

## ESTABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DE LINEAS *per se* Y CRUZAS DE MAÍZ EN LA PRODUCCION DE SEMILLA\*

### STABILITY AND BEHAVIOR OF MAIZE LINES *per se* AND CROSSES IN SEED PRODUCTION

Alejandro Espinosa Calderón<sup>1</sup>  
Joaquín Ortíz Cereceres<sup>2</sup>  
Alfonso Ramírez Fonseca<sup>3</sup>  
Noel O. Gómez Montiel<sup>4</sup>  
Ángel Martínez Garza<sup>5</sup>

#### RESUMEN

Se estudió la relación entre la estabilidad y el comportamiento de líneas *per se* y sus cruzas simples de maíz *Zea mays* L., para rendimiento en la producción de semilla. Se establecieron experimentos en el ciclo primavera-verano de 1995 en cinco localidades tropicales de México, en los que se incluyeron cruzas dialélicas (directas y recíprocas) y nueve líneas con nivel de endogamia superior al 95%. Se aplicó la metodología de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell. De los resultados obtenidos se concluye que el rendimiento medio de semilla de las líneas varió de 1,081 kg/ha (T37) a 3,058 kg/ha (Pob22 TSR-S<sub>6</sub>-2); asimismo, de las nueve líneas cuatro exhibieron rendimientos superiores a 2,300 kg/ha de semilla, por lo que pueden utilizarse con ventajas en programas de producción de semilla de híbridos simples de maíz. Cada línea expresó mayor productividad en ciertos ambientes, los cuales deben ser aprovechados para lograr óptimos resultados en la producción de semilla. Las líneas STDC2-HC43-S<sub>5</sub>-1 y TTC-C2-HC63, de buen rendimiento *per se*, fueron clasificadas como estables, y generaron además cruzamientos que se expresaron también como estables. El híbrido simple formado por las líneas T37 y STDC2-HC43-S<sub>5</sub>-1 exhibió la mayor productividad media (5,765 kg/ha), además de clasificarse como estable.

**Palabras clave:** Maíz, *Zea mays* L., estabilidad, híbridos, líneas, producción de semilla.

\* Artículo enviado al Comité Editorial del INIFAP-Área Agrícola, el 2 de junio de 1998.

<sup>1</sup> Líder, Nacional de Semillas del INIFAP. Serapio Rendón Núm. 83, México, D.F.

<sup>2</sup> Profesor Investigador Titular del C.P. 56230 Montecillo. México. jortiz@colpos.colpos.mx

<sup>3</sup> M.C. Investigador del C.E. Centro de Chiapas, INIFAP. 29140. Ocozocauhta, Chis.

<sup>4</sup> Dr. Investigador del C.E. Iguala, INIFAP. 40000. Iguala, Gro.

<sup>5</sup> Dr. Profesor Investigador Titular del C.P. 56230 Montecillo, México. angel@colpos.colpos.mx

## SUMMARY

The relationship between stability and performance *per se* of maize, *Zea mays* L., inbred lines and their single crosses was studied for yield and other important traits related to seed production. Experiments were carried out during summer 1995 in five tropical locations in Mexico. They included nine inbred lines with inbreeding level of 95% and all the possible direct and reciprocal diallelic crosses. The Eberhart and Russell methodology for stability parameters was used. The conclusions were: the average seed yield of the lines ranged between 1,081 kg/ha (T37) and 3,058 kg/ha (Pob22 TSR-S<sub>6</sub>-2). Four out of 10 lines showed seed yields above 2,300 kg/ha, which could be used in single cross hybrids seed production. Each line expressed higher seed yields in specific environments. Lines STDC2-HC43-S<sub>5</sub>-1 and TTC-C2-HC63 presented good yield *per se* and were classified as stable, and their crosses which were also considered stable. The single cross hybrid formed by lines T37 and STDC2-HC45-S<sub>5</sub>-1 showed the best average seed yield (5,765 kg/ha), in addition to show good stability.

**Key words:** Maize, *Zea mays* L., stability, hybrids, lines, seed production,

## INTRODUCCION

Desde el inicio del mejoramiento genético del maíz en México en los años cuarenta, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y sus antecesores han liberado a la fecha 180 genotipos entre híbridos y variedades de polinización libre. La mayoría de los híbridos ha sido de cruza doble, formados con líneas de bajo nivel de endogamia (S<sub>1</sub> a S<sub>4</sub>), con lo cual se pretendió que tuvieran mayor estabilidad y que su semilla certificada tuviera un precio accesible. Este tipo de materiales poseía amplia adaptación en condiciones variables de ambiente dentro de amplias regiones; sin embargo, por el bajo nivel de endogamia de las líneas se llegaba a sacrificar el rendimiento.

La primera generación de híbridos se conformó con líneas derivadas de fuentes de germoplasma con bajo nivel de mejoramiento, por lo que no soportaba niveles superiores de endogamia. A la fecha es ampliamente conocido que los progenitores de cualquier híbrido deben ser líneas vigorosas de buen rendimiento y características

agronómicas que favorezcan su empleo en la multiplicación de híbridos de cruza simple (López-Pereira y Espinosa, 1993). Por otra parte, algunas características agronómicas de las líneas y cruza simple que se utilizan como progenitoras de híbridos de cruza simple, trilineales o dobles, facilitan la multiplicación de semilla comercial de los híbridos respectivos, según sea el caso, por lo cual es deseable que los progenitores femeninos y masculinos posean características como tamaño, forma y frecuencia de semilla grande; facilidad para desespigue; un solo tallo, etc. que favorezcan tanto el rendimiento como la calidad de la semilla.

Los parámetros de estabilidad, definidos por el coeficiente de regresión y el cuadrado medio de las desviaciones de regresión, constituyen una herramienta auxiliar en la evaluación de líneas e híbridos, y en general de genotipos. El modelo de Eberhart y Russell (1966) ha funcionado para clasificar las variedades según sus parámetros  $b_1$  y  $S^2d_p$ , con base en la descripción de las situaciones posibles que resultan de considerar ambos parámetros (Carballo, 1970), la cual fue ampliada por Márquez y Córdova (1976).

Cuando las variedades se evalúan en diversos ambientes, los esfuerzos se enfocan para combinar rendimiento y estabilidad del comportamiento como un criterio de selección, con el propósito de hacer más completo y preciso el proceso de selección (Kang, 1993).

Frecuentemente las líneas endogámicas de maíz enfrentan problemas para aprovechar ambientes favorables y para prosperar en ambientes desfavorables (Rowe y Andrew, 1964). Con esquemas de mejoramiento eficientes de selección recurrente y/o reciclaje de líneas, con objetivos definidos sobre el tipo de materiales que deben generarse, es posible lograr híbridos simples y trilineales de buen rendimiento y estabilidad, con la ventaja de que en los híbridos trilineales puede participar como progenitor femenino el híbrido simple más sobresaliente en una región (Sierra *et al.*, 1993).

Tomando en cuenta los antecedentes anteriores, en este trabajo se evaluó la estabilidad de un grupo de líneas y los híbridos simples que se generan con ellas, en comparación con testigos comerciales, bajo la hipótesis de que el comportamiento *per se* para rendimiento de semilla y características relacionadas con su producción guardan relación con la estabilidad de las líneas progenitoras y de las cruzas simples que generan.

## MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron nueve líneas con nivel de endogamia superior a 95 % derivadas de poblaciones o variedades provenientes del CIMMYT y del INIFAP (Cuadro 1).

La evaluación de las nueve líneas y de sus 72 cruzas simples directas y recíprocas se realizó bajo condiciones de temporal en Iguala, Gro.; Ocozocuahtla, Chis.; Tecomán, Col.; Apatzingán, Mich., y Santiago Ixcuintla, Nay., donde se sembró en el mes de julio. Se incluyó la línea 10 (ST-549), los testigos comerciales H-512, H-513, VS-536, H-514, H-515, HI-1, P-3288, H-430, y un testigo local, hasta completar 100 genotipos, los cuales se

evaluaron en un diseño látice triple 10 x 10 con tres repeticiones, que al definirse con baja eficiencia relativa en los análisis, se utilizó el diseño de bloques completos al azar. El tamaño de parcela fue de un surco de 5 m de longitud, separados a 0.80 m, y una densidad de población de 62,500 plantas por hectárea. Las variables evaluadas fueron las siguientes: días a floración masculina y femenina; longitud de pedúnculo de la espiga; período de expulsión de polen; altura de planta y de mazorca; rendimiento total de semilla; porcentaje de semilla grande, mediana y chica; peso volumétrico (kg/hl), y peso de 50 semillas. La estabilidad de los genotipos se evaluó a través de la metodología de parámetros de estabilidad propuesta por Eberhart y Russell (1966), a la que se aplicó un algoritmo computacional para obtener los indicadores de estabilidad (Mastache y Martínez, 1996).

## RESULTADOS Y DISCUSION

En los análisis individuales y combinados a través de localidades se observaron diferencias altamente significativas (0.01) entre los genotipos para diversas variables, así como para la interacción genotipos x localidades.

Las líneas progenitoras rindieron en promedio de los cinco ambientes desde 1,081 kg/ha (T37) hasta 3,058 kg/ha (Pob22 TSR-S<sub>6</sub>-2), que son aceptables desde el punto de vista de la producción de semilla (López-Pereira y Filippello, 1995), aunque inferiores a los de las cruzas y los testigos.

En el Cuadro 2 se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza para las variables evaluadas. Se puede observar que en todos los casos se detectaron diferencias altamente significativas para la fuente de variación genotipos, lo cual indica diferencias entre las medias para cada variable. La interacción genotipos x ambientes (lineal) resultó altamente significativa (0.01) para las variables rendimiento, floración masculina y femenina, porcentaje de semilla grande y mediana, peso volumétrico, excursión de espiga y peso de 50 semillas. Las variables altura de planta y de mazorca y días con

**Cuadro 1. Genealogía y germoplasma de las líneas de maíz utilizadas en la evaluación de su comportamiento *per se*.**

Núm.	Pedigrí	Germoplasma	Text. grano	Ciclo
1	Across7522-S6	Pob22, Tuxpeño, ETO, Bco.	Semidentado	Tardío
2	Pob22TSR-S6-2	Pob22, Antigua y CA	Semidentado	Tardío
3	D-471	B-670, Dekalb B-670	Cristalino	Tardío
4	TTC-C2-HC63	Pob29, Tuxp. Cub. Cris. ETO	Cristalino	Intermedio
5	Pob43-HC-113-1	Pob43, Sint. líneas Tuxp.	Dentado	Tardío
6	T37	H-422, INIFAP H-422	Semicristalino	Intermedio
7	STDC2-HC43-S5-1	Pob43, Sint. líneas Tuxp.	Dentado	Tardío
8	TTC-C1-HC17	Pob29, Tuxp. Cub. Cris. ETO	Cristalino	Intermedio
9	Pool24C20MH366	Pool24, Ver181, Ant. Gpo. 2	Semidentado	Tardío
10	ST-549	PobST, Línea Celaya, Tuxp.	Cristalino	Tardío

polen no mostraron interacción significativa con los ambientes. En el resto de las variables la significancia de la interacción indica que los materiales presentaron respuesta diferencial a los ambientes.

Las medias y los valores de los parámetros de estabilidad para la variable rendimiento se muestran en el Cuadro 3. Con base en estos valores y en su significancia se aplicó la clasificación propuesta por Carballo (1970). La mayoría de los materiales se ubicaron en la categoría 1, que los define como estables, es decir, con  $b_1=1$  y  $S_2d_1=0$ ; diez materiales presentaron buena respuesta en el total de ambientes pero fueron inconsistentes (situación 2:  $b_1=1$  y  $S_2d_1>0$ ); cinco genotipos mostraron mejor respuesta en ambientes desfavorables y fueron consistentes (situación 3:  $b_1<1$  y  $S_2d_1=0$ ) y sólo un genotipo tuvo respuesta mejor en buenos ambientes, con expresión de consistente (situación 5:  $b_1>1$  y  $S_2d_1=0$ ).

La clasificación anterior permite reflexionar sobre el tipo de material que interesa a un programa de fitomejoramiento. Por más de dos décadas se planteó como objetivo central generar variedades estables en rendimiento; sin embargo, en los últimos años se han incorporado nuevos criterios sobre los ajustes estadísticos que hace el modelo, considerando la regresión y las desviaciones de regresión, planteándose que pudiera existir una respuesta de tipo no lineal que debería ser tomada en cuenta cuando las

desviaciones de regresión alcanzan un valor mayor de cero (Molina, 1992; Márquez, 1992).

Las condiciones del ambiente o localidad determinan el tipo de material que se adapta a tal ambiente. Así, para condiciones favorables con riego y buena fertilidad se requieren híbridos consistentes, que respondan a esas condiciones; en este trabajo sólo un híbrido (genotipo 99), alcanzó esa clasificación, pero fue superado en rendimiento por 31 cruza simples, las que además fueron estables. De hecho varias de ellas tienen perspectivas de uso por su alto rendimiento y por su condición de predecibilidad (Márquez y Córdova, 1976).

El híbrido simple 6x7, que rindió 5,765 kg/ha, logró la mayor productividad media de los cinco ambientes, clasificándose como estable. En segundo lugar se ubicó la cruza simple 3x6, con rendimiento medio similar al del híbrido 6x7, pero inconsistente a través de ambientes,  $b_1=1$ ,  $S_2d_1>0$ , (Márquez y Córdova, 1976; Márquez, 1992; Kang, 1993).

De las 10 cruza simples con el más alto rendimiento, ocho se clasificaron como estables y dos como no estables. La estabilidad de las cruza simples podría explicarse tomando como base la de las líneas que las integran (Kang, 1993). Por otra parte, resalta el hecho de que la línea 7 (STD-C2-HC43-S<sub>5</sub>-1) en todas las combinaciones, excepto la cruza 7x9, generó híbridos simples estables, de los cuales cinco fueron superiores

**Cuadro 2. Cuadrados medios de los análisis de varianza en la estimación de los parámetros de estabilidad para diversas variables en híbridos y líneas tropicales de maíz. Primavera-Verano, 1995.**

Fuente de variación	G. L.	Rend. grano	Días a floración		Altura		% de semilla		Peso volum.	Peso 50 semillas	Días con polen	Exc. esp.	% grano
			Masc.	Fem.	Planta	Mazorca	Grande	Mediana					
Genotipos (G)	99	6640773**	15.1**	16.4**	1646.7**	469.4**	675.9**	293.3**	486.2**	9.7**	0.5**	93.2**	6.9**
Residual	400												
Ambientes (A)	1												
G x A (Lineal)	99	880090	2.2**	2.5**	97.6	42.6	54.9**	33.3**	340.9**	1.1**	0.3	202.6**	4.1**
Desv. pond.	300	867054	1.5	1.7	126.0	68.5	35.9	22.6	109.9	0.8	0.4	6.2	0.9
G 1	3	872153	3.0	3.4	181.4	177.2*	65.2	23.2	59.8	0.5	0.5	6.9	0.4
G 2	3	271901	1.8	4.1*	132.6	42.8	96.6*	38.3	191.7	0.1	0.7*	5.6	0.2
G 3	3	373164	2.6	2.4*	104.7	3.4	92.1*	37.1	358.9	0.4	1.4**	7.1	3.5**
G 4	3	750358	0.1	0.7	310.6	49.1	49.8	27.2	14.6	0.4	1.1**	4.1	4.1**
G 5	3	790167	0.4	1.0	8.6	75.7	66.6	21.3	591.6*	1.4	0.2	0.6	3.7**
G 6	3	81392	1.5	2.3	17.6	31.7	208.8**	68.6**	228.6**	0.9	0.1	0.8	4.5**
G 7	3	1257388	0.8	0.2	690.3**	359.3**	55.9	40.6	93.9	0.4	0.3	0.9	0.8
G 8	3	100237	1.3	0.6	345.9*	3.9	35.9	43.6	35.3	0.1	0.4	2.5	0.3
G 9	3	530988	2.2	6.2**	109.3	100.9	53.9	24.1	742.7**	4.8**	0.7*	2.2	7.1**
G 10	3	170493	1.0	1.9	97.1	63.6	39.9	35.1	385.9	0.3	2.1**	5.3	0.2
G 11	3	533380	0.7	1.7	78.5	89.3	58.6	26.9	79.2	0.1	0.3	3.3	0.5
G 12	3	183610	0.5	0.4	43.3	146.7*	1.8	1.3	21.7	0.1	0.3	77.7*	0.3
G 13	3	799081	0.7	0.6	61.3	7.4	15.3	5.9	22.9	0.3	0.3	3.9	1.7
G 14	3	1216806	0.8	1.3	280.3	155.8*	86.6*	40.3	18.7	0.2	0.9**	1.7	0.2
G 15	3	567809	0.1	0.2	164.7	57.1	176.4**	124.6**	14.9	0.8	0.6	4.9	0.2
G 88	3	2232844**	3.7*	5.8**	165.4	334.7**	2.3	6.4	35.0	0.9	0.1	47.0	0.1
G 89	3	4586361**	1.9	0.9	220.9	129.8	46.8	5.9	38.6	3.0**	0.9**	0.8	0.7
G 90	3	405200	3.2*	1.7	222.2	197.4**	452.6**	251.5**	75.9	1.0	0.1	63.3	2.5*
G 91	3	3252121**	1.4	0.3	84.4	44.6	66.9	38.2	295.9	0.1	0.4	3.7	0.6
G 92	3	1553435*	0.1	0.1	59.7	55.8	161.2**	156.7**	214.2	0.2	0.6*	4.4	0.3
G 93	3	370746	1.9	0.5	650.4**	46.7	112.8**	77.4**	114.5	0.3	0.3	2.6	0.2
G 94	3	4136437**	0.9	4.2*	206.0	65.9	56.4	31.6	155.4	0.9	0.1	6.1	0.8
G 95	3	373089	1.3	0.5	111.9	31.9	12.7	10.9	24.5	0.4	0.4	2.3	0.1
G 96	3	3108093**	1.4	1.5	393.6*	238.8**	2.2	2.1	241.2	2.4*	0.3	0.8	1.6
G 97	3	1394357	5.1**	4.7*	99.3	145.1*	75.7	42.6	102.3	4.9**	0.5	3.7	0.2
G 98	3	462386	1.7	2.0	131.2	50.6	38.2	21.5	124.4	1.3	1.0**	2.2	1.2
G 99	3	128293	1.2	2.0	123.9	97.8	64.5	32.6	480.9*	0.2	0.3	3.1	1.6
G 100	3	5027241**	7.1**	7.31**	35.3	28.4	129.6**	95.5**	128.8	0.2	0.1	0.3	1.5
Error conjunto	990	557548	1192.8	1.40	129.9	50.0	31.3	17.9	164.7	0.7	0.2	25.6	0.8
Total	499												

\*, \*\* : Significativo al nivel de 5 y 1 % de probabilidad de error, respectivamente

Cuadro 3. Medias de rendimiento y clasificación basada en los parámetros de estabilidad para variables evaluadas en híbridos tropicales de maíz. Primavera-Verano, 1995.

Trat.	Híbridos	Rend. (kg/ha)	b <sub>i</sub>	Desv. de regresión	Rend.	Clasificación de estabilidad basada en C.										
						Floración		Altura		% sem.		Peso volum.	Peso 50 sem.	Días con polen	Exc. esp.	% grano
						Masc.	Fem.	Pl.	Mz.	Gde.	Med.					
71	(6 X 7)	5,765	1.17	1553448.3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
43	(3 X 6)	5,762	1.02	959049.9*	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1
60	(7 X 4)	5,740	1.41	657232.7	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	(1 X 7)	5,659	1.24	170975.1	1	5	5	1	5	1	1	1	1	2	1	5
47	(4 X 3)	5,656	0.91	686610.1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1
50	(7 X 3)	5,599	0.86	-219350.2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
58	(5 X 4)	5,594	0.17	-301808.0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	(2 X 4)	5,593	0.54	-129561.0	1	1	1	1	1	1	3	1	1	5	1	1
55	(4 X 7)	5,532	1.23	-414675.7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
49	(6 X 3)	5,498	0.88	1111574.8*	2	2	2	1	1	1	1	3	1	1	1	5
61	(8 X 4)	5,498	-0.27*	-322772.0	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
63	(5 X 6)	5,492	0.85	-191776.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
98	H-513 testigo	5,458	0.24	-95161.9	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
23	(6 X 1)	5,363	0.64	275256.4	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	5
12	(1 X 3)	5,333	1.39	-438616.9	1	1	1	1	2	3	1	1	5	1	2	1
74	(7 X 6)	5,278	0.61	716538.6	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1
93	Tornado testigo	4,939	1.23	-186801.9	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1
99	P-3288 testigo	4,885	1.60	-49502.2	5	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
100	H-430 testigo	4,809	0.31	387977.4*	2	2	2	1	1	2	2	2	3	1	1	1
96	H-515 testigo	4,603	1.39	1696749.1**	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
82	(9 x 8)	4,360	1.31	-89578.9	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	1
30	(2 x 6)	4,348	1.69	-71357.8	1	1	1	1	1	1	2	5	1	1	1	1
81	(8 x 9)	4,300	0.29	684981.9	1	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	(9 x 1)	4,250	1.38	49336.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5
46	(3 x 9)	4,224	1.28	-2014.8	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	1
94	Exp.13 testigo	4,205	0.80	3284695.3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
76	(9 x 6)	4,178	0.95	202431.9	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1
33	(2 x 9)	4,165	1.95	898265.5	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
20	(3 x 1)	4,022	0.36	243374.4	1	1	1	1	1	5	1	1	5	1	1	1
52	(9 x 3)	3,978	1.39	233294.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
91	VS-536 testigo	3,964	1.05	105583.0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	(9 x 2)	3,924	2.16	676175.2	1	3	3	1	1	3	1	5	1	1	1	1
92	Huracán testigo	3,890	0.23	995887.2*	2	1	1	5	1	2	2	1	1	2	1	1
97	H-512 testigo	3,691	0.98	836809.1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1

Se presentan los híbridos que exhibieron mayor y menor rendimiento del total evaluados.

C : Clasificación basada en los parámetros de estabilidad y situaciones posibles

\*, \*\* : Significativo al nivel de 5 y 1% de probabilidad de error, respectivamente. (Carballo, 1970)

numéricamente en rendimiento al mejor testigo (H-513).

En el caso de la cruce 3x6 y su recíproca 6x3, así como las líneas progenitoras, resultaron inestables; sus parámetros de estabilidad fueron  $b_1 < 0$  y  $S_2 d_1 = 0$ , o sea, que tuvieron mejor respuesta en ambientes desfavorables y fueron consistentes; en cambio, los híbridos estables estuvieron conformados en su mayoría por líneas estables, o bien por una línea estable y otra no estable. Hasta este punto pudiera aceptarse una parte de la segunda hipótesis, donde se indica que la estabilidad de las cruces simples está relacionada con la de sus líneas.

Las cruces simples 11(1x2), 19(2x1), 41(3x4), 47(4x3), 58(5x4), 70(9x5) y 80(9x7) mostraron estabilidad para el total de las variables. Si se considera rendimiento y estabilidad, destacan los híbridos 47(4x3) y 58(5x4) con 5,656 kg/ha y 5,594 kg/ha, respectivamente. La combinación 47(4x3) participa como progenitor del híbrido trilineal H-515, liberado recientemente (Gómez y Cañedo, 1996), confirmándose su capacidad de rendimiento con respecto a variedades comerciales.

De las cruces simples 71(6x7), 43(3x6), 60(7x4), con rendimientos de 5,765 kg/ha, 5,762 kg/ha y 5,740 kg/ha, respectivamente, ubicadas en los tres primeros lugares, dos fueron estables y una no estable; asimismo, de los 10 primeros lugares en producción, ocho cruces simples se definieron como estables para la mayoría de variables agronómicas, aún en aquellos casos donde no hubo estabilidad para rendimiento. Lo anterior quiere decir que estos factores son independientes, es decir, que la estabilidad para rendimiento no depende de la estabilidad para otras variables (Cuadro 3). Sin embargo, los fitomejoradores pudieran seleccionar materiales con cierto tipo de respuesta tomando en consideración el agroecosistema y las características del ambiente donde se utilizarían. Así, los parámetros de estabilidad permiten definir los materiales adecuados para cada ambiente de producción, debiendo aprovecharse el análisis por localidad, lo que también se puede establecer haciendo uso

de los rendimientos ajustados de acuerdo con el modelo de Eberhart y Russell.

Generalmente para la producción de semilla se eligen los mejores ambientes (riego y buena fertilidad); sin embargo, aunado a ello es conveniente conocer el grado de estabilidad y productividad de las líneas en relación con la producción de semilla. En el Cuadro 4 se presentan los cuadrados medios y la significancia de los factores de variación en la estimación de los parámetros de estabilidad. Para la variable rendimiento se observó significancia en genotipos, así como en la interacción genotipos x ambientes (lineal); esto indica que existe una respuesta diferencial de las líneas a los ambientes, lo que coincide con los resultados encontrados por Rowe y Andrew (1964).

En el resto de las variables, a excepción de días con polen, se detectaron diferencias altamente significativas para genotipos; en cambio, para la interacción genotipos x ambientes (lineal) hubo significancia estadística al 0.01 de probabilidad para peso volumétrico. Las variables floración masculina, porcentaje de semilla mediana y peso de 50 semillas sólo mostraron significancia al 0.05 de probabilidad (Cuadro 4).

De las nueve líneas, cuatro exhibieron rendimientos superiores a 2,300 kg/ha de semilla (Cuadro 5), que es el rendimiento mínimo de una línea endogámica de maíz para aprovecharse económicamente como progenitor femenino en híbridos de cruce simple (López-Pereira y Espinosa, 1993). Sin embargo, como se señaló, en las perspectivas de uso de los híbridos de cruce simple pudieran aprovecharse las otras líneas, ya que su rendimiento es aceptable, más aún si intervienen como progenitores masculinos. Otro aspecto importante es el rendimiento de la cruce simple, al grado que pudiera rebasar y compensar un precio mayor de la semilla. Los niveles de producción de semilla definidos para este estudio indican que se ha avanzado en el desarrollo de líneas con buena productividad, lo que confirma los resultados obtenidos por Sierra *et al.* (1992) para otros grupos de líneas tropicales.

**Cuadro 4. Cuadrados medios de los análisis de varianza en la estimación de los parámetros de estabilidad para diversas variables evaluadas en líneas tropicales de maíz. Primavera-Verano, 1995.**

Fuente de variación	G.L.	Rend. grano	Días a floración		Altura		% de semilla		Peso volum.	Peso 50 semillas	Días con polen
			Masc.	Fem.	Planta	Mazorca	Grande	Mediana			
Genotipos (G)	9	2677892.5**	21.4**	23.7**	1998.9**	528.4**	1059.9**	337.1**	1024.8**	12.2**	0.85
Residual	40										
Ambientes (A)	4										
G x A (Lineal)	9	729642.9*	3.6*	4.4	97.7	55.1	109.5	82.1*	656.4**	1.5*	0.20
Desv. pond.	30	163170.0	1.3	2.3	134.5	49.4	77.0	36.3	205.4	0.6	0.40
G 1	3	44131.9	2.9	2.8	106.1	29.3	68.2	36.0	114.3	0.2	0.08
G 2	3	51649.1	1.0	4.0*	78.1	5.5	118.4	21.1	77.2	0.1	0.04
G 3	3	129892.2	2.3	3.2	35.3	10.1	87.2	37.9	149.0	0.1	0.37
G 4	3	210102.8	0.3	0.6	107.5	16.9	53.3	33.7	27.8	0.1	0.59*
G 5	3	366681.1	0.7	0.9	61.4	42.0	64.4	16.8	419.2	1.2	0.09
G 6	3	29620.6	2.1	2.8	12.4	10.6	219.9	54.7	73.6	1.3	0.71*
G 7	3	136246.3	0.8	0.3	441.0**	203.9**	45.9	43.9	439.4	0.4	0.42
G 8	3	151861.9	1.1	0.7	151.0	3.4	34.0	43.1	150.9	0.1	0.13
G 9	3	212267.0	2.1	5.5*	117.7	65.9	56.0	9.4	490.8	2.8*	0.04
G 10	3	299246.9	0.4	1.6	234.6	106.3	22.6	66.2	111.9	0.2	1.51**
Error conjunto	99	153318.2	1.2	1.4	103.1	43.9	102.0	44.8	288.2	0.9	0.21
Total	49										

\*, \*\*: Significativo al nivel de 5 y 1% de probabilidad de error, respectivamente.

En Iguala, Gro., las líneas 7, 1 y 2 sobresalieron por sus altos rendimientos, con 3,745, 3,640 y 3,604 kg/ha, respectivamente (Cuadro 5). Lo anterior indica la posibilidad de emplear dichas líneas en programas de producción de semilla, y además evidencia el avance que se ha logrado en Iguala, Gro. en la obtención de líneas tolerantes a la endogamia. Este resultado es contradictorio a lo que señalan Vasal *et al.* (1997), en el sentido de que los materiales tropicales son altamente susceptibles a la endogamia.

Los valores de los parámetros de estabilidad de las líneas resultaron diferentes cuando éstos se calcularon considerando híbridos, testigos y líneas, lo cual es explicable ya que los valores dependen en buena medida del conjunto y tipo de materiales que se evalúan, así como de las combinaciones de materiales y ambientes. Estos resultados coinciden con los de Espinosa (1985), en los que se han separado en el análisis a híbridos y líneas progenitoras.

Las líneas 1 (Across 7522-S6) y 7 (STD-C2-HC43-S5-1) se clasificaron como genotipos con "buena respuesta en ambientes favorables y

consistentes", con valores de  $b_1 > 1$  y  $S_2d_1 = 0$ . Lo anterior representa ventajas en la producción de semilla, para lo que se considera como requisito principal la utilización de áreas con riego y un suministro apropiado de fertilizantes (Cuadro 5).

Las ocho líneas restantes se clasificaron como estables, ya que sus coeficientes de regresión respectivos fueron estadísticamente iguales a 1, y las desviaciones de regresión iguales a 0 (Cuadro 5). En el mismo grupo la línea 2 (Pob22 TSR-S<sub>0</sub>-2) presentó el rendimiento medio ajustado más alto (3,058 kg/ha), por lo que se define como una línea sobresaliente, ya que si bien se ha señalado en el caso de producción de semilla que la estabilidad no es una limitante, la identificación de genotipos con rendimiento alto es de utilidad, sobre todo en materiales con una interacción menor con el ambiente (Rowe y Andrew, 1964).

Por los resultados obtenidos en la localidad de Santiago Ixcuintla, Nay. se puede decir que éste es un ambiente que dificulta la producción de semilla; sin embargo, convendría establecer

**Cuadro 5. Medias de rendimiento, valores medios ajustados y clasificación basada en los parámetros de estabilidad para otras variables evaluadas en líneas tropicales de maíz. Primavera-Verano, 1995.**

Trat.	Genotipo	Rend. medio (kg/ha)	b <sub>i</sub>	Desv. reg.	C	Rendimiento medio ajustado por localidad (kg/ha)				
						Iguala	Ocozo- cuahtla	Tecomán	Apatzingán	S. Ixcuintla
1	Across 7522-S6	2,756	1.89*	-109186.3	5	3,640	4,097	2,266	2,546	724
2	Pob22 TSR-S6-2	3,058	1.25	-101669.0	1	3,604	3,906	2,694	2,879	1,674
3	D-471	1,326	0.62	-23425.9	1	1,603	1,752	1,153	1,245	648
4	TTC-C2-HC63	1,465	0.69	56784.7	1	1,787	1,954	1,286	1,388	724
5	Pob43-HC113-1	2,430	0.90	213362.9	1	2,821	3,039	2,166	2,299	1,431
6	T37	1,081	0.77	-123697.5	1	1,415	1,601	856	970	229
7	STD-C2-HC43-S5-1	2,767	2.08*	-17071.9	5	3,745	4,247	2,232	2,540	533
8	TTC-C1-HC17	1,929	1.21	-1456.2	1	2,481	2,773	1,603	1,782	618
9	Pool24-C20-MH366	1,249	0.22	58948.9	1	1,323	1,378	1,160	1,193	976
10	ST-549	1,228	0.36	145928.8	1	1,378	1,466	1,114	1,168	817

**Clasificación de estabilidad con base en valores de b<sub>i</sub> y desv. de regresión C**

Trat.	Genotipo	Floración		Altura		% Semilla		Peso volum.	Peso 50 sem.	Días con polen	% grano
		Masc.	Fem.	Planta	Mazorca	Grande	Mediana				
1	Across 7522-S6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Pob22 TSR-S6-2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	D-471	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1
4	TTC-C2-HC63	1	1	1	1	1	1	5	5	2	1
5	Pob43-HC113-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	T37	1	1	2	1	1	1	5	1	2	1
7	STD-C2-HC43-S5-1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
8	TTC-C1-HC17	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1
9	Pool24-C20-MH366	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1
10	ST-549	5	5	1	1	5	1	1	1	2	2

C: Clasificación con base en parámetros de estabilidad y situaciones posibles (Carballo,1970).

ensayos durante el ciclo otoño-invierno, para observar la respuesta de las líneas en este ciclo de producción; en cambio, Iguala, Gro. y Ocozocuahtla, Chis. son ambientes favorables. En todo caso, para precisar la información sería conveniente establecer pruebas similares durante varios años.

En relación con las otras variables evaluadas, los estimadores de los parámetros de estabilidad sirven como elementos auxiliares para diseñar planes de producción de semilla. Por ejemplo, la línea 2 (Pob22 TSR-S<sub>6</sub>-2) expresó un rendimiento medio de 3,058 kg/ha, pero además mostró estabilidad para la mayoría de las características, en particular para porcentaje de semilla grande y mediana, peso volumétrico,

peso de 50 semillas y floración masculina. En el caso de floración femenina esta línea tuvo buena respuesta en todos los ambientes, pero fue inconsistente, razón por la que se sugiere tener cuidado para lograr coincidencia en floración con el progenitor masculino al producir semilla de híbridos.

Un ejemplo de la utilidad de la información de manera integral podría ser el híbrido simple formado por las líneas 6 y 7, que fue el que alcanzó el mayor rendimiento (5,765 kg/ha). Ambas líneas presentaron estabilidad para las variables floración masculina y femenina, porcentaje de semilla grande y mediana, y peso de 50 semillas, lo cual da cierta confianza para la producción de semilla; sin embargo, como se

señaló, la línea 7 responde a condiciones favorables pero es inconsistente.

## CONCLUSIONES

1. El rendimiento medio de semilla de las líneas varió entre 1,081 kg/ha (T37) y 3,058 kg/ha (Pob22 TSR-S<sub>5</sub>-2).
2. De las nueve líneas, cuatro produjeron rendimientos superiores a 2,300 kg/ha, por lo cual es posible utilizarlas con ventajas en programas de producción de semillas de híbridos simples.
3. Con base en los rendimientos de semilla obtenidos en las distintas localidades de evaluación, se concluye que para lograr una producción de semilla óptima es importante aprovechar los ambientes favorables.
4. Las líneas 7 y 4, de buen rendimiento *per se*, se clasificaron como estables, y además generaron cruzamientos que se expresaron también como estables.
5. El híbrido simple 6x7 exhibió la mayor productividad media (5,765 kg/ha), y se clasificó como estable.

## LITERATURA CITADA

- Carballo C., A. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y de la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia*. 5:129-146.
- Eberhart, S.A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Espinosa C., A. 1985. Adaptabilidad, productividad y calidad de líneas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.). Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 174 p.
- Gómez M., N.O. y J. Cañedo C. 1996. H-515, maíz híbrido para las regiones cálido subhúmedas de buen potencial productivo. Iguala, Gro. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Iguala. 16 p. (Folleto Técnico Núm. 7).
- Kang, M.S. 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences to growers. *Agron. J.* 85: 754-757.
- López-Pereira, M.A. y A. Espinosa C. 1993. Análisis económico de la producción y uso de semilla mejorada de maíz: El caso de México. *In: Resúmenes de la XXXIX Reunión Anual del PCCMCA*. Guatemala, Guatemala. 69. p.
- López-Pereira, M.A. and M. P. Filippello. 1995. Emerging roles of the public and private sectors of maize seed industries in the developing world. (Working Paper 95-01). México, D.F. CIMMYT, Economic Program. 55 p.
- Mastache L., A. y A. Martínez. G. 1996. Un algoritmo para obtener los indicadores de estabilidad de Eberhart y Russell. *Comunicaciones en Estadística y Cómputo* (Aceptado).
- Márquez S., F. 1992. La interacción genético-ambiental en genotecnía vegetal. Revisión. *In: Memoria del Simposio Interacción Genotipo-Ambiente en Genotecnía Vegetal*. Guadalajara, Jal. Sociedad Mexicana de Fitogenética. p. 1-25.
- Márquez S., F. y H. S. Córdova O. 1976. Efecto del número de líneas endogámicas sobre el comportamiento de sintéticos de maíz. II. Parámetros de estabilidad. *Informativo del Maíz*. 2: 15-23.
- Molina G., J. D. 1992. Respuesta lineal y no lineal de variedades a los efectos del ambiente y su importancia en la genotecnía del maíz. *In: Memoria del Simposio Interacción Genotipo-Ambiente en Genotecnía Vegetal*. Guadalajara, Jal. Sociedad Mexicana de Fitogenética. p. 229-238.
- Rowe, P.R. and R.H. Andrew. 1964. Phenotypic stability for a systematic series of corn genotypes. *Crop Sci.* 4:562-567.
- Sierra M., M., F. A. Rodríguez M., R. A. Castillo G. y F. Márquez S. 1992. La aplicación de los parámetros de estabilidad en el mejoramiento de maíz en la región sur de México. *In: Memoria del Simposio Interacción Genotipo-Ambiente en Genotecnía Vegetal*. Guadalajara, Jal. Sociedad Mexicana de Fitogenética. p. 239-260.
- Sierra M., M., F. A. Rodríguez M., R.E. Preciado O., R.A. Castillo G., J. Ortíz C., F. Márquez S., y O. H. Tosquy V. 1993. H-512, híbrido de maíz de cruza doble para el trópico húmedo de México. Veracruz, Ver. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla. 16 p. (Folleto Técnico Núm. 3).
- Vasal, S. K., F.S. Vicente, S. McLean, K. Ramanujam, M. Barandiarán, M. Ramírez y G. Avila J. 1997. Retos para alcanzar el desarrollo de híbridos simples de maíz en los países en vías de desarrollo. *In: Síntesis de Resultados Experimentales 1993-1995*. Programa Regional de Maíz. 5: 56-58.