


APTITUD COMBINATORIA Y PARÁMETROS GENÉTICOS DE MAÍZ PARA FORRAJE EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

Combining ability and genetic parameters in maize for forage at Comarca Lagunera, Mexico

R Wong-Romero , E Gutiérrez-del Río, SA Rodríguez-Herrera, A Palomo-Gil, H Córdova-Orellana, A Espinoza-Banda

(RWR) Alumno de doctorado en ciencias agrarias UAAAN-UL (EGR) (SARH) (APG) (AEB) Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna (UAAAN-UL) Periférico y Carretera a Santa Fe, Torreón, Coahuila, México. raulwongromero@hotmail.com. (HCO) Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Artículo recibido: 21 de febrero de 2006, **aceptado:** 23 de noviembre de 2006

RESUMEN. El objetivo de este trabajo fue identificar híbridos de maíz con potencial de rendimiento forrajero, estimar los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de líneas, la aptitud combinatoria específica (ACE) de sus cruzas, y los componentes genéticos de los caracteres agronómicos. Se evaluaron las 45 cruzas directas posibles entre 10 líneas. Las variables fueron producción de forraje verde (*PFV*), forraje seco (*PMS*), elote más totomoxtle (*PET*), elote (*PE*), totomoxtle o brácteas del elote (*PTO*), tallo y espiga (*PTA*), vaina del tallo de cada hoja (*PVA*) y hojas o lamina foliar (*PHO*), con un diseño experimental de bloques completos al azar, dos repeticiones y una densidad de 85 000 plantas ha⁻¹ en una localidad UAAAN-UL Torreón, Coahuila. El diseño dialélico IV de Griffing se utilizó para la estimación de los parámetros genéticos, encontrando diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$) para ACG para la mayoría de las variables, excepto *PTO*. Para ACE, las variables *PFV* y *PHO* resultaron con diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) y la variable *PVA* con diferencias estadísticas al $p \leq 0.01$. *PFV* y *PMS* correlacionan significativamente ($p \leq 0.01$) con todas las características evaluadas. Dentro de las varianzas, todas muestran una alta correlación entre ellas. Para las variables *PFV*, *PMS*, *PET*, *PE*, *PTA* y *PHO* los efectos aditivos fueron los que más contribuyeron a la varianza genética, por lo que se sugiere formar variedades sintéticas. Para las cruzas 5x7 (AN123xB32), 2x7 (AN447x B32), 7x8 (B32xB39) y 9x10 (B40xCML319) se deberá incrementar las líneas para producir las cruzas y evaluarlas en parcelas demostrativas. **Palabras clave:** Aptitud combinatoria, líneas, dialélico, componentes genéticos, forraje.

ABSTRACT. The objective of this study was to identify maize hybrids with potential for foraging yield, to estimate the effects of general combining ability (ACG) of inbred lines, the specific combining ability (ACE) of crosses, and the genetic components of agronomic characteristics. The forty-five direct possible crosses among 10 inbred lines were evaluated. The variables included fresh forage production (*PFV*), dry forage (*PMS*), ear and husk (*PET*), ear (*PE*), husk (*PTO*), stalk (*PTA*), leaf sheath (*PVA*) and leaves (*PHO*), with a completely random block experimental design, two replicates and a density of 85 000 plants ha⁻¹ in UAAAN-UL Torreón, Coahuila. Genetic parameters were estimated with a diallel Griffing method IV. Statistical differences ($p \leq 0.01$) for ACG were found for most variables, except *PTO*. In the case of ACE, the variables *PFV* and *PHO* presented statistical differences at $p \leq 0.05$, and the variable *PVA* presented the same at $p \leq 0.01$. *PFV* and *PMS* correlate significantly ($p \leq 0.01$) with all the other variables, and all show a high correlation among each other within the variances. The additive effects contributed the most to the genetic variance for variables *PFV*, *PMS*, *PET*, *PE*, *PTA* and *PHO*, for which it is suggested that synthetic varieties be produced. Lines should be increased for crosses 5x7 (AN123xB32), 2x7 (AN447xB32), 7x8 (B32xB39) and 9x10 (B40xCML319) for production and evaluation in experimental crops.

Key words: Combining ability, lines, diallelic, genetic components, forage.

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es una de las cuencas lecheras más importantes a nivel nacional, donde se siembran aproximadamente, 24 000 ha de maíz forrajero (Anónimo 2005) y el 90 % se siembra con híbridos comerciales para grano de compañías multinacionales desarrollados para otras regiones del país, por lo general se considera que los híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad de forraje (Peña *et al.* 2003), por lo que un alto porcentaje de mazorca o un alto índice de cosecha favorecen los incrementos en la calidad del forraje. En esta región la producción promedio por hectárea es de 51 t de forraje fresco y 15 t de forraje seco (Reta *et al.* 2002). En los últimos 10 años de evaluación de maíces forrajeros en el INIFAP en La Comarca Lagunera, 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 para sembrar, 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 y el ambiente, sino también la interacción genotipo x ambiente ya que a través de ella se detecta la eficacia 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. Peña *et al.* (2004), señalan 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), indican que el ganado lechero alimentado con híbridos de maíz seleccionados para forraje, rindió más leche, con mayor contenido de proteína y que el consumo de materia seca fue mayor que el alimentado con maíz normal. Es necesario implementar programas agresivos de formación y producción de híbridos de maíz forrajero a corto plazo que cumplan con las expectativas de calidad, producción y adaptación para el norte de México en donde se encuentra ubicada La Comarca Lagunera. El presente trabajo tuvo como objetivos 1) El iden-

tificar híbridos con potencial forrajero en función a sus componentes genéticos de aptitud combinatoria general en sus progenitores y aptitud combinatoria específica *per se* en las cruzas desarrolladas, para producirlos y ponerlos al alcance del agricultor a precios razonables. 2) Caracterizar el material formado en función de sus variables agronómicas y morfológicas y sus correspondientes correlaciones fenotípicas y genéticas para establecer un programa de mejoramiento de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado estuvo constituido por diez líneas, seis de ellas provenientes del programa de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN-UL), tres líneas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y una línea del programa del Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La descripción genealógica de las líneas es la siguiente:

- M1; L-AN 123 R. Línea de alta endogamia formada de variedad Criolla del municipio de Concepción, Jalisco con precocidad y tolerancia a sequía.
- M2; L-AN 447. Línea de 8 autofecundaciones, derivada de generaciones avanzadas del Híbrido AN-447 con características de amplia adaptabilidad.
- M3; L-AN 360 PV. Línea obtenida de la población enana denominada Pancho Villa, vigorosa y con hojas anchas.
- M4; L-AN 130. Proviene de la F4 del H-507, cruzada con la población de El Bajío denominada Celaya-2.
- M5; L-AN 123. Obtenida de forma divergente y contrastada de una variedad Criolla de Jalisco de hojas pálidas y onduladas.
- M6; L-AN 388R. Línea enana, con hojas anchas y suculentas generada a partir de la F3 del híbrido AN-388.
- M7; L B-32. La cual esta identificada con la genealogía H-353-245-6-10.
- M8; L B-39. Originada en el INIFAP-B39.

M9; L B-40. Con origen de formación en INIFAP-B40.

M10; CML-319. Originada en CIMMYT. Genealogía RecyW89(Cr.Arg/CIM.ShPINPH)6-3-2-4-B-B.

El trabajo se realizó en el campo experimental de la UAAAN-UL, en Torreón, Coahuila en la Comarca Lagunera, localizada geográficamente entre los paralelos 24° 30' y 27° LN y los meridianos 102° y 104° 40' LO, con 1150 nsnm y un clima seco y caluroso. El proyecto se desarrolló en dos etapas: en la primavera del 2004, se realizaron las 45 cruzas posibles directas $p(p-1)/2$ de las 10 líneas de acuerdo al diseño de apareamiento genético dialélico (Griffing 1956) método IV, utilizando 10 plantas de cada línea para obtener la semilla de las cruzas, y en el verano del mismo año se llevó a cabo en una localidad la evaluación de las cruzas con un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. La siembra se realizó el 21 de agosto, bajo riego con cintilla superficial (riego por goteo), procurando mantener un buen nivel de humedad durante el ciclo del cultivo, se fertilizó con la formula 180-100-00, se aplicó el 50 % del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto del nitrógeno al momento de cultivar. La parcela experimental fue de un surco de tres metros de largo y 0.70 m de ancho, con seis plantas por metro, para tener una población aproximada de 85 000 plantas ha^{-1} . El control de maleza se llevo a cabo con la aplicación de herbicida preemergente al momento de realizar el riego de nacencia. Las variables evaluadas fueron: Producción de forraje verde (*PFV*), materia seca de forraje (*PMS*), producción de elote más totomoxtle (*PET*), producción de elote (*PE*), producción de totomoxtle o brácteas del elote (*PTO*), producción de tallos (*PTA*), producción de vainas del tallo de cada hoja (*PVA*), y producción de hojas (*PHO*), todas reportadas en $t ha^{-1}$.

El análisis estadístico para las variables evaluadas, se realizó con el paquete SAS (Anónimo 1988). El análisis de la aptitud combinatoria del material genético se hizo de acuerdo con el método IV de los efectos fijos del dialélico de Griffing (1956), 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 efectos de ACG

y ACE de cada variable, fueron probados con el estadístico t, obteniéndose el valor al dividir el valor del parámetro entre su error estándar (Singh & Chaudary 1985).

RESULTADOS

Los cuadrados medios de cruzas en las variables *PFV*, *PMS*, *PE*, *PTA*, *PVA*, y *PHO* (ANDEVA; $p \leq 0.01$) y la variable *PET* (ANDEVA; $p \leq 0.05$) mostraron diferencias significativas, la variable *PTO* no fue significativa. Al desglosar cruzas en ACG y ACE, las variables *PFV*, *PMS*, *PET*, *PE*, *PTA*, *PVA* y *PHO*, mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.01$) solo la variable *PTO* resultó no significativa para ACG. Para ACE, las variables *PFV* y *PHO*, resultaron con diferencias significativas ($p \leq 0.05$), la variable *PVA*, mostró diferencia estadística ($p \leq 0.01$) y el resto de las variables, *PMS*, *PET*, *PE*, *PTO* y *PTA*, no mostraron significancia. Los coeficientes de variación (CV), oscilaron entre 10.3 % y 27.31 %, correspondiendo a *PFV* y *PE* respectivamente. Las medias del rendimiento para la variable producción de forraje verde (*PFV*) y materia seca de forraje (*PMS*), fueron de $95.13 t ha^{-1}$ y $19.84 t ha^{-1}$, correspondiendo al 20.8 % de materia seca, del peso de forraje verde. Según la media de las variables el peso del elote con totomoxtle (*PET*) y el peso de los tallos y espigas (*PTA*), son los que más contribuyen al rendimiento de forraje verde (*PFV*) (Tabla 1).

El comportamiento medio de las líneas progenitoras, mostró que P7 (B-32), P8 (B-39) y P9 (B-40), fueron los que integraron el grupo con los valores estadísticamente superiores para *PFV* y *PTA*, mientras que para *PMS* estas mismas líneas además de P2 (L-AN 447) y P10 (CML-319), fueron las que alcanzaron los mayores rendimientos quedando incluidas en el grupo estadísticamente superior. Para *PET*, las líneas P7, P8, P9 y P10, fueron las que resultaron sobresalientes, mientras que en *PE*, las líneas P7, P8, P9, P1, P2 y P5, forman el grupo estadísticamente superior. La producción de totomoxtle (*PTO*) no mostró diferencia significativa entre las líneas. Para *PVA*, las líneas P7 y P8, fueron las más sobresalientes, mientras que para *PHO*, solamente P8, resultó ser la más sobresaliente estadísticamente. Las líneas P7, P8 y P9 que se mostraron

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza dialélico método 4 de Griffing (GL=grados de libertad, *PFV*=producción de forraje verde, *PMS*=producción de materia seca, *PET*=producción de elote total, *PE*=producción de elote, *PTO*=producción de totomoxtle, *PTA*=producción de tallo, *PVA*=producción de vaina del tallo de cada hoja, *PHO*=producción de hoja, *CV*=Coeficiente de variación, *= $p \leq 0.05$, **= $p \leq 0.01$, ns=no significativo).

Table 1. Mean squares for the variance analysis, diallel Griffing method 4 (GL=freedom degrees, *PFV*=fresh forage production, *PMS*=dry forage, *PET*=ear and husk, *PE*=ear, *PTO*=husk, *PTA*=stalk, *PVA*=leaf sheath, *PHO*=leaf, *CV*=coefficient of variation, *= $(p \leq 0.05)$, **= $(p \leq 0.01)$, ns=non significant).

<i>FV</i>	GL	<i>PFV</i>	<i>PMS</i>	<i>PET</i>	<i>PE</i>	<i>PTO</i>	<i>PTA</i>	<i>PVA</i>	<i>PHO</i>
Repeticiones	1	2913.0**	111.1**	215.5*	70.7*	40.9ns	392.1**	83.1**	115.8*
Cruzas	44	407.2**	17.2**	64.2*	30.8**	13.6ns	104.1**	17.0**	50.9**
ACG	9	1356.0**	51.4**	172.7**	109.4**	14.4ns	380.3**	37.7**	123.2**
ACE	35	163.3*	8.5ns	36.3ns	10.5ns	13.3ns	33.0ns	11.7**	32.4*
Error	44	96.1	8.1	37.7	9.7	11.9	27.5	5.5	22.5
Total	89								
CV (%)		10.30	14.39	19.79	27.31	17.6	15.42	18.86	24.55
Media		95.13	19.84	31.04	19.6	11.41	34.01	12.45	19.35

consistentes en *PFV* y *PMS*, los caracteres que más influyen en su expresión son *PET*, *PE* y *PTA* además, para las líneas P7 y P8, la *PVA* y para la línea P8, la *PHO*, tuvieron una contribución significativa (Tabla 2).

Para los efectos de ACG de las líneas progenitoras se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), en las variables *PFV*, donde las líneas P7, P8 y P9, tuvieron los valores positivos más elevados; para la variable *PMS*, solo P8 (B-39), mostró diferencia significativa con el valor positivo más alto; para *PET*, fue P7 (B-32), el único que se mostró estadísticamente superior; mientras que para *PVA*, el P7 (B32) y P8 (B39) y para la variable *PHO*, P8 (B39) quedaron dentro del grupo más sobresaliente con los valores positivos más elevados. También se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$), en la variable *PTA* donde las líneas P7 (B32), P8 (B39) y P9 (B-40), forman el grupo estadísticamente superior; para la variable *PE*, se encontraron diferencias estadísticas en ambos niveles de probabilidad siendo P7, P9 ($p \leq 0.01$) y P8 ($p \leq 0.05$), los que mostraron los valores positivos más altos; y finalmente en la variable *PTO*, no hubo diferencias estadísticas, el valor negativo más grande (-2.12) lo mostró la línea P6 (AN-388 R), el resto de las líneas tuvieron valores tanto positivos como negativos cercanos a cero. La línea P7, que obtuvo el valor más elevado de ACG para *PFV*, también presenta valores significativos para las variables *PET*, *PE*, *PTA* y *PVA*, mientras que para P8, las variables *PMS*, *PE*, *PTA*, *PVA* y *PHO*, y para P9, las variables *PE* y *PTA*, son las que más contribuyen en la manifes-

tación de ACG para *PFV* (Tabla 3).

Se observó una amplia variación entre las medias de las cruzas para todas las variables en estudio, en donde se presentan los resultados de las 15 mejores cruzas en base a producción de materia seca (*PMS*) y producción de forraje verde (*PFV*). Para la variable *PMS*, el grupo estadísticamente superior incluye 20 cruzas, mientras que para *PFV*, son solamente siete cruzas las que componen este grupo, en general las cruzas más sobresalientes para *PFV*, están incluidas en el grupo sobresaliente de *PMS*. En cuanto a las variables relacionadas con el elote de la planta, para la producción de elote sin totomoxtle (*PE*), 14 de las 15 cruzas reportadas, quedan incluidas dentro del grupo más sobresaliente estadísticamente; para la producción de elote incluyendo las hojas del totomoxtle (*PET*), 11 cruzas son las que componen el grupo estadísticamente superior, mientras que para la producción de totomoxtle (*PTO*), no hay diferencias significativas entre los híbridos. Para la producción de tallo (*PTA*), solo cuatro cruzas forman parte del grupo sobresaliente, mientras que para producción de vaina de las hojas (*PVA*) y producción de hojas (*PHO*), son dos y seis cruzas respectivamente las que forman parte del grupo superior estadísticamente. Las cruzas 5x7 y 7x8, fueron las que obtuvieron los mayores rendimientos en *PMS*, ambas presentan valores altos para *PFV*, *PET*, *PE*, la craza 7x8 sobresale además en *PTA* y *PVA*. La craza 2x7, presentó los rendimientos más altos en *PFV*, donde la mayor contribución se obtuvo de *PMS*, *PET*, *PE*, *PTA* y *PHO* (Tabla 4).

Tabla 2. Comportamiento medio de las líneas progenitoras ($\hat{\mu}$ =valores mayores o iguales que $(\mu + 2\sigma)$, μ =media general, σ =desviación estándar, *PFV*=producción de forraje verde, *PMS*=producción de materia seca, *PET*=producción de elote total, *PE*=producción de elote, *PTO*=producción de totomoxtle, *PTA*=producción de tallo, *PVA*=producción de vaina del tallo de cada hoja, *PHO*=producción de hoja. Todo en $t\ ha^{-1}$).

Table 2. Average trend of the parent lines ($\hat{\mu}$ =greater or equal values $(\mu + 2\sigma)$, μ =general mean, σ =standard deviation, *PFV*=fresh forage production, *PMS*=dry forage, *PET*=ear and husk, *PE*=ear, *PTO*=husk, *PTA*=stalk, *PVA*=leaf sheath, *PHO*=leaf. All in $t\ ha^{-1}$).

LÍNEAS	PFV	PMS	PET	PE	PTO	PTA	PVA	PHO
P1	85.32	18.76	28.73	20.18 [^]	8.59	29.05	10.71	16.77
P2	96.36	20.79 [^]	31.92	20.33 [^]	11.58	34.26	11.50	18.62
P3	90.14	18.36	29.24	19.21	10.07	31.26	11.23	18.36
P4	87.50	17.77	27.96	18.91	9.02	31.77	11.62	16.13
P5	91.17	19.33	31.38	20.02 [^]	11.35	32.58	11.63	17.74
P6	86.12	17.88	26.13	17.73	8.40	28.89	13.30	17.73
P7	108.12 [^]	21.35 [^]	34.96 [^]	20.53 [^]	14.42	41.36 [^]	14.00 [^]	22.13
P8	103.74 [^]	22.12 [^]	33.25 [^]	19.83 [^]	13.41	38.96 [^]	14.78 [^]	23.17 [^]
P9	102.53 [^]	20.91 [^]	34.49 [^]	20.11 [^]	14.35	38.92 [^]	12.03	21.52
P10	100.33	21.11 [^]	32.31 [^]	19.36	12.95	33.07	13.58	21.35

Tabla 3. Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) de 10 líneas de maíz (*=($p \leq 0.05$), **=($p \leq 0.01$), *PFV*=producción de forraje verde, *PMS*=producción de materia seca, *PET*=producción de elote total, *PE*=producción de elote, *PTO*=producción de totomoxtle, *PTA*=producción de tallo, *PVA*=producción de vaina del tallo de cada hoja, *PHO*=producción de hoja).

Table 3. General combining ability (ACG) effects of 10 maize inbred lines (*=($p \leq 0.05$), **=($p \leq 0.01$), *PFV*=fresh forage production, *PMS*=dry forage, *PET*=ear and husk, *PE*=ear, *PTO*=husk, *PTA*=stalk, *PVA*=leaf sheath, *PHO*=leaf).

LÍNEAS	PFV	PMS	PET	PE	PTO	PTA	PVA	PHO
P1	-11.00	-1.21	-2.59	-3.17	0.62	-5.58	-1.94	-2.90
P2	1.38	1.07	0.99	0.19	0.80	0.27	-1.06	-0.82
P3	-5.61	-1.66	-2.02	-1.51	-0.46	-3.09	-1.36	-1.12
P4	-8.59	-1.66	-3.46	-2.69	-0.80	-2.52	-0.91	-3.62
P5	-4.45	-0.56	0.38	-0.07	0.45	-1.60	-0.90	-1.81
P6	-10.10	-2.19	-5.51	-3.39	-2.12	-5.76	0.97	-1.82
P7	14.61*	1.69	4.40*	3.38**	1.02	8.26**	1.75*	3.13
P8	9.68*	2.56*	2.48	2.24*	0.23	5.56**	2.63*	4.29*
P9	8.32*	1.20	3.88	3.29**	0.55	5.52**	-0.46	2.44
P10	5.84	1.43	1.43	1.72	-0.29	-1.05	1.28	2.24

Para los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE), solamente las variables *PFV*, *PVA* y *PHO*, presentaron diferencias significativas. Dentro de las mejores 15 cruzas presentadas, las cruzas 5x7, 2x7, 6x10 y 4x8 para *PFV*, formaron al grupo estadísticamente superior al ($p \leq 0.01$), para las cruzas 5x7 y 6x10, la variable *PVA* y para la cruz 2x7 la variable *PHO*, son las de mayor contribución; mientras que las cruzas 5x8, 9x10, 2x5, 1x10 y 6x9, se incluyen en el grupo superior al ($p \leq 0.05$), para la misma variable, para la cruz 5x8, tanto *PVA* como *PHO*, expresan la mayor contribución a *PFV*. Para la característica *PVA*, un grupo formado por las cru-

zas 5x7, 7x8, 6x10, 6x9 y 2x10 son estadísticamente superiores al ($p \leq 0.01$), estas cruzas además de las cruzas 5x8 y 1x10, forman el grupo sobresaliente al ($p \leq 0.05$). Para la característica producción de hojas (*PHO*), las cruzas 2x7, 5x8 y 8x9, son las más sobresalientes estadísticamente al ($p \leq 0.01$), además la cruz 7x9, se incluye en el grupo sobresaliente al ($p \leq 0.05$). El resto de las variables no mostraron diferencia significativa entre las cruzas en los valores tanto positivos como negativos (Tabla 5).

Los coeficientes de correlación, en general mostraron que las características evaluadas mantuvieron una relación alta y positiva con *PFV* y *PMS*

Tabla 4. Medias de características de las 15 mejores cruzas ($\hat{}$ =valores mayores que $(\mu + 2\sigma)$, μ =media general, σ =desviación estándar, *PFV*=producción de forraje verde, *PMS*=producción de materia seca, *PET*=producción de elote total, *PE*=producción de elote, *PTO*=producción de totomoxtle, *PTA*=producción de tallo, *PVA*=producción de vaina, *PHO*=producción de hoja. Todo en $t\ ha^{-1}$).

Table 4. Means of variables of the 15 best crosses ($\hat{}$ =values greater than $(\mu + 2\sigma)$, μ =general mean, σ =standard deviation, *PFV*=fresh forage production, *PMS*=dry forage, *PET*=ear and husk, *PE*=ear, *PTO*=husk, *PTA*=stalk, *PVA*=leaf sheath, *PHO*=leaf. All in $t\ ha^{-1}$)

CRUZA	PFV	PMS	PET	PE	PTO	PTA	PVA	PHO
5 x 7	125.65 $\hat{}$	25.85 $\hat{}$	43.05 $\hat{}$	25.20 $\hat{}$	17.85	43.40	17.25	21.95
7 x 8	117.85 $\hat{}$	25.70 $\hat{}$	38.05 $\hat{}$	20.60 $\hat{}$	17.45	47.75 $\hat{}$	21.70 $\hat{}$	17.35
2 x 8	107.10	24.65 $\hat{}$	32.90 $\hat{}$	18.90 $\hat{}$	14.00	39.90	12.65	21.65
2 x 7	127.05 $\hat{}$	24.25 $\hat{}$	37.80 $\hat{}$	23.45 $\hat{}$	14.35	49.00 $\hat{}$	13.00	27.25 $\hat{}$
6 x 10	105.35	23.90 $\hat{}$	28.70	19.60 $\hat{}$	9.10	35.70	19.15 $\hat{}$	21.80
5 x 8	106.75	23.85 $\hat{}$	32.80 $\hat{}$	24.85 $\hat{}$	12.90	47.55 $\hat{}$	11.15	25.10 $\hat{}$
8 x 9	107.45 $\hat{}$	22.80 $\hat{}$	34.20 $\hat{}$	21.35 $\hat{}$	17.85	44.10 $\hat{}$	11.65	22.50 $\hat{}$
7 x 9	118.20 $\hat{}$	22.70 $\hat{}$	40.95 $\hat{}$	21.35 $\hat{}$	19.60	44.60 $\hat{}$	14.40	28.65 $\hat{}$
9 x 10	115.85 $\hat{}$	22.45 $\hat{}$	39.55 $\hat{}$	21.35 $\hat{}$	18.20	39.20	11.90	25.20 $\hat{}$
8 x 10	107.10	22.30 $\hat{}$	30.45	16.80	13.65	35.70	15.05	25.90 $\hat{}$
2 x 5	98.35	22.30 $\hat{}$	36.05 $\hat{}$	25.20 $\hat{}$	10.85	33.60	10.25	18.45
1 x 10	97.30	22.10 $\hat{}$	31.85 $\hat{}$	22.05 $\hat{}$	9.80	30.80	13.35	21.30
6 x 9	101.50	21.35 $\hat{}$	29.05	18.90 $\hat{}$	10.15	35.00	15.60	21.85
2 x 10	98.70	21.10 $\hat{}$	31.85 $\hat{}$	19.25 $\hat{}$	12.60	31.85	15.25	19.75
4 x 8	109.20 $\hat{}$	20.80 $\hat{}$	33.95 $\hat{}$	21.70 $\hat{}$	12.25	40.60	13.85	20.80

Tabla 5. Efectos de Aptitud Combinatoria Especifica (ACE) de cruzas (*= $p \leq 0.05$), **= $p \leq 0.01$), *PFV*=producción de forraje verde, *PMS*=producción de materia seca, *PET*=producción de elote total, *PE*=producción de elote, *PTO*=producción de totomoxtle, *PTA*=producción de tallo, *PVA*=producción de vaina, *PHO*=producción de hoja).

Table 5. Specific combining ability (ACE) effects of crosses (*= $p \leq 0.05$), **= $p \leq 0.01$), *PFV*=fresh forage production, *PMS*=dry forage, *PET*=ear and husk, *PE*=ear, *PTO*=husk, *PTA*=stalk, *PVA*=leaf sheath, *PHO*=leaf).

CRUZA	PFV	PMS	PET	PE	PTO	PTA	PVA	PHO
5 x 7	20.35**	4.87	7.21	3.11	4.10	2.72	3.95**	1.27
7 x 8	-1.58	1.59	5.11	2.89	2.21	2.90	4.86**	-5.77**
2 x 8	0.89	1.17	-1.62	0.14	-1.76	0.03	-1.36	-1.17
2 x 7	15.91**	1.64	1.35	-0.64	2.00	6.44	-0.13	5.58**
6 x 10	14.50**	4.82	1.74	-0.64	2.39	8.50	4.44**	2.02
5 x 8	6.38*	2.00	3.88	1.80	2.08	4.72	1.97*	7.86**
8 x 9	-5.69	-0.80	1.78	0.88	0.93	-1.01	-2.96**	6.00**
7 x 9	0.12	-0.04	1.61	1.49	0.15	6.79	0.66	3.72*
8 x 10	-3.56	-1.54	-4.51	-1.74	-2.76	-2.83	-1.31	0.00
9 x 10	6.54*	-9.02	3.18	1.75	1.46	0.71	-1.37	1.15
2 x 5	6.28*	1.95	3.62	-0.69	4.31	0.91	-0.22	1.73
1 x 10	7.35*	2.03	1.96	-0.16	2.08	3.42	1.56*	2.60
6 x 9	8.17*	2.50	-0.35	-1.17	0.85	1.22	2.64**	1.87
2 x 10	-3.66	-1.24	-1.62	-0.73	-0.88	-1.38	2.57**	-1.02
4 x 8	12.97**	0.72	3.88	1.27	2.64	3.53	-0.30	0.77

al ($p \leq 0.01$), *PFV* muestra las correlaciones más altas con las variables *PTA* (0.901), *PMS* (0.888), *PET* (0.829), y *PTO* (0.804), *PMS* también obtiene los mayores valores de correlación con *PET* (0.788), *PTA* (0.781) y *PTO* (0.719). La variable

PET, presenta los valores más altos de correlación con las características *PTO* (0.915), *PE* (0.794) y *PTA* (0.781). La correlación de las variables *PTO* y *PTA* muestra un valor relativamente alto (0.790) las altas correlaciones indican el grado de asociación en-

Tabla 6. Correlaciones fenotípicas de ocho variables agronómicas evaluadas (*=($p \leq 0.05$), **=($p \leq 0.01$), ns=(no significativo). *PFV*=producción de forraje verde, *PMS*=producción de materia seca, *PET*=producción de elote total, *PE*=producción de elote, *PTO*=producción de totomoxtle, *PTA*=producción de tallo, *PVA*=producción de vaina, *PHO*=producción de hoja).

Table 6. Phenotypic correlations of eight evaluated agronomic variables (*=($p \leq 0.05$), **=($p \leq 0.01$), ns=(non significant), *PFV*=fresh forage production, *PMS*=dry forage, *PET*=ear and husk, *PE*=ear, *PTO*=husk, *PTA*=stalk, *PVA*=leaf sheath, *PHO*=leaf).

	<i>PFV</i>	<i>PMS</i>	<i>PET</i>	<i>PE</i>	<i>PTO</i>	<i>PTA</i>	<i>PVA</i>	<i>PHO</i>
<i>PFV</i>	1	0.8885**	0.8296**	0.5912**	0.8044**	0.9013**	0.5657**	0.7105**
<i>PMS</i>		1	0.7888**	0.6307**	0.7191**	0.7815**	0.6221**	0.6146**
<i>PET</i>			1	0.7947**	0.9150**	0.7810**	0.3520**	0.4737**
<i>PE</i>				1	0.4823**	0.5067**	0.2293ns	0.2464ns
<i>PTO</i>					1	0.7904**	0.3557*	0.5199**
<i>PTA</i>						1	0.5157**	0.630**
<i>PVA</i>							1	0.3043*
<i>PHO</i>								1

tre variables, al seleccionar para mejorar cualquiera de las variables también se expresaría en función de *PFV* y *PMS*. Solamente *PE*, no correlaciona con las variables *PVA* y *PHO*. Las correlaciones de *PVA* con *PTO*, y *PHO*, muestran una baja correlación, esto indica una baja interdependencia entre estas variables, por lo que posiblemente se tendría avances si se seleccionara a la vez en función de dos variables independientes como *PE* y *PHO*, variables que probablemente aportarían a la calidad del forraje (Tabla 6).

Los valores de varianza aditiva, resultaron más elevados para la mayoría de las variables estudiadas que los valores de las varianzas de dominancia, solo las variables *PTO* y *PVA*, resultaron con valores muy similares entre ambas variables, por ende, la varianza aditiva influyó en mayor proporción a la expresión de la varianza genética. En la manifestación de las varianzas fenotípicas, solamente en las variables *PFV* y *PTA*, se encontró mayor aportación de la varianza genética que la varianza del error, para las variables *PMS*, *PE* y *PVA*, la aportación de ambas varianzas es muy similar, mientras que para el resto de las variables (*PET*, *PTO* y *PHO*), la varianza del error es mayor que la varianza genética. El porcentaje de heredabilidad más elevado, tanto en sentido estricto (h^2), como en sentido amplio (H^2), resultó similar en las variables *PFV*, *PTA* y *PE*, en las tres variables la varianza aditiva es la que más contribuyó a la expresión de la varianza genética, esta a la vez en la expresión de la varianza fenotípica (Tabla 7).

La mayoría de los componentes genéticos, mostraron una alta y significativa correlación entre la varianza aditiva (σ_A^2), la varianza de dominancia (σ_D^2), la varianza genética (σ_G^2), la varianza del error (σ_E^2) y la varianza fenotípica (σ_P^2), las correlaciones entre estas varianzas, están con valores muy cercanos a la unidad. La varianza fenotípica, tiene una correlación altamente significativa con las varianzas aditivas, de dominancia y del error, este efecto quizá se explique por la fuerte dependencia que tienen las tres, de la misma manera la varianza aditiva tiene una correlación altamente significativa con la varianza de dominancia y ambas con la varianza genotípica. Las heredabilidades (H^2) y (h^2) no correlacionan con las varianzas, mientras que entre ellas guardan una estrecha relación. El grado de dominancia no correlaciona con las varianzas ni con heredabilidad (H^2) y (h^2) (Tabla 8).

El comportamiento diferencial de las variables *PFV*, *PMS*, *PE*, *PTA*, *PVA*, *PHO* y *PET* a través de las cruces de prueba desarrolladas, es 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 (De La Rosa *et al.* 2000; Soengas *et al.* 2003; De La Cruz *et al.* 2005). De igual manera Moreno *et al.* (2002) identificaron híbridos de maíz de alto rendimiento como resultado de la alta variabilidad genética entre las poblaciones de donde se derivaron las líneas y a la diversidad genética entre las líneas probadoras.

La presencia de coeficientes de variación acep-

Tabla 7. Componentes de varianza de ocho variables agronómicas (σ_A^2 =varianza aditiva, σ_D^2 =varianza de dominancia, σ_G^2 =varianza genética, σ_E^2 =varianza del error, σ_P^2 =varianza fenotípica, h^2 =heredabilidad en sentido estricto, H^2 =heredabilidad en sentido amplio, *PFV*=producción de forraje verde, *PMS*=producción de materia seca, *PET*=producción de elote total, *PE*=producción de elote, *PTO*=producción de totomoxtle, *PTA*=producción de tallo, *PVA*=producción de vaina, *PHO*=producción de hoja).

Table 7. Variance components of eight agronomic variables (σ_A^2 =additive variance, σ_D^2 =dominance variance, σ_G^2 =genetic variance, σ_E^2 =error variance, σ_P^2 =phenotypic variance, h^2 =narrow sense inheritability, H^2 =wide inheritability *PFV*=fresh forage production, *PMS*=dry forage, *PET*=ear and husk, *PE*=ear, *PTO*=husk, *PTA*=stalk, *PVA*=leaf sheath, *PHO*=leaf).

VARIABLES	σ_A^2	σ_D^2	σ_G^2	σ_E^2	σ_P^2	h^2	H^2
<i>PFV</i>	149.08	33.57	182.65	96.15	278.8	53.47	65.51
<i>PMS</i>	5.36	0.18	5.54	8.15	13.69	39.15	40.46
<i>PET</i>	17.04	0.68	17.73	37.74	55.47	30.71	31.96
<i>PE</i>	12.36	0.42	12.79	11.98	24.77	49.89	51.63
<i>PTO</i>	0.13	0.70	0.83	9.72	10.55	1.23	7.86
<i>PTA</i>	43.41	2.77	46.19	27.51	73.7	58.90	62.67
<i>PVA</i>	3.25	3.11	6.36	5.50	11.86	27.40	53.62
<i>PHO</i>	11.34	4.91	16.25	22.58	38.83	29.20	41.84

tables (CV=10.3 y 14.3%) en las variables *PFV* y *PMS*, indicaron una precisión mayor en su muestreo; no así en las variables *PE*, *PET*, *PHO* y *PVA*, las cuales presentaron una mayor complejidad de su manejo (Kang et al. 1999; Peña et al. 2003).

Las medias generales para cada variable indicaron que al obtenerse un rendimiento de 95 t de forraje verde, el peso del tallo con espiga, el peso de la mazorca con totomoxtle y el peso de las hojas y vainas del tallo, contribuyeron con una tercera parte cada una del peso verde total aproximadamente; mientras que Amador & Boschini (2000) obtuvieron 92 t de forraje verde con el 63 % de tallos y espigas, 15 % de mazorca y 16 % de hojas. Por otra parte Gutiérrez et al. (2004) con híbridos de maíz adaptados a esta región, obtuvieron rendimientos similares a los encontrados en este estudio en cuanto a la producción de materia seca.

La contribución a la varianza de las cruza para la mayoría de los tratamientos es atribuible a los efectos aditivos (ACG). La presencia de diferencias en la expresión de la ACG para los caracteres determinantes para la expresión del rendimiento como son *PFV* y *PMS*, al expresarse aproximadamente seis y ocho veces superior a los valores de ACE, no coincidió con lo reportado por De La Cruz et al. (2005) quienes encontraron diferencias significativas para ACE y no significativas para ACG; sin embargo, De La Rosa et al. (2000) reportaron diferencias

significativas para ambas fuentes de variación ACG y ACE. La presencia de variabilidad genética encontrada en función de la ACG y ACE en la mayoría de las variables (*PET*, *PE*, *PTA*, *PVA* y *PHO*) señala la necesidad de continuar con el mejoramiento de estos componentes principales del rendimiento para una mayor expresión de *PFV* y *PMS*; esta variación genética indica la posibilidad de producir variedades sintéticas, iniciar proyectos de selección recurrente con estos sintéticos, derivar nuevas líneas, mejorar las líneas ya existentes y seleccionar híbridos cada vez más rendidores. Además deberá también analizarse la calidad del forraje para elote, tallos, hojas y vainas del tallo de cada hoja para maximizar y complementar los avances en la investigación en maíces forrajeros donde se considere el incremento del rendimiento y calidad de la planta y el grano (Moreno-González et al. 2000) y la digestibilidad de las fibras de la parte vegetativa (Lauer et al. 2001; Clark et al. 2002). Argillier et al. (2000) encuentran que la ACG de las líneas, es la fuente de variación más importante para características de digestibilidad del forraje del maíz, lo que refuerza la idea de seleccionar para rendimiento y calidad del forraje.

Las líneas progenitoras P8, P7, P10, P9 y P2 resultaron con los valores promedio más altos para la variable *PMS*. La variable *PFV* manifestó su mayor expresión a través de los progenitores P7, P8 y P9. Por otra parte, las variables *PTA*, *PET*, *PHO*

Tabla 8. Correlación de los componentes genéticos. σ_A^2 =Varianza aditiva, σ_D^2 =Varianza de dominancia, σ_G^2 =Varianza genética, σ_E^2 =Varianza del error, σ_P^2 =Varianza fenotípica, h^2 =Heredabilidad en sentido estricto H^2 =Heredabilidad en sentido amplio, *=($p \leq 0.05$), **=($p \leq 0.01$), ns=(no significativo).

Table 8. Genetic components correlation. σ_A^2 =additive variance, σ_D^2 =dominance variance, σ_G^2 =genetic variance, σ_E^2 =error variance, σ_P^2 =phenotypic variance, h^2 =narrow sense heritability, H^2 =wide heritability, *=($p \leq 0.05$), **=($p \leq 0.01$), ns=(no significant).

	σ_A^2	σ_D^2	σ_G^2	σ_E^2	σ_P^2	h^2	H^2	d
σ_A^2	1	0.961**	0.998**	0.958**	0.994**	0.547ns	0.581ns	-0.129ns
σ_D^2		1	0.974**	0.926**	0.967**	0.379ns	0.501ns	-0.027ns
σ_G^2			1	0.958**	0.995**	0.519ns	0.570ns	-0.111ns
σ_E^2				1	0.981**	0.442ns	0.447ns	-0.221ns
σ_P^2					1	0.498ns	0.534ns	-0.149ns
h^2						1	0.892**	0.102ns
H^2							1	0.312ns
d								1

y PVA, en este orden, son las que más contribuyeron a la expresión del rendimiento del forraje verde PFV y por consiguiente a la producción de materia seca (Amador & Boschini 2000). La variabilidad mostrada por los valores de PHO y PVA, ayudarían a seleccionar híbridos con mayor cantidad de hojas, característica que esta llamando la atención en la formación de idiotipos de maíz forrajero (Lauer et al. 2001).

Las líneas con los valores más altos de ACG fueron los obtenidos por los progenitores P7, P8 y P9 para todas las variables estudiadas. Las cruzas con mejores rendimientos tanto en PFV, como de PMS fueron: 5x7, 7x8, 2x7, 7x9, 9x10, 4x8 y 8x9. Las variables que más contribuyeron a la expresión de PFV y PMS fueron: PET, PE, PTA, PHO y PVA.

Las líneas que más participaron en las cruzas sobresalientes fueron: P7 en cuatro eventos, P8 y P9 en tres eventos; el resto de los progenitores apareció una solo vez, estas líneas que se manifestaron con mayor frecuencia en los híbridos sobresalientes fueron las que obtuvieron los más altos valores de ACG. No obstante, se encontró que los híbridos más rendidores para PMS y PFV (5x7 y 2x7) provinieron de líneas con valores alto y bajo de ACG, lo cual es un indicativo de que al menos uno de los progenitores de las cruzas más sobresalientes presente altos efectos de ACG (Gutiérrez et al. 2002; 2004).

Las cruzas de mayor ACE para PFV fueron 5x7, 2x7, 6x10, 4x8, 5x8, 8x10, 2x5, 1x10 y 6x9; las dos primeras 5x7 y 2x7 coincidieron con las más rendidoras para PFV y PMS. En general se encontraron

líneas con altos y bajos valores de ACG, incluso con valores negativos, integrando las cruzas con mayor expresión de ACE y rendimiento. Por lo tanto, es factible identificar las mejores combinaciones de líneas en híbridos para alta productividad (para ACG) probar y seleccionar combinaciones híbridas únicas donde se expresen altos valores de ACE, aun cuando la alta ACG haya sido la más importante para la identificación de las líneas (Hallauer & Miranda 1988).

El coeficiente de correlación permitió identificar que la variable PFV, estuvo correlacionada con PTA, PMS, PET, PTO y PHO, mientras que la variable PMS, estuvo asociada con PFV, PET, PTA y PTO, probablemente debido a los efectos múltiples de los genes que manifiestan estos caracteres, aunque el ligamiento genético es otra causa importante para estas correlaciones. El mayor grado de asociación fue encontrado entre PET y PTO. La correlación indica que si mejoramos para elevar la producción de una variable, las variables asociadas con ella van a ser modificadas en el mismo sentido (selección indirecta). En el caso de los materiales que intervinieron en este estudio, la variación que existe dentro de estas características permitiría realizar mejoramiento genético para estos caracteres, la abundancia de hojas es una característica que esta llamando la atención a los mejoradores de maíz forrajero, aun más si al realizarse análisis de fibras estas aportaran a la mayor calidad del forraje (Bal et al. 2000).

La mayor heredabilidad en sentido estrecho

(h^2) y en sentido amplio (H^2) la observamos en *PFV*, *PTA*, *PE* y *PMS*. Chávez (1995) expresa que la heredabilidad se refiere a la capacidad que tienen los caracteres para transmitirse de generación en generación, es decir, que ésta se pueda considerar como el grado de parecido entre los individuos de una generación y la siguiente, por lo que se considera estas serían los caracteres que se trataría de recombinar y seleccionar. En la expresión de la varianza fenotípica (σ_P^2) para *PET*, *PTO* y *PHO*, la varianza del error (σ_E^2) fue la que más contribuyó para la expresión de estas características por lo complicado del muestreo.

En relación a los componentes genéticos de las variables estudiadas, la mayor contribución fue encontrada en la varianza aditiva (σ_A^2) por lo que

se sugiere formar variedades sintéticas heteróticas, seleccionando líneas que se complementen en sus caracteres y que formen poblaciones contrastantes para recombinar y extraer nuevas líneas para formar híbridos superiores, en esquemas de selección recíproca recurrente (Hallauer & Miranda, 1988). Además, incrementar las líneas sobresalientes, analizar y seleccionar para calidad forrajera para producir híbridos comerciales. De las cruzas 5x7 (AN123 x B32), 2x7 (AN447 x B32), 7x8 (B32 x B39) y 9x10 (B40 x CML319) se deberá incrementar sus líneas para producir las cruzas y evaluarlas en parcelas demostrativas apareadas con híbridos comerciales para que los agricultores las vayan identificando y comparando con los híbridos que normalmente siembran.

LITERATURA CITADA

- Amador RAL, Boschini FC (2000) Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 171-177.
- Anónimo (1988) Guía de Introducción para computadoras personales. Instituto SAS Inc. Publicación de la Edición 6.03. Cary NC.
- Anónimo (2005) Sistema Integral de Información Agroalimentaria y pesquera. Fichas por Estado. SAGARPA. Avances reportados de siembras y cosechas, superficie sembrada y cosechada, rendimientos y producción. http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comfichedos.html. 14 de noviembre de 2005.
- Argillier O, Méchin V, Barrière Y (2000) Inbred line evaluation and breeding for digestibility-related traits in forage maize. *Crop Sci.* 40: 1596-1600.
- Bal MA, Shaver RD, Al-Jobeile H, Coors JG, and Lauer JG (2000) Corn silage hybrids effect on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci* 83: 2849-2858.
- Chávez A.JL (1995) Mejoramiento de Plantas 1. Segunda Edición. Ed. Trillas. México. 136 pp.
- 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. Dairy Sci.* 85: 607-612.
- De La Cruz LE, Rodríguez HS, Estrada BMA, Mendoza PJD (2005) Análisis dialélico de líneas de maíz QPM para características forrajeras. *Universidad y Ciencia* 21 (41): 19-26
- De La Rosa A, de León H, Martínez G, Rincón F (2000) Heterosis, habilidad combinatoria y diversidad genética en híbridos comerciales de maíz (*Zea mays* L.). *Agronomía Mesoamericana* 11 (1): 113-122
- Faz CR, J García N, G Núñez H (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.
- Griffing B (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Gutiérrez del RE, Espinoza BA, Palomo GA, Lozano GJJ, Antuna GO (2004) Aptitud combinatoria de híbridos comerciales de maíz para La Comarca Lagunera. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:7-11.
- 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
- Hallauer AR, Miranda JB (1988) Quantitative Genetics in maize breeding. Second Ed. Iowa Estate University Press. Ames. USA. 468 pp.

- Kang SM, Kushairi DA, Zhang Y, Magari R (1999) Combining ability for rind puncture resistance in maize. *Crop Sci.* 39: 368-371.
- Lauer JG, Coors JG, Flannery PJ (2001) Forage yield and quality of corn cultivars developed in different Eras. *Crop Sci.* 41: 1449-1455.
- Moreno-González J, Martínez I, Brichette I, Lopez A, Castro P (2000) Breeding potential of European flint and U. S. Corn Belt dent maize populations for forage use. *Crop Sci.* 40: 1588-1595.
- Moreno PE del C, Lewis BD, Cervantes ST, Torres FJL (2002) Aptitud combinatoria de líneas de maíz de Valles Altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno. *Rev. Fitotec. Mex.* 25 (3): 253-259.
- 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. 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. Mex.* 27 (Número Especial): 1-6.
- Reta SDG, Carrillo JS, A Gaytán ME, Castro M, JA Cueto W (2002). Guía para cultivar maíz forrajero en surcos estrechos. INIFAP, CIRNOC, CAELALA. Matamoros, Coahuila, México.
- Singh RK, Chaudary BD (1985) *Biometrical Methods in Quantitative Genetics Analysis*. Kalyan Publishers. New Delhi, India. 319 pp.
- Soengas P, Ordás B, Malvar RA, Revilla P, Ordás A (2003) Heterotic Patterns among Flint Maize Populations. *Crop Sci.* 43: 844-849.

