

APTITUD COMBINATORIA DE LÍNEAS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS EN SUELOS CON ALTO Y BAJO CONTENIDO DE NITRÓGENO

COMBINING ABILITY OF HIGHLAND MAIZE LINES UNDER HIGH AND LOW SOIL NITROGEN CONTENT

Esau del Carmen Moreno Pérez^{1*}, David Lewis Beck², Tarcicio Cervantes Santana¹ y José Luis Torres Flores²

¹ Programa en Genética, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco, C.P. 56230 Montecillo, Estado de México, Fax: 01 (595) 952-0262. Correo electrónico: tarcer@colpos.mx ² Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641, C.P. 06600, México, Distrito Federal. Tel. 01 (595) 952-1900.

*Autor responsable

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue identificar híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de cruza simple de alto rendimiento en suelos de Valles Altos con alto y bajo contenido de nitrógeno. En 1999, en el Batán, México, se evaluaron 19 cruza A_i x CML349 y x CML246, 33 cruza B_j x CML244 y x CML352, donde A_i y B_j corresponden a líneas endogámicas derivadas de las poblaciones 902 y 903, respectivamente, del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT); CML 349, 246, 244 y 352 son líneas probadoras del CIMMYT. Las cruza A_i x CML349 y x CML246 y los testigos CMS 939083, ASPROS 721 y TROMBA, denominados genotipos A, fueron evaluados en un diseño bloques completos al azar con dos repeticiones. Las cruza B_j x CML244 y x CML352 y los mismos testigos, denominados genotipos B, fueron evaluados en otro experimento similar en la misma localidad y año. De los genotipos A, las mejores cruza en suelos con alto contenido de nitrógeno fueron A_{15} y A_{18} x CML349, las cuales superaron en 13.4% al mejor testigo; en el ambiente de bajo contenido de nitrógeno, el híbrido A_8 x CML349 fue superior en 14.3% al mejor testigo. De los genotipos B, la mejor cruza en el ambiente de alto contenido de nitrógeno fue B_{24} x CML244, la cual superó en 15.7% al mejor testigo; en bajo contenido de nitrógeno la mejor fue B_{26} x CML244, superior en 3.3% al mismo testigo anterior. Las mejores líneas cruzadas con sus dos probadores fueron A_{18} , A_2 , B_{32} y B_{25} en el ambiente de alto contenido de nitrógeno, y A_{18} , A_8 , B_{10} y B_{32} con bajo contenido de nitrógeno.

Palabras clave: *Zea mays* L., cruza simples, heterosis, poblaciones.

SUMMARY

The objective of this study was to identify highland single cross maize hybrids (*Zea mays* L.) with high yield potential in soils possessing high and low nitrogen. In 1999, in the Batán, Mexico, We evaluated 19 crosses including A_i x CML349 and x CML246, 33 crosses B_j x CML244 and x CML352, where A_i and B_j were inbred lines derived from populations 902 and 903, respectively, from the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT); CML 349, 246, 244 and 352 are tester lines from CIMMYT. The A_i x CML349 and x CML246 crosses plus CMS 939083, ASPROS 721 and TROMBA as checks, all referred to as genotypes A, were evaluated in a complete randomized block design with two replications. The B_j x CML244 and x CML352 crosses and the same checks, all referred to as genotypes B, were evaluated in another similar experiment in the same location

and year. From the genotypes A, the best crosses under high soil nitrogen content were A_{15} and A_{18} x CML349, 13.4% higher than the best check; under low nitrogen content condition the best was A_8 x CML349, 14.3% higher than the best check. From genotypes B, the best cross under high nitrogen condition was B_{24} x CML244, 15.7% higher than the best check; under low nitrogen content the best cross was B_{26} x CML244, 3.3% higher than the same check. The best lines crossed with their two testers were A_{18} , A_2 , B_{32} and B_{25} under high nitrogen condition, and A_{18} , A_8 , B_{10} and B_{32} under low nitrogen content.

Index words: *Zea mays* L., single crosses, heterosis, populations.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de grano del maíz (*Zea mays* L.) se ha incrementado por la mejora de las prácticas de cultivo y por el mejoramiento genético, a partir del cual se han obtenido variedades mejoradas de polinización libre e híbridos de alto rendimiento (Duvick, 1984; Russell, 1991; Pandey y Gardner, 1992), superiores a las variedades criollas (Pandey y Gardner, 1992). Los agricultores han preferido sembrar híbridos en sistemas agrícolas de alta producción, porque es donde muestran su mayor potencial de rendimiento, cuya desventaja es que en cada siembra se tiene que adquirir semilla comercial F_1 , que es costosa.

También es necesario incrementar el rendimiento en las grandes áreas agrícolas marginales de baja fertilidad, carentes principalmente de nitrógeno (Bänziger y Lafitte, 1997), para las cuales es necesario generar maíces mejorados que superen a las variedades de uso regional.

Los híbridos de cruza doble rinden menos que los trilineales y éstos menos que los de cruza simple (Weatherspoon, 1970); sin embargo, por el menor costo de producción de semilla, los híbridos de cruza doble se utilizaron durante un largo período, y sólo recientemente fueron sustituidos por los trilineales. Los híbridos de cruza simple

presentan el problema de bajo rendimiento de las líneas endogámicas que los forman (Hallauer *et al.*, 1988), lo cual dificulta y encarece la producción de la semilla comercial del híbrido; pero a través del tiempo se ha venido incrementando el rendimiento de las líneas de modo que la tendencia actual es formar híbridos de cruce simple, cuyas líneas deben manifestar alta heterosis en la cruce (Hallauer *et al.*, 1988). Según Moll *et al.* (1962) y Prasad y Singh (1986) la heterosis es mayor al aumentar la divergencia genética de los progenitores.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de híbridos de maíz de cruce simple en suelos con alto y con bajo contenido de nitrógeno, formados con líneas endogámicas derivadas de dos poblaciones que manifiestan buen nivel de heterosis, bajo la hipótesis de que al provenir de poblaciones de amplia variabilidad genética, sus líneas derivadas darán lugar a cruces de alto rendimiento en suelos con alto y con bajo contenido de nitrógeno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético estuvo constituido por dos conjuntos de líneas; el primero por 19 líneas endogámicas A_i y dos líneas probadoras, CML244 (BA8785MH 10-1-2-1-1TL-2-b) y CML352 (B.P.V.C. BA90 185-1-1-3-2TL-1-B-#-#); el segundo por 33 líneas endogámicas B_j y dos líneas probadoras, CML349 (HTBA89 136-5-1-2TL-1-4-2TL-B-1TL-B-#-#) y CML246 (POB.800C2HC 22-1T-2-3TL-1-2-7TL-B).

Las líneas A_i son de cinco o seis autofecundaciones y provienen de la Población A (Población 902 de Valles Altos, del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)), que se formó por la recombinación de 18 líneas S_3 y S_4 de alta aptitud combinatoria específica (ACE) con la línea CML246; la mayoría de esas 18 líneas y las líneas CML244 y CML352 usadas como probadores, se derivaron de la Población 85.

Las líneas B_j son de cinco o seis autofecundaciones y provienen de la Población B (Población 903 de Valles Altos del CIMMYT), que se formó por la recombinación de 25 líneas S_3 y S_4 de alta ACE con la línea CML242 (BA8785MH 10-1-1-2TL-1-3TL-3-1TL-b). La mayoría de estas 25 líneas y la línea probadora CML246 se derivaron de la Población 800. La línea probadora CML349 provino de la cruce de una línea S_4 de la Población 85 con una cruce simple del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La línea CML242 presenta una alta heterosis con CML246 y la cruce CML244 con CML349 es aún superior.

Las 19 líneas A_i se cruzaron con las líneas CML349 y CML246, y las 33 líneas B_j se cruzaron con las líneas CML244 y CML352. Las 19 cruces A_i x CML349, las 19 cruces A_i x CML246 y tres testigos: T1 (CML244 x CML349 (CMS 939083)), T2 y T3 (ASPROS 721 y TROMBA, híbridos comerciales de la empresa ASPROS y CERES, respectivamente), denominados genotipos A, se evaluaron en el Batán, Edo. de México, en un suelo con alto contenido de nitrógeno y otro con bajo contenido. El diseño experimental fue bloques completos al azar con dos repeticiones, parcela experimental de un surco de 5 m de longitud en el ambiente de alto contenido de nitrógeno y de 2.5 m de longitud en el ambiente de bajo contenido de nitrógeno. La distancia entre surcos fue 76 cm y entre matas 20 cm. Se sembraron dos semillas por mata y se aclaró a una planta. La siembra se efectuó el día 13 de mayo de 1999 y la cosecha el 26 de octubre del mismo año.

La fertilización en el ambiente de alto contenido de nitrógeno (AN) se hizo con la fórmula 150N-40P-00K, aplicando la mitad del nitrógeno y todo el fósforo en la siembra, y la segunda mitad del nitrógeno 40 días después. En el suelo de bajo contenido de nitrógeno (BN) no se aplicó fertilizante, que se preparó previamente para que su contenido de nitrógeno fuera bajo, al sembrar maíz sin fertilización y sin la incorporación al suelo de los residuos de cosechas en algunos años, en el ciclo de verano durante los cinco años anteriores a la realización del presente experimento.

Las 33 cruces B_j x CML244, las 33 cruces B_j x CML352 y los testigos T1, T2 y T3 (incluidos en el experimento anterior), denominados genotipos B, también se evaluaron en el Batán, Edo. de México, en las mismas condiciones ambientales y experimentales que el primer experimento.

Los caracteres medidos fueron días a floración masculina (DF), altura de planta (AP) en centímetros y rendimiento de grano (RG) en toneladas por hectárea, suponiendo 85% de grano en la mazorca. Para cada carácter y experimento se hizo un análisis de varianza y la comparación de medias mediante el criterio de Tukey con $\alpha = 0.05$ de probabilidad del error experimental. Con base a la metodología de Finlay y Wilkinson (1963), se hizo un análisis de regresión lineal simple del RG de la cruce de cada línea A_i con los probadores CML349 y CML246, sobre la media de todas las cruces con cada probador en cada nivel de fertilización, lo que dio lugar a las cuatro combinaciones siguientes: CML349-AN, CML349-BN, CML246-AN y CML246-BN. Este mismo análisis se hizo para las líneas B_j con los probadores CML244 y CML352. Estos análisis tuvieron la finalidad de conocer el comportamiento de las líneas en sus cruces con los dos probadores en los dos

niveles de fertilización, al considerar que la media de todas las cruzas con cada probador en cada nivel de fertilización, es una medida adecuada del complejo genético-ambiental en el que se desarrollan las líneas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza combinado de ambientes (alto y bajo contenido de nitrógeno) (Cuadro 1), indica que hubo diferencias significativas entre ambientes en rendimiento de grano (RG) en los genotipos A, y en RG y altura de planta (AP) en los genotipos B. En ambos grupos (A y B) hubo diferencias altamente significativas entre genotipos, entre grupos de genotipos (cruzas A_i x CML349, A_i x CML246, cruzas B_j x CML244, B_j x CML352 y testigos) y entre genotipos dentro de grupos, para los caracteres días a floración masculina (DF), AP y RG. Entre genotipos dentro de grupos, no hubo diferencias significativas en DF entre cruzas A_i x CML349 y entre cruzas A_i x CML246, ni en AP entre testigos de ambos grupos de genotipos. Sólo las interacciones ambiente x grupos en RG de los genotipos A y en DF y RG de los genotipos B fueron significativas, así como la interacción de ambiente x testigos en RG de los genotipos A.

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza combinado de ambientes de genotipos A y B de maíz de los caracteres que se indican.

Factor de variación	GL	Genotipos A			Genotipos B		
		DF	AP	RG	DF	AP	RG
A	1 (1)	320	26737	409.3**	48	42428*	573.5**
R/A	2 (2)	280	1842	3.4	38	790	4.5
GE	40 (68)	29**	456**	3.0**	21**	407**	2.6**
G	2 (2)	227**	1275**	22.6**	247**	2336**	23.2**
GE/G	38 (66)	19*	413**	1.9**	14**	349**	2.0**
G1	18 (32)	9	226*	2.2**	7**	402**	1.5*
G2	18 (32)	17	592**	1.2*	12**	289*	2.2**
G3	2 (2)	120**	121	5.7**	173**	457	7.2**
AxGE	40 (68)	8	108	0.8	5	135	1.2
AxG	2 (2)	20	52	1.8*	23**	182	8.3**
AxGE/G	38 (66)	8	110	0.7	4	134	1.0
AxG1	18 (32)	3	107	0.9	5	121	1.2
AxG2	18 (32)	10	101	0.4	4	137	0.9
AxG3	2 (2)	30	226	2.4*	8	270	0.1
Error	80(136)	10	105	0.6	3	163	0.9
CV (%)		4.0	5.2	17.2	2.4	6.2	18.1

A= Ambientes; R= Repeticiones; GE= Genotipos; G= Grupos, G1, G2 y G3 = Cruzas A_i x CML349, cruzas A_i x CML246 y testigos de los genotipos A, e igual a cruzas B_j x CML244, B_j x CML352 y testigos de los genotipos B, respectivamente, DF= Días a floración masculina; AP= Altura de planta; RG= Rendimiento de grano. GL fuera del paréntesis corresponde a genotipos A y entre paréntesis a genotipos B. * y ** significancia de F al 0.05 y 0.01 de probabilidad.

La comparación de medias de ambientes (Cuadro 2) indica que los genotipos B tuvieron mayor altura de planta en el ambiente de alto nitrógeno que en el de bajo nitrógeno, y que ambos grupos de genotipos A y B, mostraron en promedio mayor rendimiento de grano en el primer am-

biente que en el segundo. Resultados similares fueron obtenidos por Bundy y Carter (1988) y Gardner *et al.* (1990).

Cuadro 2. Comparación de medias de ambientes para los genotipos A y B de maíz de los caracteres que se indican.

Genotipo y carácter	Ambiente		Valores de Tukey
	Alto nitrógeno	Bajo nitrógeno	
Genotipos A			
DF	79.6 a	82.4 a	11.2
AP	208.7 a	183.2 a	28.8
RG	6.0 a	2.8 b	1.2
Genotipos B			
DF	78.9 a	79.8 a	3.2
AP	215.9 a	191.1 b	14.6
RG	6.7 a	3.8 b	1.0

DF= Días a floración masculina; AP= Altura de planta (cm); RG= Rendimiento de grano (t ha⁻¹).

Medias con la misma letra en la misma hilera son iguales entre sí (Tukey, 0.05).

El rendimiento de grano en el ambiente de bajo nitrógeno fue 52.7 % inferior al obtenido con alto contenido de nitrógeno en los genotipos A, y 43.0 % inferior en los genotipos B. Estos porcentajes de reducción son similares a los obtenidos en este mismo carácter por Lafitte y Edmeades (1994) y Bänziger y Lafitte (1997) con maíces tropicales.

En valores absolutos, ambos grupos de genotipos A y B mostraron menor número de días a floración en el ambiente de alto nitrógeno; lo contrario se observó en la altura de planta, donde en el primer ambiente los genotipos A mostraron numéricamente mayor altura de planta que en el segundo ambiente; en los genotipos B, la diferencia para este carácter fue estadísticamente significativa.

El rendimiento medio de grano de las cruzas de las líneas A_i con la línea probadora CML349 fue superior al obtenido con las cruzas con la línea CML246, tanto en el ambiente de alto como de bajo contenido de nitrógeno (Cuadro 3). Con alto contenido de nitrógeno, el promedio de las cruzas con la línea CML246 fue igual al de los testigos, y con bajo contenido de nitrógeno, las cruzas con CML349 fueron iguales al de estos últimos. En promedio de ambientes, las cruzas A_i x CML349 fueron las que mostraron los mejores rendimientos. De acuerdo con la definición de aptitud combinatoria general (ACG) de Sprague y Tatum (1942), la superioridad de las cruzas de A_i con CML349 sobre las cruzas con CML246, es un indicador de que la línea CML349 tiene mayor ACG que la CML246, y además tiene la capacidad de expresarla en ambientes de alto y de bajo contenido de nitrógeno.

Cuadro 3. Comparación de medias de rendimiento de grano (t ha⁻¹) de los grupos de genotipos A de maíz y de genotipos dentro de grupos.

Grupos y genotipos	Ambiente		Promedio
	AN	BN	
Cruzas A_i x CML349	6.7 A	3.2 A	5.0 A
A ₁₅ (P902C0MH 218-1-7TL-1-1-1-1)x CML349	8.1 a [†]	3.8 ab	6.0 a [†]
A ₈ (P902C0MH 72-2-1TL-3-2-1-1)x CML349	7.5 a	4.4 a [†]	5.9 a
A ₁₈ (P902C0MH 218-1-7TL-2-2-1-1)x CML349	8.1 a	3.7 ab	5.9 a
A ₂ (P902C0MH 34-1-1TL-7-B-1)x CML349	7.7 a	3.8 ab	5.8 a
...
A ₁₃ (POB.902C0MH 81-1-4TL-2-3-B-2)x CML349	4.4 a ^{††}	3.1 ab	3.8 a
A ₁₀ (POB.902C0MH 81-1-4TL-2-1-1-1)x CML349	5.7 a	1.8 b ^{††}	3.8 a ^{††}
Valores de Tukey	3.9	2.5	3.1
Cruzas A_i x CML246	5.4 B	2.4 B	3.9 C
A ₁₈ x CML246	6.6 a [†]	3.4 a [†]	5.0 a [†]
A ₂ x CML246	6.2 a	2.8 a	4.5 a
A ₅ (P902C0MH 68-2-3-1-1-1)x CML246	5.6 a	3.2 a	4.4 a
A ₉ (P902C0MH 72-2-1TL-3-2-1-2)x CML246	6.2 a	2.6 a	4.4 a
...
A ₁₇ (P902C0MH 218-1-7TL-1-4-B-1)x CML246	5.5 a	0.9 a ^{††}	3.2 a
A ₁₁ (P902C0MH 81-1-4TL-2-2-1-1)x CML246	4.3 a ^{††}	1.8 a	3.0 a ^{††}
Valores de Tukey	3.3	3.0	2.9
Testigos	5.6 B	3.1 A	4.4 B
T ₂ (ASPROS 721)	7.2 a [†]	3.1 a	5.1 a [†]
T ₁ (CMS 939083)	6.2 a	3.9 a [†]	5.0 a
T ₃ (TROMBA)	3.5 b ^{††}	2.5 a ^{††}	3.0 b ^{††}
Valores de Tukey	2.4	2.4	1.5
Valores de Tukey (Grupos)	0.5	0.2	0.3
Valores de Tukey (Genotipos)	3.6	2.8	3.1

AN= Alto contenido de nitrógeno; BN= Bajo contenido de nitrógeno. Medias con la misma letra mayúscula en la misma columna y con la misma letra minúscula dentro de cada grupo de genotipos son iguales entre sí (Tukey, 0.05). [†] y ^{††} genotipo con mayor y menor rendimiento dentro de cada grupo.

El mayor rendimiento de las cruzas de líneas A_i con CML349, posiblemente se debe a que la línea CML349 contiene germoplasma del INIFAP que es diferente del que trabaja el CIMMYT, con lo que se pudo haber aumentado la divergencia genética de ésta con las líneas A_i, y en consecuencia se manifestó mayor heterosis en sus cruzas (Moll *et al.*, 1962; Prasad y Singh, 1986). Arellano *et al.* (1996) observaron mayor aptitud combinatoria específica al combinar líneas del INIFAP con líneas del CIMMYT, en comparación con cruzas de líneas provenientes de una misma Institución.

En el grupo de cruzas A_i x CML349, hubo cruzas que superaron en valor absoluto en el ambiente de alto nitrógeno al mejor testigo, T₂, el cual rindió 7.2 t ha⁻¹. Las cruzas fueron A₁₅ x CML349, A₁₈ x CML349, A₂ x CML349 y A₈ x CML349, y su superioridad sobre T₂ fue de 13.4, 13.4, 7.5 y 3.7 %, respectivamente. En el ambiente de bajo nitrógeno las cuatro cruzas citadas también superaron a T₂, que entre los testigos ocupó el segundo lugar; la cruz A₈ x CML349 superó en 14.3 % al mejor testigo, T₁, el cual rindió 3.9 t ha⁻¹.

Como en promedio de ambientes no hubo diferencias notorias entre las primeras cuatro cruzas arriba indicadas, desde el punto de vista de utilización en siembras comerciales podrían seleccionarse las dos primeras para ambientes de alto nitrógeno y la última para bajo nitrógeno, por los rendimientos mostrados en esos ambientes.

Del grupo de cruzas A_i x CML246, ninguna de ellas superó al mejor testigo, ni en alto ni en bajo nitrógeno; la mejor cruz en promedio en ambos ambientes fue A₁₈ x CML246, que rindió 6.6 y 3.4 t ha⁻¹ en alto y bajo contenido de nitrógeno, respectivamente.

La comparación de medias del rendimiento de grano de los grupos de genotipos B (Cuadro 4), indica que en los ambientes de alto y de bajo contenido de nitrógeno, y en promedio de ambos ambientes, no hubo diferencias estadísticas entre los tres grupos de genotipos. Las cruzas de las líneas B_j con el probador CML244 superaron numéricamente a las cruzas con el probador CML352 en 1.33 t ha⁻¹ en alto contenido de nitrógeno, en 0.33 t ha⁻¹ en bajo contenido de nitrógeno y en 0.83 t ha⁻¹ en promedio de los dos ambientes.

Cuadro 4. Comparación de medias de rendimiento de grano (t ha⁻¹) de los grupos de genotipos B de maíz y de genotipos dentro de grupos.

Grupos y Genotipos	Ambiente		Promedio
	AN	BN	
Cruzas B_j x CML244	7.4 A	4.0 A	5.7 A
B ₃₂ (P903C0MH 364-1-4TL-3-5-1-1)x CML244	8.7 a	5.0 a	6.9 a [†]
B ₂₄ (P903C0MH 196-3-7TL-1-1-1-1)x CML244	9.4 a [†]	4.3 a	6.8 a
B ₁₆ (P903C0MH 182-1-6TL-1-1-B-1)x CML244	8.2 a	4.8 a	6.5 a
B ₁₀ (P903C0MH 183-1-3TL-1-B-1)x CML244	7.7 a	5.0 a	6.4 a
B ₂₆ (P903C0MH 207-1-2TL-1-2-1-1)x CML244	7.3 a	5.3 a [†]	6.3 a
...
B ₂₈ (P903C0MH 264-2-5TL-1-4-B-1)x CML244	5.1 a ^{††}	3.8 a	4.5 a
B ₁₇ (P903C0MH 182-1-6TL-1-3-1-1)x CML244	5.6 a	2.6 a ^{††}	4.1 a ^{††}
Valores de Tukey	5.4	3.3	4.3
Cruzas B_j x CML352	6.0 A	3.7 A	4.8 A
B ₂₅ (P903C0MH 202-1-4TL-1-5-B-1)x CML352	8.1 ab	5.2 a	6.6 a [†]
B ₃₂ x CML352	8.9 a [†]	4.3 ab	6.6 a
B ₇ (P903C0MH 39-1-3TL-6-1-1)x CML352	8.1 ab	4.0 ab	6.1 a
B ₁₀ x CML352	6.2 abc	5.3 a [†]	5.7 a
...
B ₁₅ (P903C0MH 44-1-9TL-1-4-1-1)x CML352	4.6 b ^{††}	2.9 ab	3.8 a
B ₂₈ x CML352	5.2 ab	2.2 b ^{††}	3.7 a ^{††}
Valores de Tukey	4.0	2.7	3.3
Testigos	6.9 A	4.0 A	5.5 A
T ₂ (ASPROS 721)	8.1 a [†]	5.2 a [†]	5.6 a [†]
T ₁ (CMS 939083)	7.4 a	4.2 a	5.8 a
T ₃ (TROMBA)	5.3 b ^{††}	2.8 b ^{††}	4.0 a ^{††}
Valores de Tukey	6.6	1.7	2.9
Valores de Tukey (Grupos)	4.0	0.5	1.7
Valores de Tukey (Genotipos)	5.0	3.0	4.1

AN= Alto contenido de nitrógeno; BN= Bajo contenido de nitrógeno. Medias con la misma letra mayúscula en la misma columna y con la misma letra minúscula dentro de cada grupo de genotipos son iguales (Tukey, 0.05). [†] y ^{††} genotipo con mayor y menor rendimiento dentro de cada grupo.

La superioridad en rendimiento de las cruzas de las líneas B_j con la línea probadora CML244 sobre las cruzas con la línea probadora CML352, muestra que la primera línea probadora tiene mayor ACG que la segunda, tal como sucedió con la CML349 con respecto a la CML246.

En el ambiente de alto contenido de nitrógeno, las cruzas B₂₄ x CML244, B₃₂ x CML244 y la B₃₂ x CML352, superaron numéricamente al mejor testigo, T2, en 15.7, 7.5 y 9.8 %, respectivamente; en el ambiente de bajo nitrógeno, las cruzas B₂₆ x CML244 y la B₁₀ x CML352, superaron en 3.3 y 1.9 %, respectivamente, al mejor testigo, T2.

Entre las cinco cruzas arriba indicadas, sólo la primera podría seleccionarse para ambientes de alto nitrógeno y ninguna para bajo nitrógeno, ya que el testigo T2 mostró estadísticamente el mismo rendimiento que las mejores cruzas.

En los análisis de regresión del rendimiento de las cruzas de las líneas con los dos probadores, evaluadas en los dos niveles de fertilización, sobre la media de todas las cruzas con cada probador en cada ambiente (Cuadro 5), los coeficientes de determinación fueron más altos en el conjunto de cruzas A_i x CML349 y A_i x CML246 que en el de las cruzas B_j x CML244 y B_j x CML352; esto indica que en el primer conjunto de cruzas el modelo se ajustó mejor a los datos observados que en el segundo conjunto. En el primer conjunto de cruzas la mejor línea A_i a través de probadores y niveles de fertilización fue A₁₈, cuya media general del rendimiento fue la más alta (5.48 t ha⁻¹) y su coeficiente de regresión fue de 1.15, que indica que el rendimiento del híbrido con esta línea se incrementó al cruzarse con el probador de mayor aptitud combinatoria general (ACG) y a medida que se mejoró el contenido de nitrógeno del suelo (Figura 1).

Las líneas A₁₈ y A₈ mostraron el rendimiento más alto con el peor probador (CML246) en el nivel de fertilización más bajo, pero la segunda tuvo un valor de b₁ = 0.91, que indica que en cruzas con el mejor probador, en suelo con mayor contenido de nitrógeno, su rendimiento aumentó en menor proporción en comparación con A₁₈. Hubo líneas como A₁₃ que con el peor probador y ambiente de fertilización mostraron un rendimiento relativamente alto, pero un coeficiente b₁ = 0.52, que indica que su rendimiento se incrementó muy poco al desarrollarse en un ambiente genético ambiental más favorable, de manera que al cruzarse con el mejor probador en alto nitrógeno, fue la de menor rendimiento.

Cuadro 5. Valor predicho (y₀) en el nivel más bajo de x, coeficiente de regresión (b₁) y de determinación (r²), y rendimiento medio de grano (RGP; t ha⁻¹) de las cruzas de las líneas A_i y B_j con los dos probadores.

Líneas	y ₀	b ₁	r ²	RGP
A_i				
18	3.13 †	1.15**	0.98	5.48 †
2	2.81	1.14**	1.00	5.13
15	2.56	1.22*	0.98	5.05
8	3.12	0.91*	0.91	4.98
16	2.83	1.03*	0.97	4.93
5	3.07	0.89**	0.99	4.90
...
17	1.79	1.31 †	0.90	4.46
...
13	2.58	0.52 ††	0.86	3.64
10	1.54 ††	1.02*	0.94	3.62 ††
Promedio	2.38	1.00	0.96	4.42
B_j				
32	4.63	1.30	0.88	6.73 †
25	4.12	1.24	0.76	6.12
10	4.96 †	0.68*	0.93	6.05
16	4.27	1.10**	0.98	6.04
24	3.96	1.27	0.88	6.00
7	3.87	1.29	0.87	5.95
...
8	4.50	0.50 ††	0.79	5.31
3	2.92	1.38* †	0.96	5.14
...
17	2.80 ††	0.85	0.88	4.17
28	2.95	0.70	0.75	4.08 ††
Promedio	3.64	1.00	0.89	5.25

† y †† línea con mayor y menor valor. * y ** significancia de t al 0.05 y 0.01 de probabilidad.

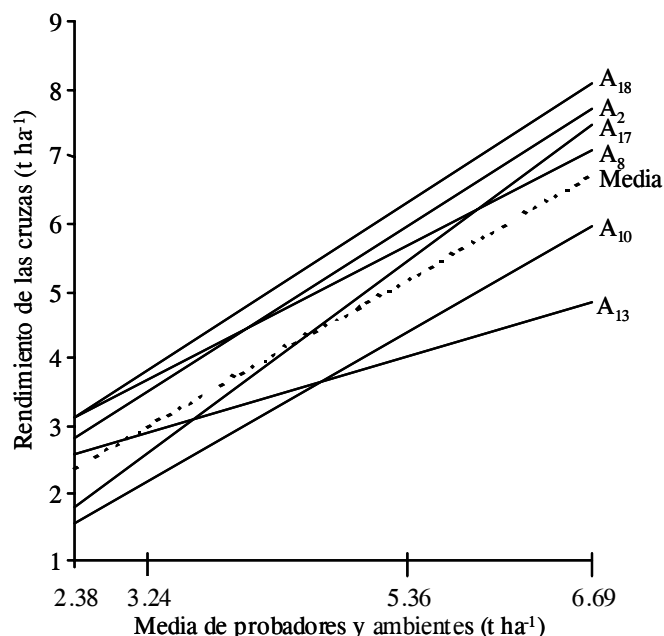


Figura 1. Líneas de regresión del rendimiento de las cruzas de la línea A_i con sus dos probadores, sobre la media de todas las cruzas con cada probador y nivel de fertilización.

En el segundo conjunto de cruzas (Cuadro 5 y Figura 2), la mejor línea fue B₃₂, con media general de rendimiento de 6.73 t ha⁻¹ y b₁ = 1.30; no obstante que ocupó el

segundo lugar con el peor probador en el nivel más bajo de fertilización, su rendimiento mejoró sustancialmente con los otros probadores y fertilización nitrogenada; algo similar ocurrió con las líneas B₂₅ y B₂₄, aunque el incremento del rendimiento de éstas fue en menor proporción en comparación a B₃₂; la línea B₂₈ exhibió un comportamiento contrario a las líneas anteriores, pues mostró la media de rendimiento más baja (4.08 t ha⁻¹), fue una de las peores con el probador de menor ACG y sin fertilización nitrogenada, y su rendimiento se incrementó muy poco con los mejores probadores y fertilización.

En las figuras correspondientes se observa que es fácil seleccionar las mejores líneas a ser usadas en la formación de híbridos de cruce simple, tanto para alto como para bajo contenido de nitrógeno o para ambos ambientes; las mejores líneas para bajo contenido de nitrógeno fueron A₁₈, A₈, B₁₀ y B₃₂, para alto contenido de nitrógeno fueron A₁₈, A₂, B₃₂ y B₂₅, y para ambos niveles de fertilización las mejores líneas fueron A₁₈ y B₃₂.

La información conjunta de las comparaciones de medias y los análisis de regresión, indica que las mejores líneas para bajo nitrógeno fueron A₈ y B₁₀, para alto nitrógeno fueron A₁₈ y B₃₂, y para ambos ambientes también A₁₈ y B₃₂.

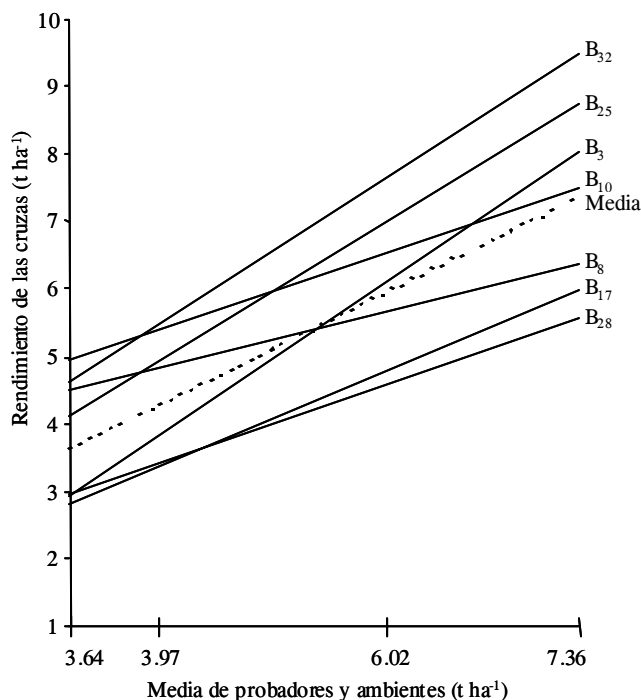


Figura 2. Líneas de regresión del rendimiento de las cruces de la línea B_j con sus dos probadores, sobre la media de todas las cruces con cada probador y nivel de fertilización.

No obstante que la interacción genotipo-ambiente no fue significativa estadísticamente, las líneas A₁₈ y B₃₂ fueron de alto rendimiento y bastante estables en su cruce con los probadores evaluados en ambos ambientes de alto y bajo nitrógeno, contrario al grupo de testigos de los genotipos A, en que la interacción ambiente-testigos fue significativa, lo que indica que estos testigos responden en forma distinta al evaluarlos en suelos con diferente contenido de nitrógeno.

CONCLUSIONES

La identificación de híbridos de maíz de alto rendimiento en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno, es el resultado de la alta variabilidad genética de las poblaciones 902 y 903 de donde se derivaron las líneas y de la heterosis debida a la divergencia genética entre ellas y las líneas probadoras, principalmente las derivadas de la población 902 con la línea probadora CML349, y las líneas de la población 903 con la línea probadora CML244. Estas dos líneas probadoras tienen la particularidad de manifestar alta aptitud combinatoria general en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno. El análisis de regresión llevado a cabo permitió seleccionar líneas que al cruzarse con los probadores dan lugar a híbridos de alto rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Arellano V J L, F Castillo G, G Alcántar G, A Martínez G (1996) Parámetros genéticos de la eficiencia en el uso de nitrógeno en líneas de maíz de valles altos. *In: Developing Drought- and Low N- Tolerant Maize*. G O Edmeades, M Bänziger, H R Mickelson, C B Peña-Valdivia (eds). CIMMYT, El Batán, México, D.F. pp:320-325.

Bänziger M, H R Lafitte (1997) Efficiency of secondary traits for improving maize for low-nitrogen target environments. *Crop Sci.* 37:1110-1117.

Bundy L G, P R Carter (1988) Corn hybrid response to nitrogen fertilization in the northern corn belt. *J. Prod. Agric.* 1:99-104.

Duvick D N (1984) Genetic contributions to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930 to 1980. *In: Genetic Contributions to Yield Gains of Five Major Crop Plants*. WR Fehr (ed). CSSA, ASA, Madison, WI. pp: 15-47.

Finlay K W, G N Wilkinson (1963) The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Austral. J. Agric. Res.* 14:742-754.

Gardner C A C, P L Bax, D J Bailey, A J Cavaliere, C R Clausen, GA Luce, J M Meece, P A Murphy, T E Piper, R L Segebart, O S Smith, C W Tiffany, M W Trimble, B N Wilson (1990) Response of corn hybrids to nitrogen fertilizer. *J. Prod. Agric.* 3:39-43.

Hallauer A R, W A Russell, K R Lamkey (1988) Corn breeding. *In: Corn and Corn Improvement*. G F Sprague, J W Dudley (eds). Third Ed.. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp: 469-564.

Lafitte H R, G O Edmeades (1994) Improvement for tolerance to low soil nitrogen in tropical maize. I. Selection criteria. *Field Crops Res.* 39:1-14.

Moll R H, W S Salhuana, H F Robinson (1962) Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.* 2:197-198.

- Pandey S, C O Gardner (1992)** Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron.* 48:1-87.
- Prasad S K, T P Singh (1986)** Heterosis in relation to genetic divergence in maize (*Zea mays* L.). *Euphytica* 35:919-924.
- Russell W A (1991)** Genetic improvement of maize yields. *Adv. Agron.* 46:245-298.
- Sprague G F, L A Tatum (1942)** General and specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 34:923-932.
- Weatherspoon J H (1970)** Comparative yield of single, three-way and double crosses of maize. *Crop Sci.* 10:157-159.