APTITUD COMBINATORIA DE HÍBRIDOS DE MAÍZ PARA LA COMARCA LAGUNERA

COMBINING ABILITY OF MAIZE HYBRIDS FOR THE COMARCA LAGUNERA

Emiliano Gutiérrez del Río*, Armando Espinoza Banda, Arturo Palomo Gil, José Jaime Lozano García y Oralia Antuna Grijalva

Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico y Carr. a Santa Fe, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27000. Correo electrónico: guredelrio@hotmail.com
** Autor para correspondencia*

RESUMEN

Los efectos de aptitud combinatoria han sido utilizados ampliamente en el mejoramiento genético para estimar los tiempos de acción génica que controlan a los diferentes caracteres. En este estudio se estimó la aptitud combinatoria de cruzas de maíz (*Zea nayz* L.) y se exploró el tipo de acción génica asociada con la expresión fenotípica. El material genético consistió de 100 cruzas derivadas de 20 híbridos comerciales, de los cuales 10 (identificadas de 1 a 10) actuaron como machos y los otros 10 (identificados de 11 a 20) como hembras. Se obtuvo información de días a floración, altura de planta, altura de mazorca, rendimiento de forraje verde y materia seca. Los resultados indican que existe variabilidad genética para machos y hembras. Con buen potencial de rendimiento de forraje verde y materia seca resultaron las cruzas 5x11, 1x14, 4x20 y 8x19. Los machos 5, 9 y 10, y las hembras 11, 19 y 20, manifestaron los mejores efectos de aptitud combinatoria general en todas las características agronómicas, con excepción de altura de planta. La altura de planta y días a floración estuvieron determinados por efectos aditivos y el rendimiento de forraje verde, materia seca y altura de mazorca estuvieron bajo el control de los efectos genéticos no aditivos. Existe una alta correlación fenotípica entre altura de planta y altura de mazorca y entre rendimiento de forraje verde y materia seca.

Palabras clave*: Zea mays* L., aptitud combinatoria, efectos genéticos, materia seca

SUMMARY

Combining ability effects had been widely used in plant breeding to estimate the genetic action that control different plant characteristics. In this study it was estimated the combining ability effects of maize (*Zea mays* L.) and the type of genetic action associated to the phenotipic expression. The genetic material consisted of 100 crosses derived from crossing 20 comercial hybrids, 10 of them (identified 1 to 10) acted as males and 10 (identified 11 to 20) as females. The information obtained was flowering date (in days after planting), plant height, ear height, green forage yield and dry matter. Results showed a wide genetic variability among males and females. The crosses 5x11, 1x14, 4x20 and 8x19 showed the highest green forage yield and dry matter. Males 5, 9 and 10 and females 11, 19 and 20 showed the best general combining ability effects for all the agronomic characteristics evaluated, except for plant height. Plant height and flowering date were under the control of genetic additive effects, and ear height, green forage yield and dry matter were under the control of non additive genetic effects. There is a high phenotypic correlation between plant height and ear height and between green forage yield and dry matter.

Index words: *Zea mays* L., combining ability, genetic effects, dry matter.

INTRODUCCIÓN

En el mejoramiento moderno de plantas es importante el conocimiento relativo al componente genético de los materiales usados como progenitores en un programa de hibridación, ya que se conoce que hay progenitores que combinan bien para la formación de progenies híbridas altamente productivas. Mediante el conocimiento de la aptitud combinatoria de los progenitores, el mejorador logra una mayor eficiencia en su programa de mejoramiento, pues le permite seleccionar líneas con un buen comportamiento promedio en una serie de cruzamientos e identificar combinaciones híbridas específicas con un comportamiento superior a lo esperado, con base en el promedio de líneas que intervienen en el cruzamiento. Ante tal circunstancia, se hace necesario implementar a corto plazo programas agresivos de formación y producción de materiales mejorados de maíz (*Zea mays* L.), como la formación de partir de híbridos que cumplan con las expectativas de calidad y producción para la alimentación de la ganadería lechera, pero que impliquen una reducción significativa del costo actual.

La reducción de los costos de inversión por compra de semilla, es una estrategia sustentable que impactaría a la producción del sistema maíz (grano-forraje) y de manera definitiva incrementaría los márgenes de ganancia para el productor. La herramienta para la adquisición de dicho conocimiento son los diseños genéticos o diseños de apareamiento, que son planes de cruzas entre los individuos de una población, pues sirven para estudiar los efectos genéticos y las varianzas genéticas (variables casuales), para enseguida relacionar con los datos obtenidos de mediciones en las progenies (variables observables), y poder estimar así las varianzas fenotípias, genéticas y ambientales, útiles en las estimaciones de la heredabilidad (en sentido estrecho o amplio), para hacer predicciones de la respuesta a la selección (Márquez, 1988).

Recibido: 15 de Mayo del 2004.
Aceptado: 9 de Agosto del 2004.

En el presente trabajo se formaron y evaluaron genotipos provenientes de cruzas entre híbridos comerciales con base en características forrajeras para alimento de ganado lechero. Se estimó la aptitud combinatoria en características agronómicas de las cruzas y se exploró la contribución relativa de los efectos genéticos asociados con la expresión fenotípica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en dos etapas:en 2001 se formaron las cruzas de 20 híbridos comerciales en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna y en el ciclo agrícola del 2002 se realizó la evaluación de las cruzas resultantes en dos localidades, los ejidos de Luchanas y Cuba, municipio de Fco. I. Madero, Coah. La Comarca Lagunera se encuentra ubicada geográficamente entre 24° 30" y 27° LN y entre los 102° y 104° 40" LW; su clima se clasifica como muy seco, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones (200-300 mm) y temperaturas semicálidas con invierno benigno (18-20 °C) (Anónimo, 2001).

En la evaluación se consideraron 100 genotipos de maíz resultantes de la cruza directa de 20 híbridos comerciales, donde 10 de ellos actuaron como machos (identificados de 1 a 10) y los 10 restantes (identificados de 11 a 20) como hembras. El diseño experimental fue de bloques al azar con dos repeticiones y 100 tratamientos por localidad. La parcela experimental consistió de cuatro surcos de 4 m de largo, con distancia de 0.75 m entre surcos y 16.5 cm entre plantas; la parcela útil fue de 3 m a lo largo de los dos surcos centrales. Las variables agronómicas evaluadas fueron: días a floración (DF); altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM) en m; y rendimiento de forraje verde (RFV) y materia seca (MS), en t ha^{-1}.

Se realizó un análisis genético usando el diseño II de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948), estimando los efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para machos y hembras y Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para las respectivas cruzas de acuerdo a los principios propuestos por Sprague y Tatum (1941)

$$g_1 = \overline{Yi}. - \overline{Y}..$$
$$g_j = \overline{Y}_{.j} - \overline{Y}..$$
$$S_{ij} = Y_{ij} - g_i - g_j - \overline{Y}..$$

donde: gi, gj y Sij fueron los efectos de ACG y ACE, respectivamente para los i-machos, las j-hembras y sus cruzas; $\bar{Y}_{i.}$ y $\bar{Y}_{.j}$ son las medias de los machos y las hembras, respectivamente. Y_{ij} representa el valor observado para la cruza i_{xj}; y $\bar{Y}..$ es la media de todas las i_{xj} cruzas.

A partir de los cuadrados medios del análisis de varianza se estimó la varianza genética aditiva, la varianza genética de dominancia, la varianza fenotípica y el grado de dominancia. Se calculó la heredabilidad en sentido estricto, así como el coeficiente de determinación genética de los híbridos generados a través de las cruzas con híbridos comerciales. Los coeficientes de correlación fueron estimados mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\mathrm{cov}(xy)}{\sigma x.\sigma y}$$

donde: el numerador indica la covarianza fenotípica de las medias varietales entre los dos caracteres y el denominador las varianzas cuadradas del producto de las varianzas fenotípicas de cada carácter.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características agronómicas

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.01$) entre localidades para machos y hembras, en todas las variables evaluadas (Cuadro 1). Por ello en un programa de mejoramiento se recomienda establecer el mismo experimento en diferentes ambientes, lo que permite estimar con mayor precisión el valor de los componentes genéticos y separar el efecto genético ambiental, como lo expresa Márquez (1992). No se encontró diferencia estadística para altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM) ni en las interacciones localidad x macho (LxM) y localidad x macho x hembra (LxMxH), en tanto que localidad por hembra (LxH) fue significativo para AP pero no para AM, y lo contrario sucedió para macho x hembra (MxH).

La expresión fenotípica de las diez mejores cruzas con base en los valores promedio de los caracteres en estudio, muestran una amplia variación entre ellas (Cuadro 2). Las cruzas con el mayor rendimiento de forraje verde (RFV) presentan también altos valores de MS (5x11, 1x14 y 8x19). Para DF los genotipos más tardíos fueron 6x20 y 5x11 . Las cruzas con mayor altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM) fueron 3x12, 6x16 y 5x11.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza bajo el diseño II de Carolina del Norte.

FV	gl	RFV (t ha^{-1})	MS (t ha^{-1})	DF (días)	AP (m)	AM (m)
Localidades (L)	1	30450**	1501**	311.52**	0.88**	1.30**
Macho (M)	9	671**	28**	6.01**	0.07**	0.10**
LxM	9	393**	41**	3.27**	0.05ns	0.02ns
Repeticiones R(L)	2	979**	670**	7.85**	0.06ns	0.21**
MxR(L)	18	207**	29**	0.85**	0.03**	0.02ns
Hembras (H)	9	318**	19**	2.60**	0.06**	0.07**
LxH	9	141**	7**	0.79**	0.08**	0.01ns
MxH	81	185**	18**	0.90**	0.05ns	0.02**
LxMxH	81	113**	11**	0.76**	0.04ns	0.01ns
Error	180	120	14	0.69	0.04	0.01
Total	399					
CV		15	19	1.24	9.09	10.70

*, **, ns = Significativo, altamente significativo y no significativo, respectivamente; RFV= Rendimiento de forraje verde; MS= Materia seca; DF= Días a floración; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca.

Aptitud combinatoria

Para la característica RFV y MS los efectos mayores de Aptitud Combinatoria General (ACG) correspondieron a los machos 5, 10, 9 y 3 y los menores a 4, 7 y 8 (Cuadro 3); en días a floración los machos 9, 10 y 5 mostraron los valores más altos de ACG y los más bajos 1,4 y 8. Para AP y AM los mayores efectos de ACG fueron para los machos 3, 6 y 9 y los más bajos fueron para los machos 2 y 7.

Para las hembras los mejores efectos de ACG en RFV y MS (Cuadro 3) correspondieron a los progenitores 11, 19 y 20, en contraste con el resto que mostraron efectos negativos. En días a floración las hembras 20, 11 y 19 reflejaron buenos efectos de ACG, mientras que la 16, 11 y 17 presentan los valores más bajos.

Las cruzas 5x18, 5x14 y 1x14 obtuvieron los valores más altos de ACE tanto para RFV como para MS (Cuadro 4); en estas cruzas al menos uno de los progenitores presentaron también altos efectos de ACG, como es el caso de 1 y 5. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Gutiérrez *et al.*(2002) quienes señalan la posibilidad de que materiales con buena ACG pudieran producir cruzas superiores. Para días a floración (DF), los mayores efectos de ACE correspondieron a las cruzas 5x11 y 10x14.

En AP y AM las cruzas 3x12, 5x11 y 6x16 fueron las de mayores efectos de ACE, lo cual se refleja al presentar una mayor altura (Cuadro 2); sin embargo, es recomendable contar con materiales de porte bajo que toleren altas densidades y resistencias al acame, sin descuidar la relación positiva de altura de planta con el potencial de rendimiento de grano (Antuna *et al.*, 2003).

La varianza aditiva predominó en altura de planta (AP) y días a floración (DF) y la varianza de dominancia en AM, RFV y MS (Cuadro 5). Para RFV y MS los valores de dominancia obtenidos fueron de 4.17 y 3.57, los cuales indican sobredominancia, que será manifestada con seguridad en los híbridos que se formen, coincidiendo estos resultados con Peña y del Campo (1993) al evaluar 41 híbridos de maíz en cuanto a rendimiento de grano.

Cuadro 2. Valores promedio de las 10 mejores cruzas para las características agronómicas evaluadas.

Cruza	RFV (t ha^{-1})	Cruza	MS (t ha^{-1})	Cruza	DF (días)	Cruza	AP (m)	Cruza	AM (m)
5x11	89.50	4x20	25.34	6x20	69.00	3x12	2.60	3x12	1.50
5x18	87.50	8x19	24.12	5x11	68.50	6x16	2.57	5x11	1.22
8x19	86.00	1x14	22.99	9x19	68.50	8x19	2.57	5x19	1.18
1x14	84.50	5x11	22.98	9x20	68.50	5x11	2.53	6x16	1.17
6x20	84.50	9x19	22.83	10x14	68.50	6x20	2.50	3x19	1.16
1x18	84.00	2x12	22.82	3x12	68.50	3x11	2.48	3x20	1.15
9x13	82.00	2x19	22.82	3x19	68.25	3x20	2.48	5x18	1.15
1x20	80.00	5x18	22.74	3x20	68.25	9x14	2.47	8x19	1.15
2x12	79.75	3x11	22.67	6x18	68.25	10x14	2.46	1x18	1.12
3x19	79.00	5x14	22.41	9x14	68.25	4x20	2.45	4x19	1.12
Media	69.15		19.29		67.22		2.30		1.00
†DMS	6.75		2.54		0.43		0.09		0.06

†DMS= Diferencia mínima significativa (0.05); RFV= Rendimiento de forraje verde; MS= Materia seca; DF= Días a floración; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca.

Cuadro 3. Efectos de aptitud combinatoria general (ACG) para los progenitores en cinco características agronómicas.

Progenitor	RFV (t ha^{-1})	MS (t ha^{-1})	DF (días)	AP (m)	AM (m)
1	1.655	-0.281	-0.497	-0.030	-0.047
2	-0.375	-0.024	-0.097	-0.038	-0.96
3	2.975	-0.704	0.128	0.021	0.053
4	-9.650	-1.561	-0.372	-0.004	-0.01
5	4.600	1.431	0.228	-0.040	0.05
6	-0.350	-0.159	0.203	0.054	0.048
7	-3.050	-0.239	-0.247	-0.058	-0.055
8	-1.100	0.229	-0.422	-0.001	0.023
9	2.250	0.239	0.653	0.081	0.024
10	3.075	1.078	0.428	0.019	0.009
11	4.000	0.876	0.053	-0.010	-0.004
12	-0.300	-0.064	-0.122	0.014	0.053
13	-0.400	-0.284	-0.347	-0.033	-0.032
14	-0.400	0.294	0.030	0.056	-0.007
15	-2.950	-0.092	-0.147	-0.030	-0.021
16	-4.275	-0.657	-0.397	-0.057	-0.076
17	-2.200	-1.235	-0.047	0.011	-0.031
18	-0.150	-0.372	0.220	0.03	0.011
19	2.600	0.609	0.178	-0.035	0.051
20	4.075	0.931	0.030	0.059	0.054

RFV= Rendimiento de forraje verde; MS= Materia seca; DF= Días a floración; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca.

Cuadro 4. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para las 10 mejores cruzas con respecto a las variables agronómicas evaluadas.

Cruza	RFV (t ha^{-1})	Cruza	MS (t ha^{-1})	Cruza	DF (días)	Cruza	AP (m)	Cruza	AM (m)
5x18	19.60	1x14	4.96	5x11	1.72	3x12	0.31	3x12	0.53
5x14	16.15	5x14	4.38	10x14	1.34	6x16	0.27	5x11	0.26
6x14	16.15	4x20	4.03	9x17	1.32	5x11	0.27	6x16	0.19
1x18	16.10	6x13	3.98	3x12	1.24	8x19	0.22	8x12	0.14
3x12	16.02	8x19	3.98	6x18	1.22	3x11	0.22	3x11	0.14
1x14	15.15	6x14	3.75	9x18	1.22	10x17	0.16	3x17	0.12
5x11	14.72	2x12	3.61	9x14	1.09	3x17	0.15	10x17	0.12
10x14	13.90	5x18	3.59	6x20	1.04	8x17	0.12	6x14	0.11
9x17	13.35	8x17	3.14	10x12	0.99	9x17	0.12	2x17	0.10
10x17	13.35	9x13	3.13	5x18	0.97	10x13	0.11	5x18	0.10

RFV= Rendimiento de forraje verde; MS= Materia seca; DF= Días a floración; AP= Altura de planta; AM= Altura de mazorca.

Los valores más altos de heredabilidad (h^2) fueron para DF, AP y AM (Cuadro 5), en tanto que los valores más bajos correspondieron a RFV y MS, resultando éstos de la proporción relativa de los valores estimados de los componentes genéticos de varianza aditiva y varianza de dominancia, logrando identificar el tipo de acción génica de los caracteres estudiados según Hallauer y Miranda (1988).

Cuadro 5. Estimación de componentes genéticos de cinco características agronómicas.

Variable	σ^2_A	σ^2_D	σ^2_D%	σ^2_f	*d*	h^2
RFV	30.957	64.670	29.907	216.230	4.177	14.310
MS	0.562	3.591	19.202	18.701	3.573	3.000
DF	0.340	0.209	16.787	1.245	1.107	27.340
AP	0.017	0.009	12.258	0.070	1.022	24.280
AM	0.006	0.014	45.161	0.031	2.125	19.870

σ^2_A= Varianza aditiva; σ^2_D= Varianza de dominancia; σ^2_D%= porciento de dominancia; σ^2_f= Varianza fenotípica; *d*= grado de dominancia; y h^2= heredabilidad en sentido estrecho.

En las correlaciones fenotípicas estimadas sólo se presentó significancia para AP con AM, y RFV con MS, indicando una fuerte asociación lineal entre dichos caracteres. En cambio, para el resto de los caracteres los coeficientes de correlación indican que existe poca relación entre ellos y que actúan en forma independiente en la manifestación fenotípica de los híbridos evaluados.

Cuadro 6. Correlaciones fenotípicas para cinco características agronómicas.

Variable	AP	AM	DF	RFV	MS
AP		0.99*	0.86ns	0.54ns	0.58ns
AM			0.84ns	0.51ns	0.55ns
DF				0.89ns	0.91ns
RFV					0.99*
MS					

*,**, ns =Significativo, altamente significativo y no significativo, respectivamente; RFV= Rendimiento de forraje verde; MS= Materia seca; DF= Días a floración; AP= Altura de planta, AM= Altura de mazorca.

CONCLUSIONES

Los mayores efectos de aptitud combinatoria general fueron para los machos 5, 9 y 10 y para las hembras 11, 19 y 20, en todas las características evaluadas, con excepción de altura de planta. Se detectó variabilidad genética en machos y hembras para las características rendimiento de forraje verde, materia seca, días a floración y altura de mazorca. Las mejores cruzas para rendimiento de forraje verde y materia seca fueron 5x11, 1x14, 4x20 y 8x19. Los caracteres altura de planta y días a floración estuvieron determinados por efectos aditivos; los efectos no aditivos fueron el componente principal en la expresión del rendimiento de forraje verde, materia seca y altura de mazorca. Los valores de heredabilidad fueron bajos en rendimiento de forraje verde y materia seca, en las variables restantes fueron intermedios. El análisis de correlación indicó que existió una alta asociación fenotípica entre altura de planta con altura de mazorca y de rendimiento de forraje verde con materia seca.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo (2001) Anuario estadístico del estado de Coahuila de Zaragoza, Edición 2001. Instituto Nacional de Estadística , Geografía e Informática-Gobierno del Estado de Coahuila. pp:502 y 563.

Antuna G O, F Rincón S, E Gutiérrez R, N A Ruiz T, L Bustamante G (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 26:11-17.

Comstock R E, H F Robinson (1948) The componentes of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degrees of dominance. Biometrics 4:254-266.

Gutiérrez R E, A Palomo, A Banda, E Lázaro (2002) Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. Rev. Fitotec. Mex. 25:271-277.

Hallauer A R, J B Miranda (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. Second Ed. Iowa State University Press. Ames. U.S.A. 468 p.

Márquez S F (1988) GenotecnicaVegetal. Tomo II. Primera edición. Ed. AGTESA. México. 563 p.

Márquez S F (1992) La interacción genético-ambiental en genotecnia vegetal. *In:* Memorias del Simposio Internacional Genotipo-Ambiente en Genotecnia Vegetal. Guadalajara, Jalisco. México. pp:1-27.

Peña R A, S M del Campo (1993) Selección de líneas y respuesta de variedades de maíz bajo condiciones ambientales diferentes. Rev. Fitotec. Mex. 16:37-45.

Sprague G F, L A Tatum (1941) General vs. specific combining ability in single crosses of corn. J. Am. Soc. Agron. 34:923-932.