

PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE SEMILLAS EN LINEAS E HIBRIDOS DE MAIZ (*Zea mays* L.) PARA LA ZONA DE TRANSICION "EL BAJIO-VALLES ALTOS" DE MEXICO ¹

Alejandro Espinosa Calderón y Aquiles Carballo Carballo²

RESUMEN

Varios caracteres importantes en producción de semillas de maíz fueron analizados a partir de cuatro híbridos experimentales de tres líneas y un testigo de cruz doble, producidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), además de cada uno de sus progenitores, incluyendo líneas y cruza simples. Se compararon en siete ambientes que muestrearon los Valles Altos, El Bajío y la zona de transición entre ambas regiones (1700-2200 msnm). De los resultados obtenidos se concluyó lo siguiente: el tamaño de semilla debe combinarse con el rendimiento para definir la máxima productividad comercial de semilla de líneas y cruza simples progenitoras; la evaluación de calidad de semillas permitió diferenciar y sugerir los mejores progenitores para la formación de híbridos, así como los ambientes más adecuados para su producción; cada genotipo debe multiplicarse en su ambiente óptimo considerando rendimiento, tamaño de semilla, sanidad, y el nivel de coincidencia a floración para la producción de cruza simples y de cruza dobles.

SUMMARY

Several important characters for corn seed production were analyzed using three four-way experimental hybrids and a double-cross hybrid, produced by the National Institute of Agricultural Research (INIA). Component inbreds and single crosses were also included. All these materials were grown in 7 environments located in the regions of Valles Altos, El Bajío and the transition zone between the first two regions (1700 to 2200 m.a.s.l.). From the obtained results it was concluded that: both seed size and yield should be considered together to assess the maximum productivity of commercial seed in inbreds and single crosses; evaluation of seed quality permitted the identification of the best parents and their most appropriate environments for seed production; each genotype should be seed-increased in its optimum environment as determined by yield, seed size and healthiness, as well as the flowering time when producing single or double crosses.

¹ Este trabajo forma parte de la tesis con que el autor principal optó al grado de Maestro en Ciencias, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mex.

² Respectivamente Estudiante y Profesor Investigador, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

INTRODUCCION

El uso de híbridos de maíz de cruza doble se extendió en México como una alternativa para incrementar la producción; sin embargo, el mantenimiento de la calidad genética original de las variedades a través del proceso de producción ha sido difícil, limitando en buena parte la adopción de los híbridos en forma extensiva. En algunos el problema se ha agudizado, como ha ocurrido con el H-133, híbrido liberado para la zona de transición, El Bajío-Valles Altos; este material inicialmente presentó ventajas en la producción comercial, pero debido a los diferentes orígenes de sus progenitores, hay serios problemas para la producción de su semilla, lo cual finalmente ha conducido a una baja calidad genética con el consecuente abatimiento de los rendimientos originales. Este problema se intentó solucionar con la reposición periódica de semilla original; a pesar de ello, persistieron los problemas y, como alternativa, fueron formados varios híbridos de tres líneas a partir de combinaciones de líneas de El Bajío y de Valles Altos, destacando algunos a nivel experimental y semicomercial. Adicionalmente se ha considerado la conveniencia de que al liberar un nuevo híbrido, éste debe ser acompañado de su propio paquete de información tecnológica para la obtención de semilla, en sus diferentes categorías, controles y ambientes más favorables. En este trabajo, al evaluar cuatro híbridos experimentales y cada uno de sus progenitores, se plantearon como objetivos:

1. Determinar el potencial productivo y de calidad de semilla de las líneas y cruzas simples de cuatro híbridos experimentales de maíz.
2. Definir los ambientes adecuados para el mantenimiento de las líneas progenitoras y para la producción de los híbridos de cruza simple y de tres líneas, que permitan conservar su calidad genética y lograr niveles óptimos en el rendimiento y en la calidad física y biológica de la semilla.

REVISION DE LITERATURA

La producción de semillas de híbridos de maíz se enfrenta al problema que ocasiona la endogamia de las líneas, por la depresión del vigor y del rendimiento; problema que se acentúa cuando los progenitores provienen de ambientes muy contrastantes (Barrientos, 1962). De tal forma que es necesario definir los ambientes más adecuados para la producción de las líneas, donde éstas expresen su máximo rendimiento.

Jenkins (1978) menciona que el bajo vigor de las líneas aunado a un bajo rendimiento de grano, fueron algunos problemas que retrasaron el uso práctico de la hibridación. Por otro lado, el alto costo de la semilla de cruza simple fue determinante para que el maíz híbrido no fuese difundido después de los escritos de Shull, considerándose entonces a la cruza doble como una alternativa más económica que ayudaría a resolver los problemas de producción de semilla.

En Estados Unidos se cultivan ampliamente cruza simples y de tres líneas, debido a su gran uniformidad, mayores rendimientos y mejor resistencia al acame (Jugenheimer, 1958; Jugenheimer, 1981). No obstante que la producción de semilla de cruza simples es más cara por unidad de área que la de cruza doble, esta desventaja puede ser compensada con respecto al mantenimiento de semilla para las cruza simples ya que sólo son dos orígenes, en comparación con los seis involucrados en la cruza doble; asimismo, se puede tomar como ventaja importante la facilidad y simplicidad de estudio, prueba e identificación de las mejores cruza simples.

Generalmente la semilla de cruza de tres líneas, es menos costosa de producir que la de cruza simples, aunque más cara que la de cruza dobles; tienden a ser más uniformes y a tener un rendimiento ligeramente superior que el de las cruza dobles (Jugenheimer, 1981).

Muñoz et al. (1973) mencionan que en la formación de cruza Bajío x Valles Altos, fue empleado como germoplasma de la primera región, un grupo de líneas derivadas del híbrido de cruza doble H-3516 conocido comercialmente como H-353. El germoplasma de Valles Altos comprendió dos grupos de cruza simples sobresalientes, las primeras formadas con líneas del programa de riego derivadas por el método de mejoramiento convergente modificado y desarrollado por Palacios de la Rosa, según Aguado et al. (1966); el segundo grupo lo integraron cruza simples formadas con las líneas originales. Las líneas obtenidas del mejoramiento convergente presentan un vigor muy superior respecto a las originales, lo cual facilita y economiza la producción de semilla.

El ambiente es de primordial importancia y debe tomarse en cuenta que los genotipos se comportan mejor si al hacer selección ésta se efectúa en el ambiente en el cual las líneas mejoradas están adecuadas a vivir o en ambientes favorables para la expresión de los caracteres deseados (Falconer, 1952).

Existen dos criterios opuestos en cuanto a la clase de ambiente en que deba

hacerse la selección y evaluación de las líneas. Uno propone la evaluación bajo condiciones sumamente favorables, donde sean capaces de expresar su máximo potencial, o sea, en un ambiente de alto índice de productividad, en este caso se da como supuesto que los genotipos superiores en este ambiente serán iguales o superiores a otros genotipos en ambientes con condiciones menos favorables (Russell, 1973; Márquez, 1974). El otro criterio sostiene que la selección debe hacerse bajo las condiciones que se presentan normalmente, y que serán generalmente subóptimas o restrictivas, pues éstas son las condiciones en que se cultivarán posteriormente y de esta forma mostrarán un comportamiento promedio mejor que las hechas en ambientes favorables (López y Carballo, 1984).

Es necesario, para definir ambientes restrictivos y no restrictivos, determinar previamente el rango de adaptación de las variedades (López, 1978); para lo cual es conveniente considerar un número adecuado de sitios que representen la gama de condiciones ambientales (Goldsworthy, 1974).

En líneas y variedades de maíz se ha observado que algunos caracteres agronómicos como: altura de planta y de mazorca, días a floración, rendimiento, índice de cosecha, etc., son afectados por la densidad de población (Hurtado, 1977; López y Carballo, 1984).

En algunos programas de mejoramiento genético de maíz se emplean localidades de invierno con condiciones cálido-secas para aumentar semilla o hacer recombinación genética e inclusive selección. Sin embargo, se ha observado que esta práctica no resulta conveniente, pues provoca cambios importantes y sesgos en la morfología y fisiología de las líneas y variedades, y en general selección gamética que desvía el comportamiento, calidad y rendimiento final (Cruz, 1984).

La asincronía en la floración de los progenitores, cuando no es excesiva, puede resolverse mediante la aplicación de prácticas de cultivo como riego, fertilización o densidad de población, a fin de adelantar o retrasar el ciclo a floración de alguno de los progenitores, ya que los estigmas en maíz son receptivos por un lapso de 10 a 14 días y cada planta puede liberar polen por una semana (Evans, 1983).

El nivel más alto de calidad se obtiene en la madurez fisiológica; después la calidad decrece en forma paulatina. Con el manejo adecuado se debe procurar mantener la calidad lograda hasta ese punto (Potts, 1982). Los factores que determinan la calidad de la semilla incluyen: la germinación, la pureza y la sanidad.

Actualmente, se ha incluido el vigor como un cuarto factor, importante en el contexto de rendimiento de campo, y hasta recientemente ha sido reconocido como un factor definitivo en la calidad (Perry, 1980).

Johnson y Wax (1981) señalan que la calidad de las semillas, la constitución genética y el medio ambiente interactúan para afectar la emergencia y el rendimiento, así como otras características agronómicas. Las semillas de maíz de baja calidad (50% germinación) son más susceptibles a daños que las semillas de alta calidad representada por niveles de 90% de germinación.

El vigor de la semilla es el factor más importante para la calidad ya que está relacionado con una germinación más rápida y uniforme, y plántulas más vigorosas y competitivas; esperándose que esta característica se refleje en rendimiento (Delouche y Cadwell, 1962).

Copeland (1976) se refiere a la importancia de la clasificación y procesamiento de semillas debido a que estas etapas permiten asegurar que las semillas elegidas sean uniformes en forma y tamaño. El tamaño de la semilla puede variar por efecto de factores como: diferente constitución genética entre plantas, competencia interplantas por luz, agua, nutrientes, y por efecto de enfermedades y de la posición de la semilla en la inflorescencia.

El tamaño de semilla es determinante en el mayor consumo y producción de materia seca (vigor); se considera que es mejor emplear líneas con mayor tamaño de semillas como hembras, con lo cual aseguran plántulas más vigorosas (Villaseñor, 1984).

MATERIALES Y METODOS

Se evaluaron 25 genotipos: cuatro híbridos experimentales de tres líneas (H-143E, H-147E, H-149E y H-151E) formados por líneas de Valles Altos y de El Bajío; dos testigos, de los cuales uno fue el híbrido H-133, y el otro un criollo ó bien un maíz mejorado adaptado a cada ambiente; y los progenitores (cruzas simples y líneas) de los cinco híbridos.

Siete experimentos se establecieron bajo condiciones de riego, en las localidades de Chapingo, Méx., Roque, Gto., El Mexe, Hgo., Valle de Guadiana, Dgo. y Alvaro Obregón, Mich., sitios que representan las regiones de Valles Altos, El Bajío y la zona de transición entre ambas regiones. La densidad de población para cada localidad fue la recomendada para siembras comerciales. En Chapingo, Méx.

y en el Mexe, Hgo., se establecieron dos experimentos en cada localidad con diferentes densidades de población. Como parcela experimental se emplearon 4 surcos de 5 m de largo en 6 experimentos y sólo en Valle de Guadiana se establecieron dos surcos de 5 m; en todos los casos la parcela útil correspondió a los dos surcos centrales.

Los 25 tratamientos fueron evaluados como un ensayo uniforme para los siete ambientes, bajo un diseño de látice triple. La comparación entre medias de las variables en estudio se efectuó mediante la prueba de Tukey ($P=0.05$).

Las variables analizadas estadísticamente fueron: rendimiento de grano en kg/ha al 14% de humedad, altura de planta, altura de mazorca, sanidad, floración masculina y floración femenina. Adicionalmente, para evaluar la calidad de semilla, en los experimentos de Chapingo, El Mexe y Roque, se analizaron: peso hectolítrico; peso de 200 semillas; porcentaje de germinación; tamaño y forma de semilla; productividad integrada y coincidencia de floraciones (masculina y femenina).

Para el análisis de calidad se obtuvieron muestras de semilla de cada repetición, las que fueron mezcladas para borrar el efecto de repeticiones pasando dos veces la semilla por un divisor tipo Boerner para homogeneizarla y obtener muestras representativas. La semilla se clasificó por tamaño de acuerdo a la separación que se obtiene en el beneficio por la Productora Nacional de Semillas.

RESULTADOS

En los siete experimentos se obtuvieron valores de F altamente significativos para rendimiento. Los coeficientes de variación (C.V.) oscilaron entre 11.3% y 26.2%, con una media de 16.5%.

En el Cuadro 1 se presentan los rendimientos de grano de los 25 tratamientos a través de los siete ambientes de evaluación; se indican asimismo los valores de la D.M.S.H. al 0.05 de probabilidad.

En todos los ensayos los mejores rendimientos fueron obtenidos por los híbridos experimentales de tres líneas; sin embargo en los ambientes 2 y 7 destacaron las cruza simples: (CH-11-148-2-2-1R-12A x Hgo. 4-5-4-2-1R-9) y (H-353-245-6-10 x H-353-363-7-2) de Valles Altos y El Bajío, respectivamente, ubicándose en el primer grupo de significancia junto a los híbridos experimentales.

Cuadro 1. Rendimiento de grano de líneas e híbridos de maíz evaluados en siete ambientes.

TRAT.	GENEALOGIA	ORIGEN	DESCRIPCION	Ambiente 1 Chapingo Rend. (kg/ha)	Ambiente 2 Chapingo Rend. (kg/ha)	Ambiente 3 El Mexe Rend. (kg/ha)	Ambiente 4 El Mexe Rend. (kg/ha)
1	M-149E	V.A.	híbrido de tres líneas	11 463*	12 390*	15 252*	14 191*
2	M-151E	V.A.	híbrido de tres líneas	9 777*	10 566*	14 275*	13 549*
3	M-143E	V.A.	híbrido de tres líneas	9 532*	11 552*	14 643*	13 745*
4	M-147E	V.A.	híbrido de tres líneas	11 795*	12 133*	15 482*	12 397*
5	H-133	V.A.	híbrido de cruza doble	9 670*	9 517*	13 421*	11 867*
6	CH-11-148-2-2-1R-3B	V.A.	Q de Q (H-149E)	4 539	3 898	3 615	2 618
7	Hgo. 4-5-4-2-1R-27	V.A.	Q de Q (H-149E)	6 142	5 516	5 852	4 620
8	H-353-245-2-4	B	Q (H-149E)	3 394	3 385	4 865	3 063
9	CH-11-148-2-2-1R-12A	V.A.	Q de Q (H-151E)	8 094*	8 556	9 144	7 089
10	Hgo. 4-5-4-2-1R-9	V.A.	Q de Q (H-151E)	4 019	4 746	2 349	329
11	H-353-363-1-3	B	Q (H-151E)	933	1 616	1 732	254
12	CH-11-148-2-2-1R-2B	V.A.	Q de Q (H-143E)	5 569	6 174	6 138	5 003
13	Hgo. 4-5-4-2-1R-14	V.A.	Q de Q (H-143E)	5 129	4 786	5 887	4 487
14	VS. 5-146-3-12	B	Q (H-143E)	4 605	4 163	8 506	5 970
15	H-353-245-6-10	B	Q de Q (H-147E)	1 010	1 253	2 557	369
16	H-353-363-7-2	B	Q de Q (H-147E)	357	731	957	78
17	Hgo. 10-3	V.A.	Q de Q (H-147E)	6 155	6 339	7 546	5 698
18	H-3516-14	VA-B	Q de Q (H-133)	2 436	2 214	4 227	2 296
19	H-3516-72	VA-B	Q de Q (H-133)	2 599	2 293	4 598	2 091
20	(línea 6 x línea 7)	V.A.	Q (H-149E)	5 620	8 380	8 309	6 733
21	(línea 9 x línea 10)	V.A.	Q (H-151E)	7 263*	12 630*	11 576	10 215
22	(línea 12 x línea 13)	V.A.	Q (H-143E y H-133)	8 320*	10 022*	11 437	10 182
23	(línea 15 x línea 16)	B	Q (H-147E)	4 495	5 412	6 633	6 458
24	(línea 18 x línea 19)	VA-B	Q (H-133)	3 922	3 741	6 974	4 829
25	Testigo criollo o Mej.			8 891*	11 060*	12 549*	11 336
Media/Ambiente				5 829	6 523	7 941	6 379
D.M.S.H. (0.05)				4 740	2 994	2 791	2 493

V.A.=Valles Altos, B=Bajío., V.A.-B = Líneas de El Bajío pero manejadas en Valles Altos.

* = Primer grupo con igualdad estadística.

Cuadro 1. Continuación...

TRAT.	Ambiente 5 Alvaro O. Rend. (kg/ha)	Ambiente 6 Valle de Guadiana Rend. (kg/ha)	Ambiente 7 Roque Rend. (kg/ha)
1	9 468*	12 014*	8 947*
2	8 121*	12 965*	7 658
3	9 536*	12 850*	9 731*
4	8 839*	12 166*	8 340*
5	8 060*	12 515*	6 860
6	558	3 952	393
7	3 707	7 132	1 258
8	1 720	6 146	5 547
9	3 349	8 176	3 988
10	587	3 611	134
11	1 662	2 973	2 316
12	1 619	6 097	1 728
13	1 710	3 491	1 892
14	5 504	7 046	7 532
15	1 334	3 712	4 044
16	168	673	2 580
17	2 742	5 610	2 589
18	1 893	4 822	4 350
19	2 474	3 595	5 931
20	4 142	7 751	1 860
21	5 764	7 459	4 675
22	4 687	7 560	4 009
23	5 004	9 549*	9 148*
24	3 632	6 604	6 795
25	6 631	7 122	9 412*
Media/Ambiente			
	4 116	7 024	4 868
D.M.S.H. (0.05)			
	2 570	4 063	1 796

V.A.=Valles Altos. B=Bajío, V.A.-B = Líneas de El Bajío pero manejadas en Valles Altos

* = Primer grupo con igualdad estadística.

En los ambientes 1 al 6 los menores rendimientos (78 a 957 kg/ha) fueron producidos por el genotipo 16(H-353-363-7-2), mientras que en el experimento 7 lo fue la línea de Valles Altos Hgo. 4-5-4-2-1R-9 (134 kg/ha). Dentro de las líneas con buen rendimiento destacaron CH-11-148-2-2-1R-12A e Hgo. 10-3 de Valles Altos que produjeron rendimientos hasta de 9144 y 7546 kg/ha, respectivamente; así como VS 5-146-3-12 de El Bajío con 8506 kg/ha, líneas que superaron incluso a cruza simples de Valles Altos y de El Bajío en distintos ambientes. Con algunas excepciones, en general se observa una tendencia de disminución en el rendimiento de los genotipos de Valles Altos conforme el ambiente tiende hacia las condiciones de El Bajío; en forma semejante los genotipos de El Bajío reducen su rendimiento a medida que se acercan a Valles Altos.

Un aspecto interesante que resalta es el caso de las líneas de la cruza simple hembra del H-149E, donde la línea macho Hgo 4-5-4-2-1R-27 (tratamiento 7) muestra consistentemente, rendimientos muy superiores a la línea hembra en todos los ambientes.

Coincidencia en floración

Los días a floración masculina y femenina se presentan en el Cuadro 2, para cada una de las líneas y cruza simples que integran los híbridos experimentales y el H-133, en el orden que se acostumbra efectuar la cruza directa; asimismo, se indica la diferencia en días para coincidencia. Es notorio para la generalidad de los genotipos, que en menor o mayor grado existen variaciones en días para alcanzar la floración femenina y masculina dependiendo del ambiente, ocurriendo diferencias hasta de 33 días como sucedió en el genotipo correspondiente al tratamiento 15.

De acuerdo a los valores de coincidencia, dados en días, pude definirse el lugar con menos problemas para la formación de cruza simples, así como para el híbrido de tres líneas o el híbrido doble. Por ejemplo, el H-149E podría multiplicarse en Chapingo, ya que la floración femenina de la cruza simple hembra tiene un adelanto de 5 días sobre la floración masculina de la línea macho, en tanto que el híbrido H-151E podría obtenerse en Alvaro Obregón, El Mexe y Roque, con adelantos en la floración de la hembra de 0 a 6 días sobre el macho.

El cruzamiento para obtener semilla del H-143E pude realizarse en El Mexe y Chapingo con adelantos en la hembra de 3 a 6 días sobre el macho.

Para el híbrido H-147E se presentaron, en todos los ambientes, adelantos de la floración masculina de la línea macho sobre la cruza simple que interviene como

Cuadro 2. Días a floración masculina (macho) y a floración femenina (hembra) de las líneas y cruza simples progenitoras de híbridos de tres líneas y del híbrido de cruz doble H-133 a través de siete ambientes.

			Chapingo	Chapingo	El Mexe	El Mexe	Alvaro O.	CAEVAG	ROQUE
			1	2	3	4	5	6	7
6	CH-11-148-2-2-1R-3B	F	106 ⁺⁸	106 ⁺⁷	99 ⁺⁶	105 ⁺⁷	102 ⁺⁶	101 ⁺³	86 ⁺³
7	Hgo. 4-5-4-2-1R-27	M	98	99	93	98	96	98	83
9	CH-11-148-2-2-1R-12A	F	103 ⁺⁷	104 ⁺⁶	94 ⁺¹	100 ⁻⁴	97 ⁺¹	98 ⁻⁴	82 ⁻¹⁰
10	Hgo. 4-5-4-2-1R-9	M	96	98	93	104	96	102	92
12	CH-11-148-2-2-1R-2B	F	105 ⁺⁹	104 ⁺⁷	98 ⁺⁷	105 ⁺⁷	103 ⁺⁸	99 ⁻¹	84 ⁺⁴
13	Hgo. 4-5-4-2-1R-14	M	96	97	91	98	95	100	80
15	H-353-245-6-10	F	138 ⁺³³	133 ⁺²⁶	121 ⁺²³	135 ⁺²⁸	115 ⁺¹⁶	118 ⁺⁸	96 ⁺¹⁰
16	H-353-363-7-2	M	105	107	98	107	99	110	86
18	H-3516-14	F	131 ⁺¹⁰	135 ⁺⁹	112 ⁺⁸	124 ⁺¹⁴	110 ⁺⁹	115 ⁺¹	93 ⁺²
19	H-3516-72	M	121	126	104	110	101	114	91
20	(línea 6 x línea 7)	F	112 ⁻⁵	103 ⁻¹⁵	93 ⁻¹²	104 ⁻⁹	97 ⁻⁵	99 ⁻¹¹	82 ⁻¹⁰
8	H-353-245-2-4	M	117	118	105	113	102	110	92
21	(línea 9 x línea 10)	F	105 ⁻⁷	105 ⁻¹⁰	93 ⁻⁶	103 ⁻⁴	97 ⁻⁰	99 ⁻¹⁴	84 ⁻⁶
11	H-353-363-1-3	M	112	115	99	107	97	113	90 ⁻⁸
22	(línea 12 x línea 13)	F	103 ⁻¹²	109 ⁻⁶	93 ⁻⁷	106 ⁻³	92 ⁻⁷	97 ⁻¹⁰	82
14	VS. 5-146-3-12	M	115	115	100	109	99	107	90
23	Línea 15 x línea 16)	F	117 ⁺¹⁹	115 ⁺¹³	103 ⁺¹⁶	109 ⁺¹³	105 ⁺¹²	106 ⁺⁸	88 ⁺⁷
17	Hgo. 10-3	M	98	102	87	96	93	98	81
22	(línea 12 x línea 13)	F	103 ⁻¹¹	109 ⁻¹¹	93 ⁻⁸	106 ⁻⁶	92 ⁻⁸	97 ⁻¹²	82 ⁻⁷
24	(línea 18 x línea 19)	M	114	120	101	110	100	109	89

F = Progenitor que participa como hembra

M = Progenitor que participa como macho

Los valores positivos indican atraso en días, de la floración femenina de la hembra con relación a la floración masculina del macho.

Los valores negativos indican adelanto de la floración femenina de la hembra con relación a la floración masculina del macho.

hembra, siendo el menor adelanto de 7 días en Roque.

Finalmente para el H-133 se observaron valores mínimos de adelanto de la hembra sobre el macho de 6 y 7 días, respectivamente, en El Mexe y en Roque.

Tamaño de Semilla

En la clasificación por tamaño de semilla, expresada en porcentaje en relación al total de cada uno de los genotipos, se detectaron valores muy variables para cada tamaño. En el Cuadro 3 se resumen para cada genotipo los porcentajes máximos para dos tamaños, considerando el ambiente de producción.

Cuadro 3. Porcentajes máximos para dos tamaños de semilla y ambiente de producción de líneas e híbridos de maíz.

Trat.	Genealogía	% Máximo	Tamaño* Sem	Ambiente	% Máximo	Tamaño* Sem	Ambiente
1	H-149E	49.2	BG	1	45.1	PG	3
2	H-151E	68.1	BG	2	39.7	PG	7
3	H-143E	61.3	BG	1	51.2	PG	3
4	H-147E	44.7	BG	2	43.5	PG	4
5	H-133	49.1	BG	2	49.1	PG	4
6	CH-11-148-2-2-1R-3B	46.6	BM	3	59.2	PCH	7
7	Hgo 4-5-4-2-1R-27	36.3	PM	2	66.7	PCH	7
8	H-353-245-2-4	61.1	BG	2	36.0	PG	3
9	CH-11-148-2-2-1R-12A	41.1	BM	2	38.8	PM	3
10	Hgo 4-5-4-2-1R-9	45.8	BG	2	43.4	BM	4
11	H-353-363-1-3	40.2	BG	2	40.9	BM	2
12	CH-11-148-2-2-1R-2B	39.5	PM	3	52.8	PCH	7
13	Hgo 4-5-4-2-1R-14	36.9	BM	2	42.8	PCH	7
14	VS 5-146-3-12	69.0	BG	7	53.9	PG	3
15	H-353-245-6-10	76.4	BG	7	48.3	BM	1
16	H-353-363-7-2	33.0	BG	3	46.2	BM	1
17	Hgo 10-3	35.8	BM	1	40.0	PM	3
18	H-3516-14	27.9	PG	7	42.8	PM	3
19	H-3516-72	47.1	PG	7	52.2	PM	3
20	(línea 6 x línea 7)	33.8	PM	3	63.0	PCH	7
21	(línea 9 x línea 10)	43.0	BG	1	32.5	PM	3
22	(línea 12 x línea 13)	37.4	BM	2	35.5	PM	3
23	(línea 15 x línea 16)	37.2	BG	1	43.1	PG	7
24	(línea 18 x línea 19)	38.3	BG	7	58.5	PG	3
25	Testigo criollo o Mej.	74.1	BG	4	57.9	PG	3

* De acuerdo a las zarandas empleadas:

BG: = bola grande
PG: = plano grande
BM: = bola medio
PM: = plano medio
BCH: = bola chica
PCH: = plano chico

En el Cuadro 4 se presenta la productividad integrada que resulta de multiplicar el rendimiento por hectárea de cada genotipo por el porcentaje de tamaño grande (BG+PG) y medio (BM+PM) de semilla sin considerar la forma, obteniéndose la cantidad real de semilla comercialmente atractiva. En este cuadro se señala entre paréntesis los mejores dos rendimientos para cada genotipo.

Dentro de las líneas de El Bajío sobresalieron VS. 5-146-3-12 (8327 kg/ha), tratamiento 14, en El Mexe, Hgo.; H-3516-72 (5545 kg/ha), tratamiento 19, H-353-245-2-4 (5181 kg/ha), tratamiento 8, en Roque, Gto. De las cruza simples de Valles Altos la mejor fue la hembra del H-151E, tratamiento 21, que produjo 11,367 kg/ha en Chapingo; de El Bajío sobresalió por tamaño de semilla y productividad la hembra del H-147E (tratamiento 23) que produjo 8838 kg/ha en Roque.

Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación se determinó en la semilla de dos repeticiones de cada tratamiento, en cada uno de los cinco ambientes (Cuadro 5).

En general los valores fueron elevados para la mayoría de los tratamientos en los distintos ambientes, el valor más bajo fue 86% para algunos casos, concentrándose un gran número en porcentajes cercanos al 100%.

La hembra del H-147E destacó, ya que en los cinco ambientes presentó una germinación perfecta.

DISCUSION

Se detectaron diferencias marcadas en capacidad de rendimiento dentro de híbridos y líneas aún bajo el mismo nivel de autofecundación; observándose algunos genotipos con muy buena productividad. Así, la línea CH-11-148-2-2-1R-12A superó en todos los ambientes a genotipos con menor número de autofecundaciones, sin embargo, cabe señalar que esta línea fue obtenida a través del mejoramiento convergente, y de acuerdo con Aguado *et al.* (1966) y Muñoz *et al.* (1973), presenta vigor y buenas características y además, aunque el nivel endogámico no es muy alto, tiene la ventaja de que presenta uniformidad aceptable.

En los ambientes 1,2,3,4 y 7 la línea mencionada anteriormente superó en rendimiento a la cruza simple (CH-11-148-2-2-1R-3B x Hgo. 4-5-4-2-1R-27), que es la hembra de los híbridos para Valles Altos H-137E y H-141E, en porcentajes que van de

Cuadro 4. Productividad de semilla de tamaños grande y medio para híbridos de tres líneas y cada uno de sus progenitores a través de cinco ambientes de evaluación.

Trat.	Genealogía	Chapingo, Ambiente 1 Rend (kg/ha)	Chapingo Ambiente 2 Rend (kg/ha)	El Mexe Ambiente 3 Rend (kg/ha)	El Mexe Ambiente 4 Rend (kg/ha)	Roque Ambiente 7 Rend (kg/ha)
1	H-149E	10718	11436 (2)	14428 (1)		7515
2	H-151E	9435	10365	13647 (1)	13427 (2)	7466
3	H-143E	9246	11182	14248 (1)	13071 (2)	9478
4	H-147E	11016	11344	14925 (1)	11603 (2)	7890
5	H-133	2587	8936	12683 (1)	11036 (2)	6387
6	CH-11-148-2-21R-3B	2374 (1)	2296 (2)	1319	961	55
7	Hgo 4-5-4-2-1R-27	5264 (1)	4578 (2)	4248	2846	311
8	H-353-245-2-4	3051	3128	4758 (2)	2894	5181 (1)
9	CH-11-148-2-2-1R-12A	6451	7273 (1)	7050 (2)	5083	2472
10	Hgo. 4-5-4-2-1R-9	3601 (2)	4423 (1)	1999	275	62
11	H-353-363-1-3		1424 (2)	1017	84	1911 (1)
12	CH-11-148-2-2-1R-2B	4594 (2)	5149 (1)	4438	3097	613
13	Hgo 4-5-4-2-1R-14	3334 (2)	3192	3173	3356 (1)	594
14	VS 5-146-3-12	4246	3763	8327 (1)	5385	7449 (2)
15	H-353-245-6-10	720	1061	2171 (2)	171	3987 (1)
16	H-353-363-7-2	265	504 (2)	474	62	1741 (1)
17	Hgo 10-3	4918	4976 (2)	5825 (1)	4496	1577
18	H-3516-14	1155	1556	3787 (1)	1766	3676 (2)
19	H-3516-72	2217		4248 (2)	1723	5545 (1)
20	(línea 6 x línea 7)	3552	6913 (1)	4727 (2)	4134	331
21	(línea 9 x línea 10)	6711	11367 (1)	9087 (2)	8969	3305
22	(línea 12 x línea 13)	6132	7977 (2)	9161 (1)	6700	2522
23	(línea 15 x línea 16)	4081	4595	5923	5948 (2)	8838 (1)
24	(línea 18 x línea 19)	3459	3079	6646 (1)	4612	6571 (2)
25	Testigo criollo o Mejorado	8322	10518	12474	11268	9205

(1) Primer rendimiento de semilla de tamaños grande y medio por hectárea.

(2) Segundo rendimiento de semilla de tamaños grande y medio por hectárea.

Cuadro 5. Porcentaje de germinación de semilla de líneas e híbridos de maíz obtenida en cinco ambientes de evaluación.

Trat.	Genealogía	Chapingo, Ambiente 1	Chapingo, Ambiente 2	El Mexe, Ambiente 3	El Mexe, Ambiente 4	Roque Ambiente 7	Promedio %
1	H-149E	100	100	98	100	94	98.4
2	H-151E	100	98	100	100	100	99.6
3	H-143E	100	98	96	100	92	97.2
4	H-147E	100	100	100	98	100	99.6
5	H-133	100	100	96	96	96	97.6
6	CH-11-148-2-2-1R-3B	98	98	94	92	96	95.6
7	Hgo 4-5-4-2-1R-27	94	100	100	100	74	93.6
8	H-353-245-2-4	88	100	98	100	100	97.2
9	CH-11-148-2-2-1R-12A	88	98	100	100	98	96.8
10	Hgo 4-5-4-2-1R-9	100	100	100	98	86	96.8
11	H-353-363-1-3	98	100	100	88	96	96.4
12	CH-11-148-2-2-1R-2B	96	100	98	98	90	96.4
13	Hgo 4-5-4-2-1R-14	100	100	100	100	96	99.2
14	VS 5-146-3-12	94	96	100	100	94	96.8
15	H-353-245-6-10	96	98	74	92	100	92.0
16	H-353-363-7-2	96	90	90	90	98	92.8
17	Hgo 10-3	96	96	98	100	100	98.0
18	H-3516-14	96	100	100	100	98	98.8
19	H-3516-72	98	100	98	86	98	96.0
20	(línea 6 x línea 7)	98	92	98	100	96	96.8
21	(línea 9 x línea 10)	96	100	100	100	100	99.2
22	(línea 12 x línea 13)	100	100	100	100	96	99.2
23	(línea 15 x línea 16)	100	100	100	100	100	100.0
24	(línea 18 x línea 19)	100	100	100	100	98	99.6
25	Testigo criollo o Mejorado	100	100	98	98	98	98.8
Promedio por ambiente		97.28	98.56	97.44	97.44	95.76	

2.1 hasta 24.1%. Líneas de alta productividad facilitan la producción de semilla aún en cruza simples o de tres líneas, como lo sugiere Jugenheimer (1958); asimismo, de acuerdo con Jugenheimer (1981), el costo de producción disminuye al mantener un solo origen, en este caso con mejor capacidad de rendimiento que la cruza simple. De los materiales de El Bajío sobresalió la línea VS 5-146-3-12 que superó en todos los ambientes desde 10.8 hasta 51.5%, a la cruza simple (H-3516-14 x H-3516-72) que interviene como macho del híbrido H-133; comportamiento que además de facilitar su aumento e incorporación en planes de producción, permite un rápido estudio que conlleva a identificar su buena combinación con otras líneas, reconociendo las mejores cruza simples.

Dentro de las cruza simples destacaron (CH-11-148-2-2-1R-12A x Hgo.4-5-4-2-1R-9) de Valles Altos y (H-353-245-6-10 x H-353-363-7-2) de El Bajío, las cuales presentaron rendimientos muy buenos en sus respectivas zonas de adaptación. Aunque se ha planteado el uso de la cruza simple hembra del H-147E para su uso comercial como tal en El Bajío, el alto costo de producción dada la baja productividad de las líneas limita su empleo, lo cual se constata al observar que en todos los ambientes, salvo el 7, el genotipo H-353-363-7-2 ocupó el último lugar en rendimiento; su buen comportamiento en Roque, muestra una adaptación muy específica a ese ambiente. Una alternativa es emplearla en híbridos de tres líneas, tal como participa en el H-147E, porque además de su buena productividad como progenitor femenino, presenta características deseables, de acuerdo a como lo sugiere Jugenheimer (1981), de un solo tallo, y con raíces y mazorcas sanas.

Con respecto a los híbridos de tres líneas se confirmó la superioridad en rendimiento del H-147E sobre H-133 (Espinosa y Carballo, 1984), que es el híbrido comercial recomendado actualmente para la zona de transición El Bajío-Valles Altos. A pesar de tener un período de madurez más largo, los rendimientos de H-149E le dan perspectivas de uso comercial en Valles Altos; similarmente el H-143E tiene posibilidades en El Bajío.

La máxima y la mínima productividad de cada genotipo permiten ubicar adecuadamente el sitio de multiplicación, para no propiciar desviaciones e influencia de la selección gamética (Brewbaker, 1967; López, 1978; Goldsworthy, 1974; Cruz, 1984).

Coincidencia en floración

La falta de coincidencia en floración ha sido factor importante que dificulta el mantenimiento de la calidad genética de los híbridos comerciales; en algunos casos se han presentado desviaciones graves de variedades comerciales por no tomar en cuenta este aspecto. Como alternativa se plantea que deben efectuarse trabajos analizando la floración masculina y femenina de cada progenitor y su grado de coincidencia, además de analizar algunas prácticas de cultivo que atrasen o adelanten la floración. Tanto en cruza simples como en híbridos de tres líneas, se presentó diferente grado de coincidencia dependiendo tanto del ambiente como del genotipo. De las cruza simples el mayor problema lo presenta H-353-245-6-10 x H-353-363-7-2 debido a un adelanto de la línea macho sobre la hembra, de 10 a 33 días, dependiendo del ambiente; lo cual en cualquier ambiente obliga a establecer fechas diferenciales de siembra para los progenitores, aún en Roque donde la diferencia en el período a floración es menor. En la formación de los híbridos H-149E, H-143E y H-151E se presentó mayor sincronía que con H-133, aunque este último mostró una aparente superioridad sobre el H-147E.

Calidad de Semilla

Integrando la información que se obtuvo en componentes importantes de la productividad y de la calidad física de la semilla, se confirma para cada genotipo su definición sobre el ambiente más adecuado para su producción; las líneas de la hembra del H-149E producen mejor en Chapingo, por lo cual debe sacrificarse el mayor nivel de coincidencia en floración en Guadiana, para asegurar buen tamaño de semilla en Chapingo.

La cruza simple del H-151E debe formarse en El Mexe, dada la productividad de las líneas, coincidencia en floración y tamaño de semilla.

De manera similar ocurre con la cruza simple hembra del H-143E, misma del H-133, que conviene multiplicarla en El Mexe, por la mayor calidad y productividad de semilla en esta localidad.

La hembra del H-147E, por la adaptación específica de sus líneas, debe aumentarse en Roque, Gto., en tanto que la cruza simple macho del H-133 en El Mexe o en Roque.

De las cruza simples, con la hembra del H-151E (Tratamiento 20), se obtiene mayor proporción de semilla atractiva comercialmente; el mejor rendimiento se ob-

tiene en Chapingo, donde supera en 24.1% el rendimiento de la hembra del H-133, en El Mexe.

Aún cuando la hembra del H-133 supera ligeramente la producción de semilla comercial de H-149E y H-147E, no así a H-143E, debe considerarse integralmente la producción de cada una de las líneas, representando ventaja la formación de híbridos de tres líneas en relación a las cruza dobles (Jugenheimer, 1958; Jenkins, 1978; Jugenheimer, 1981).

Con respecto a la germinación, los porcentajes en general son elevados, ya que se ubican arriba del 85% que es el mínimo que se admite en las normas de certificación de semilla. A pesar de esto, se observó variación entre genotipos y ambientes. Las diferencias entre las semillas se detectarían en forma más precisa efectuando pruebas de vigor, aún cuando implícitamente el mayor tamaño de semilla, representa mayor seguridad en el establecimiento del cultivo, por su mayor vigor (Villaseñor, 1984).

CONCLUSIONES

1. El tamaño y forma de la semilla deben incluirse como criterios de evaluación en la selección de líneas y cruza simples progenitores.
2. Para cada genotipo el rendimiento de semillas atractivas comercialmente define el ambiente de máxima productividad y calidad para producción de semillas.
3. La evaluación de calidad de semilla de los progenitores debe hacerse previa a la formación de cruza simples, y de híbridos de tres líneas y de cruza doble para asegurar facilidad en la producción.
4. Cada genotipo debe multiplicarse en su condición óptima, considerando rendimiento, tamaño de semilla, nivel de coincidencia a floración, sanidad, y en general máxima productividad y calidad.
5. Los progenitores de los híbridos H-149E, H-151E y H-143E superan al H-133 (híbrido comercial) en grado de coincidencia al 50% de floración.
6. Los ambientes óptimos para producción de semilla son: para H-149E Chapingo; para el H-151E Chapingo ó El Mexe; para el H-143E El Mexe, y para H-147E Roque.
7. Los cuatro híbridos experimentales superaron al H-131, testigo mejorado de Valles Altos. El H-149E presenta rendimientos que justifican comercialmente su

empleo en esa zona.

8. En producción de semilla comercial se obtienen mejores rendimientos con H-151E y H-143 que con H-133, por la capacidad de rendimiento de las cruzas simples y de las líneas.

BIBLIOGRAFIA

- Aguado T., A., G. Palacios de la R. y A. Muñoz O. 1966. Mejoramiento convergente utilizado en la obtención de líneas superiores para los híbridos de la Mesa Central. Agric. Tec. en México, SAG. INIA. Vol. II. Núm. 6: 253-255.
- Barrientos P., F. 1962. Aprovechamiento de cruzas intervarietales en el programa de mejoramiento de maíz en la Mesa Central. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Copeland, L.O. 1976. Principles of seed science and technology. Burgess Pub. Co. Minnesota. 370 p.
- Cruz R., J. 1984. Efectos del ambiente cálido seco en la producción de semillas de variedades de maíz de Valles Altos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx.
- Delouche, J.C. and W.P. Cadwell. 1962. Seed vigor and vigor test. Proceeding seedmens short course. Mississippi Seed Technology Laboratory, State College Mississippi.
- Espinosa C., A. y A. Carballo C. 1984. Obtención de híbridos de maíz de alto rendimiento para condiciones de riego en alturas intermedias Bajío-Valles Altos. En: X Congreso Nacional de Fitogenética. Resúmenes. ITA. No. 20, Aguascalientes, Ags.
- Evans, L.T. 1983. Fisiología de los cultivos. Trad. al español por H. González I. Ed. Hemisferio Sur. 1a. edición. Argentina.
- Falconer, D.S. 1952. The problem of environment and selection. Amer. Naturalist 86: 293-298.
- Goldsworthy, P. 1974. Adaptación del maíz. En: El mejoramiento del maíz a nivel mundial en la década del setenta y el papel del CIMMYT. Memoria, El Batán, México. pp. 6-1 a 6-48.
- Hurtado de la Peña, S.A. 1977. Estudios de competencia intrapoblacional en líneas, compuestos balanceados y sintéticos de maíz. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Jenkins, M.T. 1978. Maize breeding during the development and early years of hybrid maize. In: Walden, D.S. (Ed.). Maize Breeding and Genetics. John Wiley and Sons, Inc. pp. 13-28.
- Johnson, D.R. and L.M. Wax. 1981. Stand establishment and yield of corn as affected by herbicides and seed vigor. Agron. J. 73: 859-863.

- Jugenheimer, R.W. 1958. Hybrid maize breeding and seed production. FAO. of U.N.
- _____. 1981. Maíz. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Trad. al español por R. Piña G. Ed. LIMUSA. Méx.
- López H., A.J. 1978. Selección y evaluación de genotipos de maíz en condiciones limitantes para aumentar la producción y el rango de adaptación. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- _____. y A. Carballo C. 1984. Selección y evaluación de genotipos de maíz en condiciones limitantes para aumentar producción y adaptabilidad. Agrociencia 58: 73-86.
- Márquez S., F. 1974. El problema de la interacción genotipo-ambiental en genotecnia vegetal. Ed. Patena. Chapingo, Méx.
- Muñoz O., A., V.A. González H., A. Carballo C. y G. Vega Z. 1973. H-133 maíz mejorado para los Valles de Transición. Campo Agrícola Experimental "Chapingo", CIAMEC, INIA, SAG. Noticiamec 1(1): 12-19.
- Perry, D.A. 1980. The concepts of seed vigour and its relevance to seed production techniques. In: P.D. Hebblethwaits (ed.). Seed Production. Butterworths Publishers. pp. 585-591.
- Potts, H.C. 1982. Semillas, desarrollo, estructura y función. En: Curso de capacitación en Tecnología de semillas. CIAT. Colombia.
- Russell, W.A. 1973. Desarrollo y evaluación de líneas endocriadas en maíz. Trad. por E.A. Marino. Fundación Carguill. Public. 2. Buenos Aires.
- Villaseñor M., H.E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.