

**ESTIMACIÓN DE APTITUD COMBINATORIA EN CRUZAS
SIMPLES DE MAÍZ PARA LA FORMACIÓN DE
HÍBRIDOS DOBLES**

**COMBINING ABILITY ESTIMATION IN MAIZE SINGLE
CROSSES TO DEVELOP
DOUBLE HYBRIDS**

Jorge Luis Tijerina Castillo,
Humberto de León Castillo,
Arnoldo Oyervides García ,
Víctor Zamora Villa

Programa de Posgrado en Fitomejoramiento,
Departamento de Fitomejoramiento,
Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro,
25315 Buenavista,
Saltillo, Coahuila, México.

RESUMEN

De ordinario, en la formación de híbridos dobles, no se emplea como criterio de selección la aptitud combinatoria de los progenitores, atributo que se considera convencionalmente en las líneas y no en las cruzas simples. Los híbridos dobles suelen predecirse en función al comportamiento *per se* de sus progenitores.

Uno de los propósitos importantes en la presente investigación fue identificar cruzas simples con altos efectos de aptitud combinatoria, a valorarse como criterio en la predicción de híbridos dobles. La estimación de este parámetro se basó en el comportamiento promedio mostrado por cada crusa simple a través de sus cruzamientos (prepotencia).

Para la predicción de los híbridos dobles, se sumaron y promediaron las prepotencias de las cruzas simples implicadas y así obtener el comportamiento de la crusa doble. Las cruzas simples con mejor aptitud combinatoria para varios caracteres fueron la (4x11), (4x1), (4x2), (1x16) y (13x16). De las cruzas simples con buena prepotencia para rendimiento se obtuvieron (13x4), (4x16), (4x2) y

(4x9). De los híbridos dobles predichos, formados con cruzas simples de buena aptitud combinatoria y prepotencia para rendimiento sobresalieron los siguientes: (13x4)x(1x6), (16x2)x (8x4), (13x10)x(2x3) y (11x16)x(4x9).

También, la diversidad genética encontrada en los materiales permitió evaluar y seleccionar híbridos dobles, con base en su heterosis útil y buen comportamiento agronómico. Para rendimiento, las cruzas dobles con altos valores de heterosis fueron: (13x4)x(16x2), (13x11)x(16x2) y (1x5)x(4x2).

Palabras clave: *Zea mays* L., prepotencia, cruzas simples, predicción.

ABSTRACT

Combining abilities (CA) of single crosses are not used as a selection criterion for double hybrids prediction as it is commonly done for inbred lines. This study explored the former criterion as an alternative procedure useful for double hybrids formation.

One of the outstanding features of this research was the identification of single crosses with high CA effects. Estimates were made on the basis of average performance shown by each single cross throughout its crosses. For double hybrids prediction, preponderance indexes were added up and their mean extracted from involved single crosses.

Single crosses with a better combining ability for several traits were as follows: (4x11), (4x1), (4x2), (1x16) and (13x16). The ones with high preponderance for yield: (13x4), (4x16), (4x2) and (4x9). Predicted double hybrids, considering both good combining ability and preponderance for yield: (13x4)x(1x6), (16x2)x (8x4), (13x10)x(2x3), and (11x16)x(4x9).

The genetic diversity observed among genotypes allowed the development of double hybrids which were graded by their heterosis and agronomic desirability; the most qualified for yield were: (13x4)x(16x2), (13x11)x(16x2) and (1x5)x(4x2).

Key words: *Zea mays* L. prepotency, single crosses, prediction.

INTRODUCCIÓN

La estructuración de híbridos de maíz a partir de líneas o cruzas simples se considera como una importante alternativa para el incremento de la producción, siempre y cuando sean conocidos y utilizados por los productores.

El fitomejorador centra su interés en seleccionar eficientemente los materiales (genotipos) en estudio y evaluar la productividad de los mismos mediante combinaciones de cruzas simples (CS) y líneas. Se da el caso de líneas y CS que combinatoria muy bien, resultando en híbridos de gran potencialidad. En cuanto al fenómeno de aptitud combinatoria (AC), Sprague y Tatum (1942) señalan que determinadas combinaciones son mejores o peores en función del rendimiento de CS y líneas. La AC en las CS es un parámetro genético indispensable para la formación de materiales mejorados, el cual permite conocer el comportamiento promedio de una CS en combinaciones híbridas. La estimación de AC es una alternativa rápida y eficiente para detectar buenos progenitores (Hernández y Molina, 1980; Navarro, 1978; y Castro, 1989).

Siempre se ha considerado como un criterio importante de selección el que los progenitores tengan una adecuada aptitud combinatoria. Aportaciones al respecto se tienen en Mendoza, (1988); Falconer, (1981); y Sprague y Tatum, (1942). Sin embargo, el caso no se ha estimado directamente en los padres de los HD, que son realmente las CS (Ortega, 1990; y De León, 1987).

La importancia de este estudio radica en estimar la AC de las CS y su prepotencia para rendimiento. Esto permite identificar CS con altos efectos de AC, las cuales sirvan en la formación de HD sobresalientes o como probadores. La prepotencia se ha empleado para medir el potencial de los progenitores dentro de una serie de cruzas; además, se le considera como la cualidad que muestra un individuo para imprimir características a su progenie. De León y Reyes (1991); Allard (1980) y Ortega (1990) también señalan la importancia de estimar la AC (prepotencia) en CS ya que éstas son las progenitores de los HD, que es la versión de híbridos más utilizados en México.

Este trabajo se desarrolló bajo tres condiciones ambientales y tuvo los siguientes objetivos: 1)Comprobar que varios de los híbridos experimentales poseen potencial para ser empleados comercialmente al superar a los testigos, 2)Estimar la AC de las CS progenitoras de los HD, y 3)Seleccionar híbridos dobles en base a prepotencia de rendimiento y buenas características agronómicas.

La hipótesis de trabajo es que las CS progenitoras de los HD poseen diferentes efectos de AC y que, al menos, una de ellas posee mejores efectos que el resto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material que sirvió de base para esta investigación fueron los progenitores de un grupo de híbridos dobles (HD), los cuales provienen de 18 líneas élite con diferentes niveles de endogamia (S3 a S7), originadas a partir de poblaciones de maíz representativas de regiones como Trópico Seco, Trópico Húmedo y Bajío Mexicano, del Programa de Mejoramiento Genético del Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Durante el ciclo Otoño-Invierno en Tepalcingo, Morelos, se formaron todas las cruzas simples (CS) posibles $n(n-1)/2$, haciendo un total de 153. Durante 1988-1989, en la misma localidad, se formaron las cruzas dobles entre las CS que coincidieron en floración, obteniéndose un total de 502 híbridos dobles (HD).

En el Cuadro 1 se detallan las 18 líneas utilizadas en la formación de CS, progenitoras éstas de los HD, así como los testigos utilizados. Para la selección de los HD, así como su caracterización agronómica, se requirió de evaluarlos en diversos ambientes, los cuales fueron: 1) Atoyac, Jalisco; 2) Celaya, Guanajuato; 3) Torreón, Coahuila.

La caracterización fenotípica de plantas en los HD se observó a través de las variables: altura de planta y de mazorca, acame de raíz y de tallo, proporción de mazorcas podridas, mala cobertura y rendimiento de mazorca.

El trabajo de investigación se dividió en 10 experimentos por localidad, cada uno con 50 tratamientos, incluyendo los testigos, dos repeticiones. Se realizó un análisis de varianza individual y combinado, bajo una distribución de bloques al azar para cada una de las variables por experimento y localidad de evaluación. Se utilizó una DMS ($\alpha=.05$) para la identificación de híbridos con mejores características agronómicas en comparación con el mejor testigo para cada grupo experimental.

Cuadro 1. Origen de 18 líneas élite formadoras de 153 CS, progenitores de los HD.

Clave	Ambiente	Clave	Ambiente
1	Trópico Húmedo	10	Trópico Húmedo
2	Bajío	11	Trópico Seco
3	Trópico Seco	12	Trópico Seco
4	Trópico Húmedo	13	Trópico Húmedo
5	Bajío	14	Trópico Seco
6	Trópico Húmedo	15	Bajío
7	Trópico Húmedo	16	Bajío
8	Trópico Húmedo	17	Bajío
9	Bajío, Trópico Seco	18	Trópico Seco

Testigo: B810, B830, B840, B850, AN-447.

Las CS calificables como mejores serán aquellas que muestren una prepotencia mayor o promedios más altos en comparación con las demás cruzas utilizadas en los tres ambientes para los caracteres evaluados. Por tal razón, las CS que participaron al menos cinco veces como progenitoras de las cruzas dobles, se les estimó la prepotencia al observar su comportamiento promedio a través de sus cruzas. Esto se realizó bajo la fórmula siguiente:

$$pp = \Sigma X_i / N$$

donde:

pp= prepotencia por estimar en cada material.

ΣX_i = sumatoria de las cruzas dobles donde interviene la i-ésima CS.

N= número de veces en que participa la CS.

La heterosis útil (Hu), parámetro evaluado en esta investigación, permite observar la superioridad o inferioridad de una crusa sobre sus testigos. Para determinar los valores de heterosis útil en los HD, en relación con el mejor testigo, se calculó como sigue:

$$Hu = F1 - VC/VC * 100$$

donde:

F1= valor cuantitativo de una característica en la progenie F1 híbrido doble.

VC= valor cuantitativo de la característica en la variedad comercial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uno de los objetivos de este estudio fue el obtener descendientes híbridos producto de cruzas simples (CS) con buen potencial de rendimiento (superior a los testigos). De acuerdo a los análisis estadísticos, se comprobó que los genotipos evaluados mostraron una gran variabilidad y que algunos superaron en rendimiento a los testigos, diferencias atribuibles a la diversidad ambiental entre los sitios de evaluación y el fondo genético de los progenitores.

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de los valores indicativos obtenidos para los 502 híbridos dobles y el comportamiento del mejor testigo, en las siete variables de estudio. Para cada una de éstas, se determinó el valor medio, máximo, mínimo, rango y DMS. Los valores máximos y mínimos para todas las características indican diferencias, lo cual permite señalar la existencia de una gran variabilidad entre los HD. En estos ensayos se observaron materiales (HD) de porte normal, altura de mazorca y demás características con calificación aceptable; sin embargo, en los casos de mazorcas podridas y mala cobertura hay daños con medias de 10 y 18 por ciento, respectivamente, debido posiblemente a efectos de tipo ambiental, manejo de campo o genético. Al respecto, Villena (1983) indica que estos problemas se presentan en áreas de alta precipitación pluvial y efectos de campo, ocasionados vía insectos y enfermedades fungosas, por lo que hay que identificar maíces que posean grados aceptables de resistencia

Cuadro 2. Valores característicos obtenidos en 502 cruzas dobles y el mejor testigo.

Variable	Media	Max	Min	Rango	DMS (0.05)	Testigo*
Altura de planta (cm)	236	271	186	85	7.30	259
Altura de mazorca (cm)	119	142	97	45	6.01	133
Acame de raíz (%)	5	22	0	22	0.58	6
Acame de tallo (%)	6	20	0	20	0.51	3
Mazorcas podridas (%)	10	31	1	30	0.65	7
Mala cobertura de mazorca(%)	18	46	3	45	0.57	15
Rendimiento de mazorca (t ha ⁻¹)	11.63	15.09	6.75	8.34	0.77	13.194

* Testigo comercial=B850.

a pudriciones y mala cobertura, aunado a un buen rendimiento de mazorca. Córdoba (1983) hace referencia a que la mala cobertura de mazorca es un carácter de importancia económica que influye en las pérdidas de postproducción y cosecha.

Los valores mínimos observados en los HD experimentales indican que dentro de éstos existen materiales con buenos atributos agronómicos ya que es muy deseable contar con híbridos de porte medio resistentes a acames, buena cobertura y sin pudrición de mazorca. En el otro extremo, los valores máximos aluden a HD que superan al testigo en prácticamente todas la variables de estudio, incluyendo rendimiento en mazorca ($P < .05$). En este caso, la DMS para comparar promedios de rendimiento fue 0.77 t ha^{-1} , documentando una diferencia entre el mejor HD y el testigo de 1.89 t ha^{-1} (Cuadro 2).

Las evaluaciones practicadas en esta investigación también permiten señalar la existencia de variabilidad fenotípica a través de localidades de prueba, resaltándose que un grupo de 46 CD fueron numéricamente superiores en rendimiento al mejor testigo comercial, que fue B850 (Cuadro 3).

De los materiales calificados como superiores puede subrayarse la participación de las líneas en cuanto a su origen geográfico: el 42% de ellas corresponden a trópico húmedo, el 20% a trópico seco, 34% a El Bajío y 2% Bajío-trópico seco. Es importante hacer mención del grado de participación de las mejores líneas en el grupo de híbridos seleccionados, las cuales son: (4),(16),(2),(13),(1) y (11), así como de las mejores CS como son: (16x2) y (4x2), véase Cuadro 4.

Cuadro 3. Comportamiento agronómico de cruzas dobles seleccionadas por rendimiento, a través de tres ambientes.

CS	CS	AP	AM	AR	AT	MP	MC	REND	Hu
13,04	01,16	248	129	05	03	04	13	15,088	14,35
13,04	16,02	257	133	19	03	10	10	14,860	12,62
13,11	16,02	250	114	18	04	10	12	14,763	11,89
01,05	04,02	237	115	06	05	09	22	14,757	11,84
13,02	16,02	243	120	01	03	04	15	14,593	10,60
11,05	04,02	271	119	04	03	09	28	14,319	08,52
10,02	18,14	243	127	00	01	06	08	14,257	08,05
08,04	16,02	243	116	07	03	06	23	14,063	06,58
02,03	13,01	246	120	05	01	08	13	14,033	06,35
16,02	04,16	250	139	06	02	12	24	14,015	06,22
11,16	04,09	243	120	00	03	07	34	13,945	05,69
13,09	17,06	232	116	07	02	04	13	13,939	05,64
04,18	01,16	232	108	10	02	16	26	13,921	05,51
01,16	04,11	237	123	03	05	11	21	13,877	05,18
16,02	08,17	246	124	11	09	11	13	13,876	05,17
13,18	04,09	234	122	06	01	07	19	13,875	05,16
11,18	16,02	259	134	12	02	12	40	13,868	05,11
12,16	04,11	245	129	00	05	04	17	13,850	04,97
18,02	08,04	249	122	04	02	10	30	13,724	04,02
16,02	04,01	248	120	02	08	06	14	13,721	03,99
10,16	04,01	241	130	15	07	09	05	13,715	03,94

CS	CS	AP	AM	AR	AT	MP	MC	REND	Hu
13,04	13,09	250	137	05	04	15	09	13,685	03,72
16,09	17,05	234	124	17	00	06	18	13,676	03,65
11,06	04,02	243	129	03	08	05	31	13,668	03,59
10,06	04,02	254	134	03	08	08	09	13,607	03,13
13,16	04,11	244	133	08	01	12	17	13,542	02,63
18,07	02,03	245	122	11	00	07	08	13,481	02,17
16,09	04,07	243	122	01	01	05	23	13,474	02,12
15,06	04,02	233	114	05	19	11	24	13,453	01,96
13,16	04,18	238	123	06	01	05	15	13,439	01,85
04,12	16,02	255	116	04	00	06	25	13,428	01,77
02,09	18,03	252	138	05	06	09	16	13,406	01,60
13,11	01,16	234	117	22	04	13	23	13,398	01,54
13,08	16,02	246	127	01	03	12	31	13,397	01,53
11,07	02,03	255	126	01	05	06	19	13,390	01,48
12,06	04,01	250	122	02	08	05	18	13,329	01,02
04,01	08,16	231	117	01	06	06	26	13,318	00,93
04,01	13,16	230	118	12	03	03	13	13,307	00,85
16,06	04,02	244	126	01	08	09	12	13,306	00,84
01,03	08,04	237	121	02	01	02	16	13,293	00,75
04,14	08,18	227	114	09	12	03	15	13,258	00,48
13,06	04,02	225	120	03	06	06	14	03,238	00,33
14,16	04,09	236	121	01	03	03	26	13,238	00,33
10,01	13,02	254	114	06	06	12	09	13,236	00,31
01,12	04,11	256	136	04	06	12	29	13,203	00,06
04,02	08,12	247	117	03	00	04	22	13,203	00,06
B850		259	133	06	03	07	15	13,194	00,00

CS=cruz simple; AP=altura de planta; AM=altura mazorca; AR=racame de raíz; AT=racame de tallo; MP=mazorcas podridas; MC=mala cobertura; REND=rendimiento de mazorca; Hu=heterosis útil.

La heterosis útil calculada para rendimiento fue medida en particular con el mejor testigo comercial. Como pueden apreciarse en Cuadro 3, los valores caen en el intervalo de 14.35% a 0.06%, todos positivos, lo que indica que hay una ganancia o expresión heterótica en dichos materiales.

Aptitud Combinatoria de Cruzas Simples (Prepotencia)

Esta investigación es un estudio detallado de la AC en las CS, progenitoras de los HD, lo cual debe redundar en una obtención de mejores HD y con ello facilitar la detección de materiales superiores. Se seleccionaron un total de 30 CS con buena AC tomando en cuenta el rendimiento y demás características agronómicas (Cuadro 4). A partir de la aptitud combinatoria, se observa que las líneas que forman CS con mayores efectos pertenecen o provienen de cruzamientos que combinan orígenes de trópico húmedo y Bajío. Tomando en cuenta a la variable rendimiento, se ubica a los genotipos de mayor prepotencia; de éstos, las primeras 28 CS son estadísticamente iguales, donde el valor calculado de la DMS al .05 fue 1.905 t ha^{-1} .

Observando los resultados de prepotencia en las CS puede decirse que al cruzar materiales con buena AC, éstos darán origen a mejores híbridos y deberá esperarse lo contrario cuando se crucen genotipos de baja prepotencia. Esto se muestra con la CD (13x4) x (1x16) la cual tiene el máximo rendimiento (Cuadro 3), correspondiendo a los progenitores una excelente AC.

Cuadro 4. Concentración del comportamiento promedio de 30 cruzas simples en tres ambientes con mayor prepotencia de rendimiento ($t\ ha^{-1}$).

CS	PART	AP	AM	AR	AT	MP	MC	REND
13,11	(03)	242	122	15	04	10	21	13,848
04,11	(08)	245	129	06	06	10	20	12,978
16,02	(20)	246	124	08	03	11	25	12,945
13,04	(08)	243	126	07	05	08	14	12,874
04,16	(05)	243	128	04	04	09	24	12,845
01,16	(04)	240	120	06	07	09	20	12,820
04,02	(15)	239	120	06	06	07	20	12,820
04,09	(12)	237	120	03	03	05	25	12,805
08,04	(11)	238	120	05	02	06	18	12,736
18,06	(05)	241	122	01	07	06	20	12,864
10,16	(05)	241	122	06	08	09	28	12,640
16,09	(08)	231	115	06	03	09	26	12,571
11,16	(08)	244	124	02	05	10	19	12,412
06,02	(05)	237	122	03	06	07	20	12,384
13,16	(14)	238	121	06	05	09	13	12,271
18,07	(05)	240	122	06	03	06	14	12,164
02,03	(18)	239	120	06	02	07	14	12,114
13,10	(06)	240	122	06	02	09	13	12,068
11,18	(10)	247	126	05	06	10	23	12,009
16,15	(05)	240	120	03	11	14	15	11,968
02,09	(08)	228	114	05	02	11	23	11,914
04,01	(14)	240	121	06	07	08	16	11,913
04,18	(12)	232	119	06	04	08	16	11,903
01,30	(08)	233	120	06	06	09	18	11,878
10,02	(08)	246	125	03	07	02	15	11,870
04,07	(06)	238	117	03	04	04	19	11,862
14,09	(05)	233	119	04	06	03	15	11,837
08,18	(09)	238	117	06	08	09	24	11,833
18,09	(10)	240	119	04	04	02	28	11,776
12,16	(20)	230	117	03	07	09	17	11,766

CS= crusa simple; PART= participación de la crusa simple en crusa con otras; A.P.= altura de planta; A.M.= altura mazorca; A.R.= acarne de raíz (%); A.T.= acarne de tallo (%); M.P.= mazorcas podridas (%); M.C.= mala cobertura (%); REND.= rendimiento de mazorca ($ton\ ha^{-1}$).

Por último, se incluye el Cuadro 5 donde se conforma un grupo selecto de 10 HD del total de los evaluados. Este lo integran aquéllos que mostraron buenas características agronómicas y excelente potencial de rendimiento. La CD con mejor rendimiento fue la (13x4) x (1x16). La (10x2) x (18x4) registró en conjunto los mejores porcentajes respecto a acames de raíz y tallo, mazorcas podridas, mala cobertura, además de un rendimiento de 14.257 t ha^{-1}

Cuadro 5. Comportamiento promedio de 10 híbridos dobles seleccionados, con buenos porcentajes en las características evaluadas y excelente potencial de rendimiento a través de ambientes.

CS	CS	AP	AM	AR	AT	MP	MC	Rendimiento (t ha ⁻¹)
(13x04)	(01x16)	248	129	5	3	4	13	15,088
(01x05)	(04x02)	237	115	6	5	9	22	14,757
(11x05)	(04x02)	271	119	4	3	9	28	14,319
(10x02)	(18x14)	243	127	0	1	6	08	14,257
(08x04)	(16x02)	243	116	7	3	6	23	14,063
(13x09)	(17x06)	232	116	7	2	4	13	13,939
(13x18)	(04x09)	234	122	6	1	7	19	13,875
(12x16)	(04x11)	245	129	0	5	4	17	13,850
(10x06)	(04x02)	254	134	3	8	8	09	13,607
(18x07)	(02x03)	245	122	11	0	7	08	13,481

CS= crusa simple; AP=altura de planta; AM=altura mazorca; AR=acame de raíz; AT=acame de tallo; MP=mazorcas podridas; MC=mala cobertura.

CONCLUSIONES

Se comprobó la eficiencia de utilizar la aptitud combinatoria de las cruzas simples para la formación y selección de híbridos dobles.

Las cruzas dobles que mostraron los valores más altos de heterosis para rendimiento fueron (13x4)x(1x16); (13x4)x(16x2), (13x11)x(16x2); y (1x5)x(4x2).

La identificación de cruzas simples con altos efectos de aptitud combinatoria, hará posible que éstas sean empleadas en un futuro inmediato, en cruzamientos dirigidos para formar híbridos, o bien para utilizarse como probadores.

Entre ellas se tienen las siguientes: (4x11),(4x1),(4x2),(1x16),(13x16), (4x11),(16x2),(13x4) y (10x16).

Sobresalen algunas CD como la (13x4)x(1x16); (1x5)x(4x2); (10x2)x(18x14); y (11x5)x(4x2) con buenas características en promedio y potencial de rendimiento de mazorca.

LITERATURA CITADA

- Allard, R. W. 1980. Principios de la Mejora Genética de las Plantas. Trad. de la ed. por José L. Montoya, 4^a ed. España, Omega S. A. pp. 242, 243, 276, 294, 317.
- Castro G., A. 1989. Evaluación de cruzas simples de maíz tropical, predicción de cruzas triples y dobles y parámetros de estabilidad. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Córdova H., S. 1983. Formación de híbridos dobles y triples de maíz en base a familias de hermanos completos y sus implicaciones en la producción de semilla comercial. Congreso Nacional de Milpa o Sorgo Maccio. AI (15, 1984, Brasil). Brasil, p. 59.
- De León C., H. 1987. Selección recurrente en familias de hermanos completos con pedigree en maíz (*Zea mays* L.). Tesis Maestría Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 66 p.
- De León C., H., V. M. Reyes V. 1991. Estimación de la habilidad combinatoria en cruzas simples de maíz. II Congreso Nacional de Genética. Sociedad Mexicana de Fitogenética - Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. p. 3.
- Falconer, D. S. 1981. Introducción a la genética cuantitativa. Trad. del Inglés por Fidel Márquez Sánchez, décima segunda impresión, Editorial C.E.C.S.A. 430 p.
- Gardner, O. Ch.(1982). Información genética derivada utilizando el modelo Gardner Eberhart para media generacionales. Trabajo presentado en el IX Congreso Nacional de la SOMEFI. 1982. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 114-141.