL), las cuales se caracterizan por su adaptación a los climas del trópico seco, resistencia a plagas y resistencia a temperaturas ambientales entre 20 y 32 °C. Cuatro líneas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con características semejantes a las anteriores y 13 líneas obtenidas del programa del Centro Internacional para el mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT), las cuales se caracterizan por su adaptación al clima tropical y subtropical húmedo, tolerancia al estrés de factores bióticos como resistencia a enfermedades y resistencia a la sequía (Anónimo 1999). La descripción genealógica de las líneas es la siguiente:

- M1; L-AN 447. Línea de ocho autofecundaciones, derivada de generaciones avanzadas del Híbrido AN-447 con características de amplia adaptabilidad.
- M2; L-AN 130. Proviene de la F4 del H-507, cruzada con la población de El Bajío Celaya-2.
- M3; L-AN 123. Obtenida de forma divergente y contrastada de una variedad criolla de Jalisco; de hojas pálidas y onduladas.
- M4; L-AN 388R. Línea enana, con hojas anchas y suculentas generada a partir de la F3 del híbrido

AN-388.

- M5; L B-32. Línea de INIFAP derivada del híbrido H-353.
- M6; L B-40. Cuyo origen proviene de INIFAP-B40.
- M7; CML-316 CIMMYT, Pob500P500c0F114-1-1-B\*3.
- M8; CML-311 CIMMYT, Pob500S89500 F2-2-2-2-B\*5.
- H1; L-AN 123 R. Línea de alta endogamia formada de variedad Criolla del municipio de Concepción, Jalisco con precocidad y tolerancia a sequía.
- H2; L-AN 360 PV. Línea obtenida de la población enana denominada Pancho Villa, vigorosa y con hojas anchas.
- H3; L B-39. Cuyo origen proviene de INIFAP-B39.
- H4; CML-319 CIMMYT. RecyW89 (Cr.Arg / CIM.ShPINPH) 6-3-2-4-B-B.
- H5; CML-264 Pob21 CIMMYT, Pob21C5F219-3-1-B-\_\_-8-1-3-BBB-f.
- H6; CML-254 Pob21 CIMMYT, TUXSEQ-149-2-BBB-\_\_-1-BB-F.
- H7; CML-313 CIMMYT, Pob501c0F6-3-3-2-1-B-B.
- H8; CML-273 Pob43 CIMMYT, (ACT643\*43F7)-2-3-2-1-bb-F.
- H9; CML-247 Pool24 CIMMYT, (G24F119\*G24F54)-6-4-1-1-BB-f.
- H10; CML-271 Pob29 CIMMYT, pob29stec1hc25-6-4-1-\_\_-BBB-F.
- H11; CML-278 Pob43 CIMMYT, DMANTES8043-53-1-1-b-\_\_-1-BB-f.
- H12; CML-315 CIMMYT, Pob500P500c0F246-4-1-2-2-B\*3.
- H13; CML-318 Recy W87[B810(66)S3/G24S2]-B-8-1-1-3-B\*4.
- H14; CML-321 Pop 502 P502c0F1-1-3-1-B\*4.
- H15; LE M426. Cuyo origen proviene de INIFAP-M426.
- H16; Bandal 59 COL X LGPF2-M-M,Pob59.

El trabajo se realizó en el campo experimental de la UAAAANUL, en Torreón, Coahuila en la Comarca Lagunera, localizado geográficamente entre los paralelos 24° 30' y 27° de latitud Norte, y los meridianos 102° y 104° 40" de longitud Oeste, con 1,150 msnm y un clima seco, caluroso, con temperatura media anual de 20 a 22 °C, precipitaciones escasas, con deficiencia de lluvias en todas sus esta-

ciones y una precipitación media anual de 300 mm, con régimen de lluvias en los meses de septiembre, octubre y noviembre, los vientos dominantes son alisios en dirección Sur, con velocidades de 27 a 44 km  $h^{-1}$  y en el ejido el Niágara municipio de Aguascalientes Ags, ubicado en la región occidental de la Altiplanicie Mexicana, en las coordenadas 21° 53" de Latitud Norte, 102° 18" de Longitud Oeste con altura de 1,870 msnm, el clima es semiárido, con temperatura media anual de 17 °C, las temperaturas más altas se registran en los meses de abril, mayo y junio, y las más bajas en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero. La precipitación pluvial es de 526 mm al año, con lluvias abundantes en verano y poca intensidad el resto del año. Los vientos dominantes son alisios en dirección Sur Este - Nor Oeste durante el verano y parte del otoño (Anónimo 2008).

El presente trabajo se desarrolló en dos etapas: en la primavera del 2006, se realizaron las 128 cruzas posibles que resultaron de cruzamientos entre ocho progenitores macho y 16 progenitores hembra, de acuerdo al diseño de apareamiento genético Carolina del Norte I (Comstock & Robinson 1948), utilizando 10 plantas de cada línea para obtener la semilla de las cruzas. La evaluación de las cruzas, se realizó en 2007 en dos localidades: La Comarca Lagunera y Aguascalientes en tres ambientes: dos en la Laguna (Primavera y verano) y otro en Aguascalientes en Primavera, utilizando un diseño de bloques al azar con dos repeticiones.

Las siembras se realizaron, primero en la Comarca Lagunera el 18 de marzo y después el 21 de junio, la segunda localidad fue en el ejido el Niágara donde se sembró el 24 de mayo. La siembra fue de manera manual, utilizando dos surcos de 2 m de longitud por parcela, con distancia entre surcos de 0.75 m, treinta días después de la emergencia se aclareo dejando seis plantas por metro lineal y 16.6 cm entre plantas. La parcela experimental constó de tres surcos de 2 m de largo y 0.75 m de ancho, con seis plantas por metro lineal, dando un total de 36 plantas por parcela, para tener una población aproximada de 85 000 plantas  $ha^{-1}$ , ya que para la Comarca Lagunera se recomienda una densidad óptima de 80 a 90 mil plantas  $ha^{-1}$  (Anónimo 2004),

la parcela útil constó de un surco central de 2 m de largo, con un área de 1.5  $m^2$ . La cosecha de la parcela útil se realizó a los 116 d después de la siembra, en el surco central omitiendo las plantas orilleras. Se aplicó la fórmula de fertilización 200 N, 90 P, 00 K, en dos etapas: el 50 % de N y el total de P en el momento de surcar, y el resto en la escarda a los 42 d después de la siembra. Para el riego se uso cintilla y se regó procurando que no faltara humedad en el suelo, el control de maleza fue manual; se dieron dos deshierbes antes de la escarda y tres después del aporcallo del cultivo. Las plagas que se presentaron en las diferentes localidades fueron: el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y la pulga negra (*Chaetocnema pulicaria*), la primera se controló aplicando el insecticida Decís (Deltametrina), con dosis de 1.0 L  $ha^{-1}$  y en el caso de la pulga negra, se utilizó Lorsban (Insecticida organofosforado) a 1.0 L  $ha^{-1}$ .

Se tomó una muestra de tres plantas por parcela, para el análisis en cada una de las variables a evaluar, primero se midió la altura de planta, luego se cortaron al ras del suelo las plantas y se pesaron enteras, después se separaron las hojas y los elotes quedando los tallos, luego se procedió a pesar cada uno de los componentes y se dividieron entre tres para obtener los pesos por planta, los datos de rendimiento se transformaron a t  $ha^{-1}$ , a los elotes se les quitaron las hojas para medir el diámetro y la longitud. Las variables evaluadas fueron: Rendimiento de forraje verde (RFV), Peso del tallo (PT), Peso de las hojas de la planta (PHP), Peso del elote con hojas (PECH), Diámetro del elote (DE), Longitud del elote (LE) y Altura de planta (AP).

El análisis estadístico para las variables evaluadas, se realizó en base a tres localidades para los análisis de varianza, con el paquete estadístico SAS (Anónimo 1988). El análisis de la aptitud combinatoria del material genético, se efectuó de acuerdo al diseño I Carolina del Norte, los valores estadísticamente superiores en las variables estudiadas fueron los que superaron o igualaron al valor de la media más dos veces su desviación estándar ( $\mu + 2\sigma$ ). Los cuadrados medios y sus esperanzas del análisis de varianza combinado, fueron utilizados para obtener las estimaciones de momentos de los componentes

**Tabla 1.** Cuadrados medios del análisis de varianza con el diseño I de Carolina del Norte en tres Ambientes y dos Localidades, UAAANUL Torreón, Coahuila y Aguascalientes, Ags, 2007. (FV = Fuentes de variación, GL = Grados de libertad, RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote, AP = altura de planta, CV = coeficiente de variación, \* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ )).

**Table 1.** Mean squares of the analysis of variance following the North Carolina design I, in two localities and three environments, UAAANUL Torreón, Coahuila and Aguascalientes, Aguascalientes, 2007. (FV = sources of variation, GL = freedom degrees, RFV = yield of green forage, PT = stalk weight, PHP = plant leaves weight, PECH = corncob weight with leaves, DE = corncob diameter, LE = corncob length, AP = plant height, \*, \*\* = significance, CV = coefficient of variation, \* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ )).

FV	GL	RFV $t\ ha^{-1}$	PT $t\ ha^{-1}$	PHP $t\ ha^{-1}$	PECH $t\ ha^{-1}$	DE cm	LE cm	AP m
L	2	75026.1**	30629.3**	135.7**	11700.0**	50.0**	313.0**	30.5**
R/L	3	18295.0**	3617.1**	436.8**	2981.0**	0.2ns	15.4**	1.6*
M	7	8291.3**	2694.3**	140.0**	921.1**	1.6**	59.0**	2.6**
H(M)	120	895.0ns	234.5ns	23.4ns	168.3ns	0.4ns	8.6**	0.1**
LxM	14	2180.8*	607.6*	54.5*	340.9*	0.6ns	15.1**	0.4**
LxH(M)	240	579.0ns	146.3ns	12.4ns	131.4ns	0.3ns	5.6**	0.0ns
Error	381	556.2	156.9	15.1	132.3	0.3	5.3**	0.1
MEDIA		88.3	39.18	15.1	34.0	4.6	19.8	13.7
C.V. (%)		19.7	21.96	15.8	20.5	11.8	11.7	2.1

de varianza de localidades ( $\sigma_l^2$ ), genotipos ( $\sigma_G^2$ ) y el error ( $\sigma_e^2$ ), como sigue:

$$\text{Aptitud combinatoria general: } \sigma_{ACG}^2 = 1/(n+2) [(M_g - M_s)]$$

$$\text{Aptitud combinatoria específica: } \sigma_{ACE}^2 = M_s - M'_e$$

$$\text{Varianza aditiva: } \sigma_A^2 = 2 \sigma_{ACG}^2$$

$$\text{Varianza de dominancia: } \sigma_D^2 = \sigma_{ACE}^2$$

$$\text{Grado promedio de dominancia } d^2 = (2 \sigma_D^2 / \sigma_A^2)$$

$$\text{Varianza fenotípica: } \sigma_P^2 = \sigma_e^2/6 + \sigma_l^2/3 + \sigma_{Gl}^2/2 + \sigma_G^2$$

Heredabilidades en base a las medias de genotipos:

$$H^2 = \sigma_G^2 / \sigma_P^2 \times 100 \text{ y } h^2 = \sigma_A^2 / \sigma_P^2 \times 100$$

Los efectos de ACG y ACE de cada variable, se obtuvieron de acuerdo a los valores positivos resultantes del análisis genético.

## RESULTADOS

### Análisis de varianza

El análisis de varianza combinado tuvo, efecto significativo ( $p \leq 0.01$ ) para el ambiente o localidades en todos los caracteres evaluados. Mientras que el efecto machos (M) fue significativo ( $p \leq 0.01$ ) para todos los caracteres de componentes de rendimiento, lo que muestra la diversidad que existe entre las líneas; mientras que las cruzas o interacción hembra por macho H(M), presentaron efectos signifi-

cativos ( $p \leq 0.01$ ) en las variables LE y AP. Para la interacción LxM, las variables LE y AP resultaron con efectos significativos ( $p \leq 0.01$ ), mientras que para RFV, PT, PHP y PECH los efectos fueron significativos ( $p \leq 0.05$ ). Los coeficientes de variación (CV) de los análisis de varianza, son considerados dentro de los rangos de aceptación, oscilaron entre 2.1 y 21.9 %, correspondiendo a AP y PT respectivamente (Tabla 1), esto pudiera ser debido al continuo riego con cintilla que no permitió que faltara humedad en el suelo.

### Rendimiento de forraje verde de los progenitores macho

Los comportamientos promedio de rendimiento y sus componentes (Tabla 2), muestran que el macho M6 (B-40), obtuvo 104 t  $ha^{-1}$  en RFV, 48.2 t  $ha^{-1}$  en PT, 17.5 t  $ha^{-1}$  en PHP, 38.0 t  $ha^{-1}$  para PECH, 4.5 cm en DE, 21.0 cm en LE y 2.4 m en AP. El macho M8 (CML-311) resultó con 98 t  $ha^{-1}$  en RFV, 44.3 t  $ha^{-1}$  en PT, 16.0 t  $ha^{-1}$  en PHP, 37.7 t  $ha^{-1}$  para PECH, 4.6 cm en DE, 19.3 cm en LE y 2.2 m para AP. Para (DE) diámetro del elote, todos los progenitores macho, fueron estadísticamente iguales, excepto el M3, en tanto que para longitud del elote (LE), los machos M1 y M4 mostraron valores de 20.5 y 20.3 para este carácter.

**Tabla 2.** Rendimiento promedio de forraje verde en t ha<sup>-1</sup> de las líneas endogámicas de maíz usadas como machos, para siete características agronómicas, en dos localidades y tres ambientes, 2007. (RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote, AP = altura de planta. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS, 0.05).

**Table 2.** Average yield of green forage in t ha<sup>-1</sup> of the inbred maize lines used as males, for seven agronomic characteristics in two localities and three environments, 2007. (RFV = yield of green forage, PT = stalk weight, PHP = plant leaves weight, PECH = corncob weight with leaves, DE = corncob diameter, LE = corncob length, AP = plant height). Means with the same letters are not statistically different (DMS, 0.05).

Padres	RFV t ha <sup>-1</sup>	PT t ha <sup>-1</sup>	PHP t ha <sup>-1</sup>	PECH t ha <sup>-1</sup>	DE cm	LE cm	AP m
M1	90b	41.9b	15.3b	33.1b	4.7a	20.5a	2.3a
M2	81c	35.4c	14.4b	31.6c	4.6a	19.2b	2.0ab
M3	76	32.5	14.1c	29.4	4.3b	19.5b	1.9ab
M4	85b	36.0c	14.7b	34.6ab	4.7a	20.3a	1.9ab
M5	90b	39.3b	14.9b	35.8ab	4.6a	19.6b	2.2 a
M6	104 a	48.2a	17.5a	38. a	4.5a	21.0a	2.4 a
M7	81c	35.8c	13.7	31.8c	4.6a	18.7b	2.1 a
M8	98a	44.3a	16.0ab	37.7a	4.6a	19.3b	2.2 a

Para altura de planta (AP), los machos M6, M1, M5 y M8, formaron un grupo cuyos valores van de 2.2 a 2.4 m. Para el rendimiento de forraje verde (RFV), el M6 (B-40) fue superior a todos con 104 t ha<sup>-1</sup>, le siguió el M8 (CML-311) con 98 t ha<sup>-1</sup> y en tercer lugar el M1 (AN-447) con 90.0 t ha<sup>-1</sup>. El promedio para variable producción de forraje verde (PFV) fue de 88.3 t ha<sup>-1</sup>, todas las variables evaluadas contribuyeron al rendimiento de forraje verde por ser componentes principales para este carácter.

#### Rendimiento en forraje verde de las 15 mejores cruzas

Los resultados de los valores medios de las cruzas para todas las variables en estudio, muestran las 15 mejores cruzas en base al rendimiento en forraje verde (RFV), mismas que sobresalen en todas las variables analizadas. Las cruzas 6x4, 6x6, 8x6 y 8x4, presentaron valores de 123, 123, 120 y 119 t ha<sup>-1</sup> respectivamente para RFV que estadísticamente son iguales, superando a los dos testigos utilizados en el presente trabajo, debido al alto grado de endogamia de algunas líneas y a los efectos que ésta tiene sobre la producción (Tabla 3).

#### Aptitud Combinatoria General

Los efectos de ACG muestran que el macho M6 (B-40) resultó con valores de 52.0 t ha<sup>-1</sup> para RFV, 24.1, 17.5, 17.5 t ha<sup>-1</sup> para PT, PHP y PECH respectivamente, y con 4.5 y 21.0 cm en DE y LE, mientras que para AP fue 2.4 m. El M8 (CML-311) obtuvo valores de 49.0 t ha<sup>-1</sup> en RFV, de 22.2, 16.0, 16.0 t ha<sup>-1</sup> para PT, PHP, PECH y 4.6, 19.3 cm para DE y LE, mientras que para AP fue 2.2 m. El macho M1 (AN-447) obtuvo el tercer lugar para todos los caracteres, en RFV 45.2 t ha<sup>-1</sup>, para PT, PHP y PECH resultó con valores de 20.9, 15.3 y 15.3 t ha<sup>-1</sup>, en DE y LE 4.7 y 20.5 cm, para AP fue 2.3 m. (Tabla 4). De acuerdo a los valores observados fue posible encontrar combinaciones específicas en las que participan los machos M1, M6 y M8, con líneas hembras H4, H6, H3 y H5. Los caracteres que más aportaron en el RFV fueron: el peso del tallo, peso de las hojas de la planta y peso del elote con hojas.

#### Aptitud Combinatoria Específica

Para los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) en las 15 mejores cruzas, destacan 6x4, 6x6, 8x6 y 8x4 con valores de 30.8, 30.7, 30.0

**Tabla 3.** Promedios de rendimiento en forraje verde en  $t\ ha^{-1}$  de las 15 mejores cruzas de maíz para siete características agronómicas evaluadas, con el diseño I Carolina del Norte, en tres ambientes con dos localidades, 2007. (RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote, AP = altura de planta. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS, 0.05)).

**Table 3.** Yield averages of green forage in  $t\ ha^{-1}$  of the 15 best maize crosses, for seven agronomic characteristics evaluated following the North Carolina design I, in two localities and three environments, 2007. (RFV = yield of green forage, PT = stalk weight, PHP = plant leaves weight, PECH = corncob weight with leaves, DE = corncob diameter, LE = corncob length, AP = plant height. Means with the same letters are not statistically different (DMS, 0.05)).

Cruza	RFV $t\ ha^{-1}$	PT $t\ ha^{-1}$	PHP $t\ ha^{-1}$	PECH $t\ ha^{-1}$	DE cm	LE cm	AP m
6x4	123a	53b	20a	50a	4.6a	23a	2.42c
6x6	123a	61a	22a	40c	4.2b	21 <sup>a</sup>	2.53 a
8x6	120a	56b	18ab	46b	4.3ab	18ab	2.07
8x4	119a	49bc	17ab	52a	4.7a	22 <sup>a</sup>	2.09
6x3	118a	53b	19a	47b	4.1b	22 <sup>a</sup>	2.13
6x5	114ab	54b	18ab	43b	4.6a	20 <sup>a</sup>	2.26
6x11	114ab	54b	19a	40c	4.4ab	20 <sup>a</sup>	2.38c
8x5	113ab	50bc	16b	46b	4.6a	21 <sup>a</sup>	2.27
1x5	111ab	52b	18ab	41c	4.5ab	21 <sup>a</sup>	2.52 a
1x15	109b	51bc	17ab	41c	4.5ab	20 <sup>a</sup>	2.39c
8x9	106b	48c	17ab	42c	4.6a	19ab	2.09
5x16	106b	49bc	17ab	41c	5.0a	20 <sup>a</sup>	2.25
8x7	105c	58a	18ab	30	4.5ab	20 <sup>a</sup>	2.21
6x14	105c	42	17ab	37	4.3ab	21 <sup>a</sup>	2.49b
6x7	105c	42	16b	31	4.2b	18ab	2.10

y  $29.7\ t\ ha^{-1}$  respectivamente para el rendimiento en forraje verde y en casi todos sus componentes, excepto para DE, donde la cruza 8x9 obtuvo un valor de 1.6 cm y le siguieron las cruzas 6x4, 8x4, 6x5, 8x5 y 5x16, todas con un valor de 1.2 cm. Para LE la cruza 6x4 resultó con valor de 5.8 cm, 6x7 obtuvo 5.7 y la cruza 6x3 fue de 5.5 cm, para la variable AP, la cruza 6x7 tuvo un valor de .65 m, 6x3 con .64 y las cruzas 6x6 y 1x5 con valores de .63 m. (Tabla 5). Para RFV el mayor valor fue para la cruza B-40 x CML-319 con  $30.8\ t\ ha^{-1}$ , B-40 x CML-254 con  $30.7\ t\ ha^{-1}$ , CML-311 x CML-254 con  $30.0\ t\ ha^{-1}$  y CML-311 x CML-319 con  $29.7\ t\ ha^{-1}$ . Las cruzas 6x14, 1x15 y 1x5 resultaron con valores de 26.4, 27.3 y  $27.8\ t\ ha^{-1}$ , respectivamente, mismas que tienen en común a los machos M1 y M6, los cuales fueron los machos que tuvieron los mayores valores de ACG.

### Coeficientes de correlación

El rendimiento de forraje verde correlacionó positiva y significativamente con los caracteres peso del tallo, peso de las hojas de la planta y el peso del elote con hojas, pues estos son estimadores del rendimiento del rendimiento con valores de 0.94\*\*, 0.80\*\* y 0.89\*\*, sin embargo con los caracteres diámetro del elote, longitud del elote y altura de la planta no hubo correlación cuyos valores no tuvieron significancia 0.26, 0.32 y 0.37 respectivamente. El diámetro del elote correlacionó ( $p \leq 0.05$ ) con la longitud del elote y la altura de la planta con valores de 0.42\* y 0.48\* (Tabla 6).

### Parámetros genéticos

Dentro de los resultados de los efectos genéticos, se pueden observar las varianzas fenotípica, genética, aditiva y no aditiva, así como las heredabilidades y el grado de dominancia (Tabla 7). Los valores de la varianza de dominancia, resultaron más

**Tabla 4.** Valores estimados de aptitud combinatoria general (ACG) de las líneas de maíz usadas como machos para rendimiento en forraje verde, en dos Localidades y tres Ambientes. Aguascalientes, Ags., y UAAAN UL Torreón, Coahuila 2007. (RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote, AP= altura de planta, \* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ )).

**Table 4.** Estimated values of general combining ability (ACG) of the maize lines used as males and females for yield of green forage, in two localities and three environments. Aguascalientes, Ags., and UAAANUL Torreón, Coah., 2007. (RFV = yield of green forage, PT = stalk weight, PHP = plant leaves weight, PECH = corncob weight with leaves, DE = corncob diameter, LE = corncob length, AP = plant height, \* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ )).

Cruza	RFV $t\ ha^{-1}$	PT $t\ ha^{-1}$	PHP $t\ ha^{-1}$	PECH $t\ ha^{-1}$	DE cm	LE cm	AP m
M1	45.2*	20.9	15.3	15.3	4.7	20.5*	2.3
M2	40.5	17.7	14.4	14.4	4.6	19.1	2
M3	38.1	16.3	14.1	14.1	4.3	19.4	1.9
M4	42.7	18	14.7	14.7	4.7	20.3*	1.9
M5	45.0*	19.7	14.8	14.8	4.6	19.5	2.2
M6	52.0**	24.1	17.5**	17.5**	4.5	21.0**	2.4
M7	40.5	17.9	13.7	13.7	4.6	18.6	2.1
M8	49.0**	22.2	16.0*	16.0*	4.6	19.3	2.2

elevados para la mayoría de los caracteres estudiados, que los valores de la varianza aditiva, excepto para AP. La variable DE resultó con valor de 0.0 para las varianzas aditiva y de dominancia, mientras que AP obtuvo 0.1 para la varianza aditiva y 0.0 para la de dominancia, por lo que la varianza ambiental influyó en mayor proporción a la expresión de la varianza fenotípica respecto a estos caracteres. En la heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ), todas las variables tuvieron valores entre 50.6 para (DE) y 81.4 para (AP), considerados de intermedios a altos, los porcentajes de heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ) fueron menores, para RFV, PT, PECH, LE y AP, con valores de 30, 36, 22.2, 24.9 y 46.4 respectivamente.

## DISCUSIÓN

El comportamiento diferencial de las variables RFV, PT, PHP, PECH, DE y LE a través de las cruzas desarrolladas, puede ser atribuible a la gran diversidad genética prevaleciente en las líneas progenitoras, producto de su origen genético heterogéneo; lo cual ha sido también determinado por otros autores (Soengas et al. 2003; De La Cruz-Lázaro et al. 2005). De igual manera Wong et al. (2006) identifi-

caron híbridos de maíz de alto rendimiento ( $125.65\ t\ ha^{-1}$ ) como resultado de la alta variabilidad genética entre las poblaciones y a la diversidad genética entre las líneas probadas.

Los coeficientes de variación usados como una medida de precisión en la conducción de los experimentos (Tabla 1), Kang et al. (1999) mostraron valores aceptables entre 2.1 de AP y 15.8 % para PHP, lo que da una mayor confiabilidad a los resultados obtenidos para estos caracteres e indican una precisión mayor en el muestreo, sin embargo los valores mas altos se obtuvieron en RFV, PECH y PT con 19.7, 20.5 y 21.96 % respectivamente, estas características son las mas complicadas al momento de medir, por lo que se considera que estos valores están influenciados por errores al muestrear (Peña et al 2004). Las medias generales para cada variable indicaron que al obtenerse un rendimiento de  $88.3\ t\ ha^{-1}$  de forraje verde, el peso del tallo, el peso del elote con hojas y las hojas de la planta, contribuyeron con un 44.3, 38.5 y 17.1 % respectivamente. Estos resultados difirieron a los obtenidos por Amador & Boschini (2000), quienes obtuvieron  $92\ t\ ha^{-1}$  de forraje verde con el 63 % de tallos y espigas, 15 % de elote y 16 % de hojas. Por otra

**Tabla 5.** Aptitud combinatoria específica (ACE) de las 15 mejores cruzas de maíz para siete características agronómicas evaluadas, con el diseño I Carolina del Norte, en tres ambientes con dos localidades, 2007. (RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote, AP = altura de planta. \* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ )).

**Table 5.** Specific combining ability (ACE) of the 15 best maize crosses for seven agronomic characteristics evaluated following the North Carolina design I, in two localities and three environments, 2007. (RFV = yield of green forage, PT = stalk weight, PHP = plant leaves weight, PECH = corncob weight with leaves, DE = corncob diameter, LE = corncob length, AP = plant height. \* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ )).

Cruza	RFV t ha <sup>-1</sup>	PT t ha <sup>-1</sup>	PHP t ha <sup>-1</sup>	PECH t ha <sup>-1</sup>	DE cm	LE cm	AP m
6x4	30.8**	13.2*	4.9	12.6*	1.2	5.8**	.61*
6x6	30.7**	15.3**	5.4**	9.9	1.1	5.3	.63*
8x6	30.0*	13.9	4.6	11.5	1.1	4.6	0.53
8x4	29.7*	12.4	4.3	13.0**	1.2	5.4*	0.57
6x3	29.6	13.2*	4.7	11.7	1	5.5*	.64**
6x5	28.6	13.4*	4.4	10.7	1.2	5	0.54
6x11	28.5	13.5*	4.9	10.1	1.1	5	0.6
8x5	28.2	12.6	4	11.5	1.2	5.2	0.57
1x5	27.8	13.1	4.4	10.3	1.1	5.3	.63*
1x15	27.3	12.7	4.2	10.3	1.1	5.3	0.6
8x9	26.7	11.9	4.3	10.5	1.6**	4.7	0.52
5x16	26.7	12.3	4.2	10.2	1.2	5.1	0.56
8x7	26.5	14.5	4.5	7.5	1.1	5	0.55
6x14	26.4	10.4	4.3	9.3	1.1	5.3	0.62
6x7	26.4	12.7	4.6	9.2	1.1	5.7**	.65**

parte Gutiérrez-del Río *et al.* (2004) con híbridos de maíz adaptados a esta región obtuvieron rendimientos de 89.5 t ha<sup>-1</sup> inferiores a los encontrados en este trabajo, los resultados de este estudio para el rendimiento de forraje, muestran superioridad ante los dos testigos utilizados, el AN-423 (86.4 t ha<sup>-1</sup>) y el Pionner-3025 (84.3 t ha<sup>-1</sup>).

Los efectos de ACG muestran como la línea usada como progenitor macho, M6 (B-40) con valores de 52.0, 24.1, 17.5, 17.5, 21.0 y 2.4 para RFV, PT, PHP, PECH, LE y AP resultó con los mayores efectos para todas los caracteres evaluados (Tabla 4), excepto para DE, le siguió M8 (CML-311) con valores de 49.0, 22.2, 16.0 y 16.0 para RFV, PT, PHP y PECH respectivamente, el M1 (AN-447) en tercer lugar para todos los caracteres, excepto DE donde resultó con valor superior 4.7, en LE y AP resultó en segundo lugar. Para RFV el macho B-40 obtuvo el valor mas alto con (52.0 t ha<sup>-1</sup>), le siguió el macho CML-311 con 49.0 t ha<sup>-1</sup> y en tercer lu-

gar fue el macho AN-447 con 45.2 t ha<sup>-1</sup>, el resto de los progenitores resultaron con valores menores pero de alta ACG. Espinoza *et al.* (2003) señalan el potencial genético de éstas líneas y su valor genético en combinaciones híbridas, por lo que la diversidad genética del origen de los progenitores, se reflejó en una ACG significativa. A medida que la diversidad genética de los progenitores se incrementa, aumenta también la diferencia para los valores de aptitud combinatoria, ya sea para ACG o para ACE, o bien para los dos tipos de acción génica, sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse en varios individuos a fin de poder seleccionar los que exhiban la mas alta aptitud combinatoria.

En los efectos de ACE con valores de 30.8, 30.7 y 30.0 t ha<sup>-1</sup> para RFV, fueron para las cruzas 6x4, 6x6 y 8x6, que también resultaron con valores superiores en la mayoría de los caracteres (Tabla 5). Las líneas que más intervienen en las cruzas sobresalientes son: el macho M6 siete veces, el M8

**Tabla 6.** Coeficientes de correlación para siete características agronómicas evaluadas en maíz, en dos localidades y tres ambientes, 2007. (RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote, AP= altura de planta, \* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ )).

**Table 6.** Correlation coefficients for seven agronomic characteristics evaluated for maize in two localities and three environments, 2007. (RFV = yield of green forage, PT = stalk weight, PHP = plant leaves weight, PECH = corncob weight with leaves, DE = corncob diameter, LE = corncob length, AP = plant height, \* = ( $p \leq 0.05$ ), \*\* = ( $p \leq 0.01$ )).

	RFV	PT	PHP	PECH	DE	LE	AP
RFV	1.00	0.94**	0.80**	0.89**	0.26ns	0.32ns	0.37ns
PT		1.00	0.72**	0.70**	0.32ns	0.31ns	0.45*
PHP			1.00	0.63*	0.16ns	0.24ns	0.31ns
PECH				1.00	0.16ns	0.30ns	0.22ns
DE					1.00	0.42*	0.48*
LE						1.00	0.41ns
AP							1.00

tres veces y el M1 dos veces; las líneas que aparecen con mas frecuencia en los híbridos sobresalientes son los que obtuvieron los valores mas altos de ACG, estos resultados coinciden con los reportados por Gutiérrez-del Río *et al.* (2002; 2004) quienes indican que al menos uno de los progenitores de las cruzas más sobresalientes presente altos efectos de ACG. Las cruzas de mayor ACE para RFV coinciden ser las más rendidoras en el promedio de rendimiento en forraje verde y también en la mayoría de los caracteres evaluados, en general los valores de ACG fueron superiores a los de ACE lo que explica la proporción de la varianza genotípica debida a los efectos aditivos de los genes, estos resultados no coinciden con los obtenidos en otros trabajos (Gutiérrez-del Río *et al.* 2002; Vergara-Ávila *et al.* 2005; Wong *et al.* 2006; De la Cruz-Lázaro *et al.* 2007).

El coeficiente de correlación, permitió identificar que el mayor grado de asociación fue encontrado entre PT, PHP y PECH con RFV ( $p \leq 0.01$ ), que son los principales componentes del rendimiento en forraje verde (Tabla 6), este grado de asociación entre caracteres indica que si mejoramos para elevar la producción de una variable, las variables asociadas con ella van a ser modificadas. Se encontró correlación significativa ( $p \leq 0.05$ ) de DE con LE y AP, lo que muestra la relación positiva entre la altura de la planta con el largo y ancho del elote, aunque estos caracteres no tuvieron correlación con el rendimien-

to. En el caso de los materiales que intervinieron en este estudio probablemente la altura de la planta, el diámetro y la longitud del elote no tuvieron correlación con el rendimiento en forraje verde debido a la variabilidad genética que existe entre las líneas, así como al diferente grado de combinación entre ellas, ya que en este trabajo se usaron líneas enanas que portan el gen braquítico ( $br_2 br_2$ ) en condición homocigótica recesiva, lo que originó híbridos de porte bajo, por lo que la correlación de la altura de la planta, el diámetro y longitud del elote con el rendimiento no existió o fue de poco valor.

En los componentes genéticos de las variables estudiadas, al estimar los componentes de varianza genética, heredabilidad y grado promedio de dominancia (Tabla 7), la varianza aditiva ( $\sigma_A^2$ ), resultó menor en los caracteres principales de los componentes del rendimiento, por lo que la varianza en sentido estrecho ( $h^2$ ) resultó con valores menores para estos caracteres. Estos resultados se atribuyen a la diversidad de la constitución genética de las líneas, que al aparearse forman individuos de tipo heterocigótico, que reducen los efectos aditivos. Por tal razón, es de suponerse que todas las variaciones están estimadas con base en el comportamiento genético determinado como varianza de dominancia, lo cual es de esperarse puesto que existe una mayor expresión heterótica en los híbridos por efecto de la ACE de la mayoría de las líneas, lo que da

**Tabla 7.** Alores estimados de los principales parámetros genéticos de siete características agronómicas de maíz, evaluadas en tres ambientes y dos localidades. UAAANUL, Torreón, Coahuila y Aguascalientes, Ags. 2007. (RFV = rendimiento en forraje verde, PT = peso del tallo, PHP = peso de las hojas de la planta, PECH = peso del elote con hojas, DE = diámetro del elote, LE = longitud del elote, AP = altura de planta).

**Table 7.** Estimated values of the main genetic parameters for seven agronomic characteristics of maize, evaluated in two localities and three environments. UAAANUL, Torreón, Coah., and Aguascalientes, Ags. 2007. (RFV = yield of green forage, PT = stalk weight, PHP = plant leaves weight, PECH = corncob weight with leaves, DE = corncob diameter, LE = corncob length, AP = plant height).

	RFV	PT	PHP	PECH	DE	LE	AP
$\sigma_P^2$	498	142	12	70.5	0.1	4.3	0.1
$\sigma_G^2$	364	110	10	40.3	0.1	3	0.1
$\sigma_A^2$	154	51	2.4	15.7	0	1.1	0.1
$\sigma_D^2$	210	59	7.3	24.6	0	2	0
$H^2$	73	77	79.4	57.1	50.6	71.8	81.4
$h^2$	30	36	19.9	22.2	19.5	24.9	46.4
$d^2$	1.7	1.5	2.4	1.8	1.8	1.9	1.2

como resultado un valor más alto de heredabilidad en el sentido amplio por efecto de la varianza de dominancia (Gutiérrez-del Río *et al.* 2002).

Hallauer & Miranda (1981) señalan que otra de las posibles razones de una menor varianza aditiva, es el origen de los progenitores que forman los híbridos, ya que cuando provienen de una sola población o de poblaciones emparentadas, hay alta probabilidad de que sobresalga este tipo de acción génica, como es el caso del parentesco entre las líneas M3 (L-AN 123) y la H1 (L-AN 123 R) utilizadas en este trabajo. La mayor contribución se encontró en la varianza de dominancia ( $\sigma_D^2$ ), por lo que se sugiere formar híbridos superiores, seleccionando líneas que se complementen en sus caracteres Hallauer & Miranda (1981), así como incrementar las líneas sobresalientes, analizar y seleccionar para calidad forrajera, para producir híbridos comerciales. En el grado de dominancia ( $d$ ), todos los caracteres expresan sobredominancia de acuerdo a la clasificación de Falconer (1985), que será manifestada con

seguridad en los híbridos simples que se formen. Resultados similares fueron obtenidos por Gutiérrez-del Río *et al.* (2002) al evaluar 21 híbridos de maíz en cuanto al rendimiento.

De acuerdo con Shull (1908) y Hallauer & Miranda (1981), el mayor vigor híbrido se debe a la presencia en el cigote de un número mayor de genes dominantes que en los progenitores, por reunirse los genes dominantes aportados por éstos para ser expresados de esta manera los efectos de la sobredominancia en la progenie. Esto indica que hay una mayor frecuencia de genes con efectos de categoría no aditiva. De la misma forma, Márquez (1988) indica que los valores mayores a la unidad en la estimación del grado de dominancia, proporcionan información para explotar la heterosis y para incrementar el rendimiento en el cultivo de maíz. Se observaron importantes combinaciones heteróticas entre las cruzas de las líneas de CIMMYT, INIFAP y UAAANUL, las cuales pueden ser explotadas para el desarrollo de nuevos híbridos en corto tiempo.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar- Valdés A, García-Hernández LA, Luévano-García A (2000) El impacto social y económico de la ganadería lechera en la Región Lagunera. Séptima edición. Grupo Industrial LALA, Torreón, Coah. p. 207.

- Amador AL, Boschini FC (2000) Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 171-177.
- Anónimo (1999) Maize inbred lines released by CIMMYT. A compilation of 424 CIMMYT maize lines (CMLs) CML 1-CML 424. First draft. México D.F. 94 p.
- Anónimo (1988) Introductory guide for Personal Computers, Release 6.03 Edition. Cary. NC.SAS. 111 p.
- Anónimo (2004) Es época para sembrar maíz y sorgo forrajero. Agropecuaria. INIFAP. El siglo de Torreón. Consulta 19 de enero del 20012. <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/77339.es-epoca-para-sembrar-maiz-y-sorgo-forrajero.html>.
- Anónimo (2007) Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. Fichas por Estado. SAGARPA. Avances reportados de siembras y cosechas, superficie sembrada y cosechada, rendimientos y producción. 28 p. [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comfichedos.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comfichedos.html). 14 de noviembre de 2005.
- Anónimo (2007) Algunos conceptos sobre El cultivo de maíz para ensilaje. Consulta 09 marzo 2012. <http://www.infortambo.com.ar/admin/upload/arch/E1%20cultivo%20de%20maiz%20para%20ensilaje%20-%20L%20Bertoia.pdf>.
- Anónimo (2008). Mapa digital de México, atlas nacional interactivo de México. Estado de Coahuila. Estado de Aguascalientes. 12 de marzo 2009. Centro distribuidor de metadatos. <http://www.inegi.org.mx>.
- Antuna-Grijalva O, Bustamante-García L, Gutiérrez-Del Río E, Rincón-Sánchez F, Ruiz-Torres NA (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. Rev. Fitotec. Méx. 26(1): 11-17.
- Clark PW, Kelm S, Endres MI (2002) Effect of feeding a corn hybrid selected for leafiness as silage or grain to lactating dairy cattle J.Diary Sci. 85: 607-612.
- Comstock RE, Robinson HF (1948) The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. Biometrics 4:254-266.
- De la Cruz-Lázaro E, Rodríguez-Herrera S, Estrada-Botello MA, Mendoza-Palacios JD, Brito-Manzano NP (2005) Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. Universidad y Ciencia 21(41): 19-26.
- De la Cruz-Lázaro E, Gómez-Vázquez A, López-Benítez A, Osorio-Osorio R, Palomo-Gil A, Robledo-Torres V, Rodríguez Herrera S (2007) Aptitud combinatoria de líneas de maíz de alta calidad de proteína para características forrajeras. Universidad y Ciencia 23(1): 57-68.
- De León-Castillo H, De la Rosa-Loera A, Rincón Sánchez F, Martínez-Zambrano G (2006) Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a el bajío mexicano. Rev. Fitotec. Mex. 29(3):247-254.
- Espinoza-Banda A, Gutiérrez-Del Río E, Palomo-Gil A, Lozano-García J (2003) Efectos genéticos en cruzas entre híbridos comerciales de maíz forrajero. Rev. Fitotec. Mex. 25(2):171-178.
- Falconer DS (1985) Introducción a la Genética Cuantitativa. CECSA. México 135 p.
- Faz CR, García J, Núñez G (2005) Onceava demostración sobre tecnología para la producción de maíz, sorgo, forrajeros y alfalfas. INIFAP. PIAL. Campo Agrícola Experimental La Laguna. Matamoros, Coah. 32 pp.
- Gutiérrez-Del Río E, Palomo-Gil A, Espinoza-Banda A, De la Cruz-Lázaro E (2002) Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de línea de maíz en la Comarca Lagunera. Rev. Fitotec. Mex. 25:271-277.

- Gutiérrez-Del Río E, Espinoza-Banda A, Palomo-Gil A, Lozano-García J, Antuna-Grijalva O (2004) Aptitud combinatoria de híbridos de maíz para la Comarca Lagunera. Rev. Fitotec. Mex., México. 27 (Número especial 1): 7-11.
- Hallauer RA, Miranda FO (1981) Quantitative Genetics in Maize Breeding. The Iowa State University Press Ames, Iowa, 50010. First Edition 468 p.
- Kang SM, Kushairi DA, Zhang Y, Magari R (1999) Combining ability for rind puncture resistance in maize. Crop Sci. 39: 368-371.
- Márquez SF (1988) Genotecnia Vegetal. Tomo II. AGTESA. México. 563 p.
- Moreno GJ, Martínez I, Brichette I, López A, Castro P (2000) Breeding potencial of European flint and U.S. Corn belt dent maize populations for forage use. Crop Sci. 40: 1588-1595.
- Peña-Ramos A, Núñez-Hernández G, González-Castañeda F (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 CG (2004) Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. Rev. Fitotec. Méx. 27 (Núm. Espacial):1-6.
- Reta SDG, Gaytán MA, Carrillo AJ (2002) Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. Rev. Fitotec. Mex. 23: 37-48.
- Salazar-Sosa E, Trejo-Escareño HI, Vázquez-Vazquez C, López-Martínez JD (2007) Producción de maíz bajo riego por cintilla con aplicación de estiércol bovino. Rev. Inter. Bot. Exp. 76:169-185.
- Shull GH (1908) The composition of a field of maize. Am. Breeders Assoc. Rep. 4:296-301.
- Soengas P, Ordáz B, Malvar RA, Revilla P, Ordáz A (2003) Heterotic patterns among flint maize populations. Crop Sci. 43:844-849.
- Vergara-Ávila N, Rodríguez-Herrera SA, Córdova-Orellana HS (2005) Aptitud combinatoria general y específica de líneas de maíz (*Zea Mays L.*) tropical y subtropical. Agronomía Mesoamericana 16(2): 137-143.
- Wong-Romero R, Gutiérrez-Del Río E, Rodríguez-Herrera S, Palomo-Gil A, Córdoba-Orellana H, Espinoza-Banda A (2006) Aptitud combinatoria y parámetros genéticos de maíz para forraje en La Comarca Lagunera. Universidad y Ciencia 22 (2):141-151.
- Wong-Romero R, Córdoba-Orellana H, Espinoza-Banda A, Gutiérrez-Del Rio E, Lozano-García J, Palomo-Gil A, Rodríguez-Herrera S (2007) Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. Rev. Fitotec. Méx. 30:181-189.