

Formación de híbridos de maíz de cruza múltiple partiendo de híbridos comerciales

Juan José Torres-Morales*, José Alfredo Chapa-Elizondo*, Oscar Alejandro Martínez-Jaime* y Carlos Manuel Bucio-Villalobos*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue obtener y comparar 30 híbridos experimentales de maíz de cruza múltiple provenientes de híbridos comerciales que fungieron como progenitores. Se establecieron ensayos de rendimiento en las localidades: El Llanito, San Antonio y Márquez, municipio de Irapuato, Gto., México, en diseños látice simple 7 x 7. Los materiales se evaluaron en forma conjunta y se analizaron por estabilidad de rendimiento para seis caracteres: altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, porcentaje de acame, porcentaje de cuateo y rendimiento de grano. Se encontró respuesta de los materiales a los diferentes ambientes y los ambientes presentaron diferentes expresiones de los caracteres. Cinco cruza múltiple fueron declaradas estables para los seis caracteres: León x Tigre, Lince x León, 30G54 x León, 30G45 x Tigre y Aspros-948 x Tigre, mientras que las cruza Lince x Tigre y DK-2002 x León fueron consistentes con buena respuesta en ambientes favorables, para altura de planta y rendimiento de grano. Los híbridos comerciales: Oso, Aspros-900, DK-2020, DK-2000, Bida-33, Vida-55 y DK-2002 resultaron los más sobresalientes para estabilidad de rendimiento con 11.12 t/ha, 10.81 t/ha, 10.63 t/ha, 10.11 t/ha, 9.78 t/ha, 9.77 t/ha y 9.47 t/ha, además el DK-2020 resultó mejor para ambientes con limitada tecnología de producción (10.63 t/ha), misma clasificación para la cruza DK-2002 x León que fue la más sobresaliente de todas con 9.33 t/ha. Se concluyó que al utilizar esta tecnología, el productor puede producir semilla de maíz sin necesidad de generar las líneas experimentales que conforman a los híbridos comerciales.

ABSTRACT

The aim of this research was getting information about thirty experimental hybrids of maize, all of them multiple crosses from commercial hybrids as parents. Hybrids were sown field on three locations: El Llanito, San Antonio and Marquez which belong to Irapuato, Gto., Mexico. Lattice 7 x 7 were used as experimental design and combined analysis and stability parameters models for comparing varieties through environments. Besides, seven characters were evaluated: plant height, ear height, ear length, percent of blow over, percent of double ear and grain yield. Results indicated the following: Response all maize genotypes is not similar across over environments and locations amongst themselves. In Fact multiple crosses as Leon x Tigre, Lince x Leon, 30G54 x Leon, 30G45 x Tigre y Aspros-948 x Tigre were stables genotypes for seven characters above all grain yield, however Lince x Tigre y DK-2002 x Leon had good response for not favourable conditions and favourable conditions. Commercial hybrids as Oso, Aspros-900, DK-2020, DK-2000, Bida-33, Bida-55 and DK-2002 result out standing for grain yield and were: 11.12 t/ha, 10.81 t/ha, 10.63 t/ha, 10.11 t/ha, 9.78 t/ha, 9.77 t/ha y 9.47 t/ha, whereas DK-2020 was defined as hybrid has good response for not favourable environments. The most important it indicates that DK-2002 x Leon hybrid was defined as good as the best hybrid: Oso, Aspros-900 and DK-2020. Finally, farmers can use this technology to produce seeds beginning with commercial hybrids seeds.

Recibido: 14 de mayo de 2010
Aceptado: 13 de junio de 2011

INTRODUCCIÓN

En México la obtención y utilización de híbridos de maíz es relativamente reciente y se localiza en áreas específicas. A partir de los 30's se comenzaron a mejorar los maíces con base en información de la diversidad de los genotipos (Inghelandt *et al.*, 2010). No cabe duda que uno de los factores que han influido de manera importante en los rendimientos del maíz en el mundo, ha sido la utilización del vigor híbrido o heterosis que representa el nivel de heterocigocidad a lo largo de todos los loci, por lo que

Palabras clave:

cereales; fitomejoramiento; maíz; ensayos de rendimiento; interacción genotipo-ambiente.

Keywords:

cereals; plant breeding; maize; yield trials; genotype environment interaction.

*Departamento de Agronomía, División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Ex-Hacienda "El Copal" Km. 9; Carretera Irapuato-Silao; Apartado Postal 311; C.P. 36500; Irapuato, Gto., México. Teléfono y Fax: 01 462 6241889. Correo electrónico: jtmooonfs@gmail.com

al cruzar líneas o poblaciones no relacionadas genéticamente, se incrementa el nivel de heterosis; el fenómeno contrario, conduce a una pérdida de vigor o depresión endogámica (Hallauer y Miranda, 1988). No obstante, hay evidencia que indica que si se hubiesen dedicado los mismos esfuerzos para la mejora de variedades de polinización libre, las variedades criollas tendrían actualmente rendimientos equivalentes a los de los híbridos (Levins y Lewontin, 1985, citados por Barsky, 1991). Un híbrido de cruzas múltiples de maíz es la primera generación de una cruzas que involucra más de cuatro líneas. La formación y evaluación de cruza múltiples no es ninguna novedad, pues Sprague y Jenkins (1943) comenzaron con la formación de este tipo de híbridos y confirmaron que los híbridos de cruza múltiples pudiesen ser tan productivos como los provenientes de cruza dobles, además de otras ventajas, como: producir más que las variedades sintéticas e igual que las cruza dobles, los costos de producción de semilla son mucho más bajos ya que en las cruza dobles hay que incrementar los cuatro progenitores por separado, y finalmente, su mayor diversidad genética le permite tener menos riesgos al establecerse en condiciones no óptimas de producción que las cruza dobles. La vulnerabilidad genética es causada por la uniformidad del genoma y se define como la susceptibilidad potencial de un cultivo a futuros ataques por estrés biológico o ambiental, debido a que un gran número de biotipos uniformes desde el punto de vista genético, están establecidos en una gran área geográfica. En México, la formación de materiales diversos de cultivos agrícolas, está a cargo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), pero la producción de semilla puede ser realizada por cualquier institución pública o privada, lo que ocasiona la apertura para que cualquier empresa establezca su propio programa de producción de semilla.

MÉTODOS

Cruzamiento de híbridos comerciales. Fueron sembrados 18 híbridos comerciales de maíz en el Ejido de Márquez, municipio de Irapuato, Gto., México, de 1-6 surcos de 4.50 m de largo. El manejo del cultivo se realizó con base en el paquete tecnológico recomendado para la zona Bajío del estado de Guanajuato. Al momento de la aparición de las hojas del jilote y antes de la exposición de los estigmas, se colocaron bolsas de glassine para evitar el cruzamiento entre los materiales. Al observar el 20 % de la anthesis, se iniciaron los cruzamientos de los híbridos comerciales asegurando semilla suficiente para establecer al menos tres ensayos de rendimiento, que se logró tomando polen

del macho en turno y polinizando de 15 a 20 plantas de la hembra. Como producto de estas cruza, se obtuvieron 30 híbridos experimentales de cruzas múltiples, los cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.
Híbridos experimentales generados por las cruza múltiples de híbridos comerciales.

No.	Híbrido/Cruza	Número de líneas que lo forman	Orden de Selección de materiales
	NK-1822-W	---	1
	Puma	---	2
	Oso	---	3
	León	---	4
	Tigre	---	5
	NK-1851-W	---	6
	Bida-33	---	7
	Bida-55	---	8
	Aspros-900	---	9
	DK-2020	---	17
	DK-2002	---	18
	DK-2000	---	19
1	Tigre x Puma	8	---
2	Tigre x Lince	8	---
3	30G54 x Puma	6	---
4	30G54 x Tigre	6	---
5	30G54 x León	6	14
6	30G88 x Tigre	6	---
7	30G88 x Puma	6	---
8	30G88 x León	6	---
9	Aspros-948 x Puma	8	---
10	Aspros-948 x León	8	---
11	Aspros-948 x Tigre	8	16
12	30G45 x 30G54	4	---
13	30G45 x 30G40	4	---
14	30G45 x Tigre	6	15
15	30G45 x Puma	6	---
16	Lince x Puma	8	---
17	Lince x Tigre	8	10
18	30G40 x Puma	6	---
19	30G40 x Tigre	6	---
20	30G40 x León	6	---
21	30G40 x 30 G 54	4	---
22	Puma x Tigre	8	---
23	León x Puma	8	---
24	Lince x León	8	12
25	León x Tigre	8	11
26	DK-2002 x Puma	8	---
27	DK-2002 x Tigre	8	---
28	DK-2002 x León	8	13
29	DK-2002 x 30G45	6	---
30	DK-2002 x 30G40	6	---

Ensayos de rendimiento. Para evaluar los híbridos de cruza múltiple, se sembraron tres ensayos de rendimiento en El Llanito, San Antonio y Márquez, localidades de la zona agrícola de la Asociación de Productores de la Presa La Purísima A. C., integrada por 4 100 ha y correspondientes a 1 050 productores. En estas localidades se evaluaron los 30 híbridos de cruza múltiple, utilizando como testigos los híbridos comerciales (tabla 1). Los ensayos se establecieron bajo el plan básico del diseño látice simple 7 x 7 con tres repeticiones (Dallel, 1988). La parcela experimental fue de tres surcos de 5 m de largo, cosechando el surco central, con un espaciamiento de 75 cm entre surcos y 17 cm entre plantas, con una densidad de 65 000 plantas por hectárea. Solo 19 materiales fueron comunes en las tres localidades, los cuales se llevaron a la evaluación final de rendimiento mediante experimentos combinados (localidades por híbridos) (Martínez, 1988) y por estabilidad de rendimiento (Eberthart y Russell, 1966). Se clasificaron los materiales en función a sus parámetros de estabilidad (coeficiente de regresión y desviación de regresión) y se definieron los materiales en estables, consistentes e inconsistentes (Carballo, 1970). Se registraron altura de planta (APL), altura de mazorca (AMZ), longitud de mazorca (LMZ), porcentaje de acame (ACA), porcentaje de cuateo (CUA) y rendimiento de grano (REN).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta (APL). El acame está asociado con la altura de planta, con la altura y peso de la mazorca, grosor del tallo y lignificación de sus envolturas, entre las más importantes (Kaushal, 1984). Los resultados indicaron que ésta, se encontró asociada a la altura de la mazorca ($r = 0.716$, tabla 2) y en menor grado al rendimiento de grano ($r = 0.457$, tabla 2) (Salami *et al.*,

2007). Todos los híbridos presentaron alturas de porte medio por debajo de los 300 cm, pero no menores de 260 (tabla 3). Los híbridos 13 (DK-2002 x León) y 15 (30G45 x Tigre) son los más destacados con 286 cm. Quince de los 19 híbridos fueron estables (tabla 4). El híbrido menos predecible para este carácter y que estuvo fuertemente influenciado por el ambiente, fue NK-1851-W, de buena respuesta en todos los ambientes pero inconsistente (impredicible), mientras que las cruzas DK-2002 x León y DK-2020 se expresaron mejor cuando dispusieron de insumos para la producción. El único híbrido que pudiese ser sembrado en ambientes con limitaciones para la producción fue la cruza Lince x Tigre. Los híbridos 11 (León x Tigre), 12 (Lince x León), 14 (30G54 x León), 15 (30G45 x Tigre) y 16 (Aspros-948 x Tigre), resultaron estables, teniendo poca o nula variación del carácter aún cuando las condiciones ambientales sean adversas, o que la disponibilidad de insumos para la producción pudiese ser limitada.

Tabla 2.

Matriz de coeficientes de correlación simple lineal de seis variables para 19 híbridos de maíz, en las localidades El Llanito, San Antonio y Márquez. Irapuato, Gto., México.

Variable	Localidad					
	1	2	3	4	5	6
	APL	AMZ	LMZ	ACA	CUA	REN
1 APL	1.000	0.716	0.292	0.151	0.094	0.457
2 AMZ		1.000	0.096	0.091	-0.056	0.227
3 LMZ			1.000	0.558	0.546	0.435
4 ACA				1.000	0.552	-0.314
5 CUA					1.000	-0.065
6 REN						1.000

Los coeficientes de correlación dentro de los recuadros son significativos a $P < 0.05$ (Prueba de t al 0.05).

Tabla 3.

Comparación de medias de 19 híbridos de maíz mediante Tukey al 5 % para siete variables evaluadas, en las localidades El Llanito, San Antonio y Márquez. Irapuato, Gto., México.

Híbrido	Variables Respuesta					
	APL	AMZ	LMZ	ACA	CUA	REN
1	275.7 ab	133.7 abcde	16.57 a	29.16 a	25.43 a	6.82 bc
2	269.7 ab	127.3 bcde	14.98 ab	7.85 b	8.32 b	8.89 abc
3	279.3 ab	129.8 bcde	16.37 ab	15.05 ab	16.11 ab	11.12 a
4	278.3 ab	140.8 abcd	15.43 ab	12.14 ab	9.13 ab	7.92 abc
5	272.0 ab	132.8 bcde	16.13 ab	13.68 ab	15.51 ab	9.23 abc
6	272.0 ab	129.3 bcde	14.87 b	20.25 ab	10.61 ab	6.31 c
7	285.7 a	140.2 abcd	16.03 ab	18.57 ab	14.59 ab	9.78 abc
8	289.7 a	152.5 a	16.03 ab	17.83 ab	10.16 ab	9.76 abc
9	282.0 ab	125.7 bcde	16.07 ab	17.62 ab	14.87 ab	10.81 a
10	263.7 ab	119.7 e	15.25 ab	9.17 b	16.55 ab	8.45 abc
11	251.5 b	121.7 de	15.43 ab	10.81 b	7.55 b	8.24 abc
12	258.8 ab	123.8 cde	16.52 a	18.94 ab	13.57 ab	8.06 abc
13	286.2 a	143.7 ab	15.87 ab	11.86 ab	18.37 ab	9.33 abc
14	267.8 ab	121.8 de	15.55 ab	12.66 ab	15.26 ab	7.93 abc
15	286.0 a	136.7 abcde	15.63 ab	11.68 b	11.73 ab	8.73 abc
16	267.7 ab	138.2 abcde	15.55 ab	11.58 b	13.97 ab	8.89 abc
17	273.8 ab	134.5 abcde	15.85 ab	11.24 b	13.80 ab	10.63 a
18	283.8 ab	142.8 abc	15.58 ab	10.37 b	10.39 ab	9.47 abc
19	290.3 a	132.0 bcde	16.17 ab	13.82 ab	11.74 ab	10.11 ab

Medias con la misma letra, son estadísticamente iguales con $P < 0.05$.

Tabla 4. Clasificación de 19 híbridos de maíz a través de tres localidades para seis variables. Localidades El Llanito, San Antonio y Márquez. Irapuato, Gto., México.

Híbrido		Variables					
No.	Nombre	1	2	3	4	5	6
		APL	AMZ	LMZ	ACA	CUA	REN
1	NK-1822-W	E	rafc	E	E	rtai	E
2	Puma	E	E	E	E	E	E
3	Oso	E	E	E	rafc	E	E
4	León	E	E	E	rtai	E	E
5	Tigre	E	rtai	E	rtai	E	E
6	NK-1851-W	rtai	E	rtai	E	E	rtai
7	Bida-33	E	rtai	E	E	radc	E
8	Bida-55	E	E	E	E	E	E
9	Aspros-900	E	radc	E	E	E	E
10	Lince x Tigre	radc	E	E	E	E	radc
11	León x Tigre	E	E	E	E	E	E
12	Lince x León	E	E	E	E	E	E
13	DK-2002 x León	rafc	E	E	E	E	rafc
14	30G54 x León	E	E	E	E	E	E
15	30G45 x Tigre	E	E	E	E	E	E
16	Aspros-948 x Tigre	E	E	E	E	E	E
17	DK-2020	rafc	E	E	E	E	rafc
18	DK-2002	E	E	rtai	E	E	E
19	DK-2000	E	E	E	E	E	E

E = Variedad Estable en todos los ambientes y predecible.
 rtai = Variedad de respuesta buena en todos los ambientes pero inconsistente.
 radc = Variedad de respuesta buena en ambientes desfavorables y consistentes.
 rafc = Variedad de respuesta buena en ambientes favorables y consistente

Altura de mazorca (AMZ). La altura de mazorca estuvo dentro del intervalo promedio en que se encontraron la mayoría de los maíces comerciales (120-153) cm. La diferencia entre el híbrido de mayor altura respecto al de menor porte fue de 33 cm, valor que en la práctica favorecería la presencia de acame (Vojka, 1999). Esta variación se detectó bien a través de los ambientes, de manera que se pueden seleccionar genotipos del grupo principal (grupo A, tabla 3) y tomando como segundo criterio de selección los índices ambientales disponibles (Mosisa *et al.*, 2001). Si deseamos disponer de variación en altura seleccionaremos híbridos cuya mazorca tuviera al menos una diferencia con respecto a la media ambiental (133 cm) de 7.00 cm, en nuestro caso, los cinco primeros híbridos del grupo A de Tukey tuvieron esa diferencia, por ejemplo el híbrido 13: DK-2002 x León. Casi todo el grupo A de Tukey (más el NK-1822-W = 132.80 cm) estuvo por arriba de la media general de altura de mazorca (133 cm) y nueve de los híbridos entre comerciales y cruzas (119.70-132.00) cm, por debajo de este valor. Se definieron como estables siete híbridos (híbrido 10 a híbrido 16, tabla 4); para ambientes con disponibilidad de insumos para la producción, los híbridos NK-1822-W y Tigre cuyos valores de respuesta pueden predecirse para cualquiera de los ambientes considerados en esta evaluación. El híbrido BIDA-33 es inconsistente o impredecible pero mantiene un promedio de altura similar en los tres ambientes (140 cm); mientras que Aspros-900 es recomendable su siembra en ambientes no restrictivos (125.67 cm), con buenos insumos para la producción.

Longitud de mazorca (LMZ).

La longitud de mazorca estuvo relativamente asociada con acame y cuateo, aunque las relaciones fueron funciones directas (Mosisa *et al.*, 2001); la influencia de éstas sobre la longitud de la mazorca fueron pequeñas (valores de r, tabla 2). La longitud de la mazorca puede ser modificada por prácticas de cultivo que favorecen la expresión del carácter (Crow, 1998). Todas las cruzas, con excepción de NK-1851-W y DK-2002, fueron estables (tabla 4), al menos para los ambientes donde fueron evaluadas, manteniendo la expresión del carácter de 14.87 cm y 15.58 cm, respectivamente (tabla 3), pero ambos impredecibles, es decir, pudiesen modificar su expresión si fueran recomendados, incluso para las mismas localidades, pero en estaciones de cultivo diferentes (Troyer, 1988). Sobresalen por su estabilidad los híbridos 1 (NK-1822-W) y 12 (Lince x León) con casi 17 cm (tabla 3). La longitud de mazorca es un carácter de efecto mayor o herencia simple que es fácilmente influenciado por el ambiente (Kaushal, 1984), particularmente por la disponibilidad de nutrimentos, humedad disponible en el suelo y luminosidad. Posterior a la floración, se presentó en las tres localidades, presencia moderada de granizo que afectó el área foliar y por ende, la reducción de la capacidad fotosintética de las plantas. La vaina que envuelve al jilote cuando este se encuentra antes de la formación del grano, representa casi el 70 % de la fotosíntesis realizada para el jilote, por lo que los valores de longitud de mazorca pueden considerarse como valores subestimados a los reales.

Porcentaje de acame (ACA).

Todas las cruzas fueron estables para el acame (tabla 4), con excepción de los híbridos Oso, León y Tigre, y en ninguna de ellas afectó el rendimiento o sus componentes. El coeficiente de correlación negativo

($r = -0.314$) cuando se relacionó con el rendimiento, fue no significativo. El valor máximo de acame para las cruza fue de 12 % mientras que en los híbridos comerciales llegó hasta 28 %, siendo el 30 % un índice que es considerado como elemento que pudiese afectar algunos caracteres de la planta e incidir negativamente en el rendimiento de grano. El acame tuvo relación directa con el cuateo ($r = 0.552$, tabla 3); y de las dos clases (acame de raíz y acame de tallo), los híbridos evaluados presentaron solamente acame de tallo, siendo el más severo el de raíz.

Porcentaje de cuateo (CUA). La frecuencia de cuateo (plantas con doble jilote) fue de 16 %, resultando casi todos los híbridos estables para este carácter (tabla 4), con excepción de los híbridos 1 (NK-1822-W) y 7 (Bida-33) que con 25 % y 15 % tuvieron el primero. Buena respuesta en los tres ambientes pero inconsistente o impredecible en la expresión del carácter; mientras que el segundo fue propicio para ambientes no favorables, pero consistente para el carácter (Eberthart *et al.*, 1995). Híbridos de cruce múltiple como el 13, 10 y 14, tuvieron porcentajes entre 14 % - 18 %. Rara vez se presenta este carácter de manera constante y uniforme en las poblaciones ya que es un carácter de herencia cuantitativa y difícil la identificación de los genes responsables (Hallauer y Miranda, 1988), por lo que la frecuencia de cuateo es muy baja en cualquier material comercial; sin embargo el incrementarla en una población, siempre representará un valor agregado a las componentes de rendimiento (Kaushal, 1984).

Rendimiento de grano (REN). El rendimiento de grano es la expresión final de muchos caracteres que se manifiestan de manera simultánea (Hallauer y Miranda, 1988); sin embargo por ser un carácter de efectos pequeños y aditivos, está sujeto a interacciones con el ambiente (Inghelant *et al.*, 2010). Es muy difícil definir los genes responsables de la expresión final del rendimiento, pero es posible influir sobre algunos de sus componentes para modificarlos positivamente, tales como el peso de grano y su peso específico, periodo de llenado, contenido de proteína, cuateo, madurez fisiológica, fotoperiodo, eficiencia fotosintética. Algunas prácticas de manejo modifican también su expresión como densidad de siembra, fertilidad, disponibilidad de agua, control de organismos dañinos, entre los más comunes (Rong-Lin Wang, 1999). Los resultados indicaron una respuesta diferencial de los genotipos en las localidades. Los rendimientos de los híbridos evaluados se distribuyen en un rango de 4.8 t/ha que representa el 43 % de variación entre el menor rendidor respecto al de mayor expresión del carácter (tabla 3). El grupo de híbridos comerciales

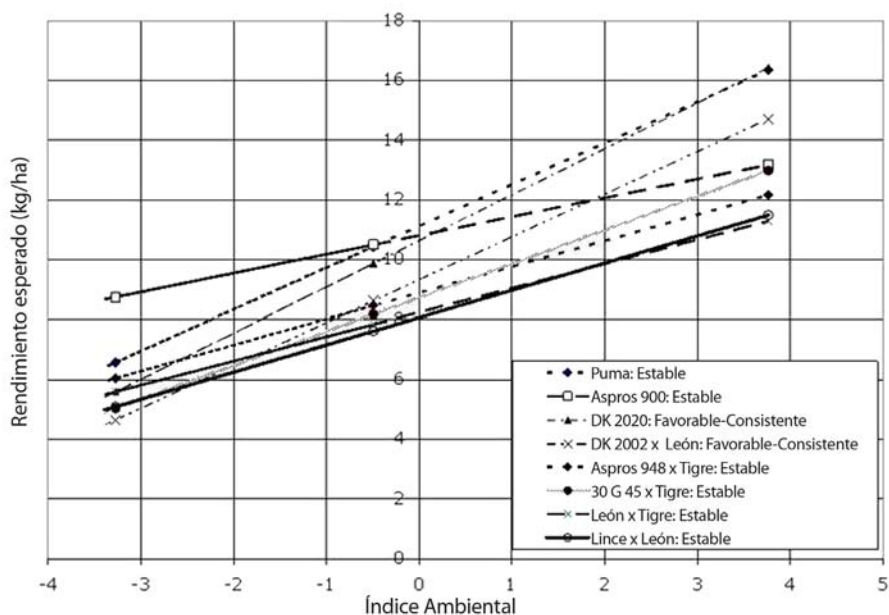
tuvo 9.24 t/ha de rendimiento promedio a través de las localidades, mientras que el promedio de las cruza fue 8.52 t/ha, representando un decremento de 7.72 % con respecto a los primeros. Los rendimientos de los híbridos comerciales tuvieron una mayor variabilidad (varianza = 2.32) en comparación a la de las cruza (varianza = 0.25), indicando mayor interacción ambiental (tabla 5). Ocho de los híbridos comerciales superaron su media ponderada (9.24 t/ha), mientras que solamente una de las cruza posee esta característica (9.33 t/ha, híbrido 13, DK-2002 x León); en cambio seis de las cruza se encontraron alrededor de las 8.4 t/ha, que no es mal indicador si se reconoce que las cruza múltiples provienen de híbridos y no de líneas endocriadas cuyo vigor híbrido o heterosis es su principal atributo (Hallauer y Miranda, 1988). Solo dos híbridos comerciales (NK-1851-W y DK-2020) y dos cruza múltiples (híbrido 10: Lince x Tigre e híbrido 13: DK-2002 x León) se clasificaron no estables (Eberthart *et al.*, 1995) para rendimiento (tabla 4), mientras que el resto, fueron estables para el carácter. Tres híbridos comerciales (híbridos 3, 9 y 17 con casi 11 t/ha) pueden ser recomendados al menos para los campos maiceros del estado de Guanajuato, dos de ellos (híbridos 3 y 9) con una amplia condición de estabilidad del rendimiento, y uno más (híbrido 17) para productores de recursos ilimitados (tabla 4). Una de las cruza múltiples (híbrido 13: DK-2002 x León), con rendimientos de 9.33 t/ha, fue comparable a los rendimientos esperados de los mejores híbridos y puede ser recomendada para productores con tecnología de producción disponible. Dos cruza más (Híbrido 12: Lince x León y 15: 30G45 x Tigre con 8 y 8.7 t/ha respectivamente, tabla 3) pueden dirigirse a productores de recursos limitados (tabla 4). En la figura 1 se observan las tendencias de los ocho mejores materiales, entre ellos la cruza DK-2002 x León, que corresponde al híbrido 13. A medida que las pendientes se acercan a 45°, los materiales se consideran estables y predecibles en rendimiento (Eberthart y Rusell, 1966); si las pendientes fuesen mayores de 45°, entonces serían recomendables para ambientes con tecnología disponible, pero impredecibles en el carácter; si las pendientes fueran menores de 45°, serían materiales buenos para una amplia gama de ambientes, particularmente los de escasa tecnología de producción pero muy predecibles en su rendimiento (Mashark *et al.*, 2007). Es importante señalar la relevancia de estos resultados, pues usando esta tecnología, los productores pueden producir semilla sin necesidad de desarrollar ni producir las líneas experimentales que conforman a los híbridos comerciales; simplemente adquirir los híbridos comerciales y establecer los cruzamientos de manera natural y aislada en el propio campo del productor.

Tabla 5.

Análisis de varianza por estabilidad de rendimiento de grano de 19 híbridos de maíz a través de las localidades El Llanito, San Antonio y Márquez. Irapuato, Gto., México.

Híbrido	FV	GL	SC	CM	Fcalc	F05	F01	SIG	Parámetros de Estabilidad	
									β_i	Sdi
Total		56	635.22							
Híbridos		18	87.95	4.89	2.97	1.79	2.29	**		
Ambientes		38	547.27							
Ambiente Lineal		1	477.13							
Híbridos*Amb. Lineal		18	38.96	2.16	1.31	1.79	2.29	NS		
Desviación Conjunta		19	31.17	16.64						
1 NK-1822-W		1	1.09	1.09	0.81	4.02	7.12	NS	0.87	-0.24
2 Puma		1	0.85	0.85	0.64	4.02	7.12	NS	1.10	-0.48
3 Oso		1	3.35	3.35	2.51	4.02	7.12	NS	1.39	2.02
4 León		1	0.25	0.25	0.18	4.02	7.12	NS	0.87	-1.08
5 Tigre		1	3.78	3.78	2.84	4.02	7.12	NS	0.74	2.45
6 NK-1851-W		1	11.62	11.62	8.73	4.02	7.12	*	1.11	10.29
7 Bida-33		1	0.92	0.92	0.69	4.02	7.12	NS	0.73	-0.41
8 Bida-55		1	0.97	0.97	0.73	4.02	7.12	NS	1.46	-0.36
9 Aspros-900		1	2.95	2.95	2.21	4.02	7.12	NS	0.63	1.62
10 Lince x Tigre		1	0.00	0.00	0.00	4.02	7.12	NS	0.70	-1.33
11 León x Tigre		1	1.41	1.41	1.05	4.02	7.12	NS	0.81	0.08
12 Lince x León		1	0.01	0.01	0.00	4.02	7.12	NS	0.91	-1.32
13 DK-2002 x León		1	0.01	0.01	0.00	4.02	7.12	NS	1.43	-1.32
14 30G54 x León		1	0.03	0.03	0.02	4.02	7.12	NS	0.82	-1.30
15 30G45 x Tigre		1	0.22	0.22	0.16	4.02	7.12	NS	1.13	-1.11
16 Aspros-948 x Tigre		1	1.20	1.20	0.89	4.02	7.12	NS	0.87	-0.13
17 DK-2020		1	0.02	0.02	0.01	4.02	7.12	NS	1.54	-1.31
18 DK-2002		1	0.95	0.95	0.71	4.02	7.12	NS	1.24	-0.38
19 DK-2000		1	1.56	1.56	1.17	4.02	7.12	NS	0.65	0.23
Error Conjunto		54		1.33						

* Significativo con $P < 0.05$ ** Significativo con $P < 0.01$ NS = No significativo con $P < 0.05$.



Índice Ambiental: El Llanito: - 0.496; San Antonio: - 3.271; Márquez: + 3.764.

Figura 1. Rendimiento de grano esperado y clasificación por estabilidad de rendimiento de los mejores híbridos comerciales y cruza múltiples a través de las localidades El Llanito, San Antonio y Márquez. Irapuato, Gto., México.

REFERENCIAS

- Barsky, O. (1991). *El desarrollo agropecuario pampeano*. Editor: INDEC, INTA y IICA.
- Carballo, C. A. (1970). *Comparación de variedades de maíz del Bajío y de la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad*. Tesis M. C. Chapingo, Méx. Colegio de Postgraduados.
- Crow, J. F. (1998). 90 years ago: the beginning of Hybrid maize. *Genetics*. 148:923-928.
- Dallel, G. E. (1988). *Complete Block Designs*. John Willey and Sons. New York.
- Eberhart, S. A. and W. A. Rusell (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 6:36-40.
- Eberhart, S. A., W. Salhuana, R. Sevilla and S. Taba. (1995). Principles for tropical maize: Stability parameters in comparing varieties. *Crop Science*. 6:36-40.
- Hallauer, A. R. y J. B. Miranda. (1988). *Quantitative genetics in maize breeding*. 2nd ed. Iowa State University Press, Ames.
- Inghelandt, D., A. Melchinger, C. Lebreton, and B. Stich. (2010). Population structure and genetic diversity in a commercial maize breeding program assessed with SSR and SNP markers. *Theoretical & Appl. Genet.* 120:1289-1299.
- Kaushal, K. L. (1984). *Genotype x environmental interaction and stability parameters for yield and other agronomic traits among maize (Zea mays L.)*. Kansas State University.
- Martínez, G. A. (1988). *Diseños Experimentales*. Ed. Trillas. México.
- Mashark, S. A., P. Y. K. Sallah and O. Safo-kantanka. (2007). Maize grain yield stability analysis in full season lowland. *Ins. J. Agri. Biol.* Vol. 9. No. 1. 2007.
- Mosisa, W., Habtamu Zelleke, Gyirma Taye, Benti Tolessa, Legesse Wolde, Wende Abera, Aschalew Guta, Hadji Tuna. (2001). Yield stability of maize (*Zea mays L.*) genotypes across locations. *Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference*. West Shoa Ethiopia.
- Rong-Lin Wang. (1999). *The limits of selection during maize domestication*. Department of Plant Biology, University of Minnesota, St. Paul Minnesota, U. S. A.
- Salami, A. E., S. A. O. Adegoke and O. A. Adegbite. (2007). Genetic Variability among Maize Cultivars Grown in Ekiti-State, Nigeria. *Middle-East J. Sci. Res.* 2 (1): 09-13, 2007.
- Sprague, G. F. y M. T. Jenkins. (1943). A comparison of synthetic varieties, multiple crosses and double crosses in corn. *Journal of the American Society of Agronomy*. 137-147.
- Troyer, A. F. (1988). Measurement of genetic diversity among popular commercial corn hybrids. *Crop Science*. 28:481-485.
- Vojka, B. (1999). Stability parameters of commercial maize (*Zea mays L.*).