

SELECCION CIGOTICA PARA DESARROLLAR HIBRIDOS DE MAIZ DE DOS Y TRES LINEAS

José Ron Parra, J. Luis Ramírez
Díaz, Oscar D. Rodríguez Ba-
llesteros, Heriberto Valdez M.
y Héctor Delgado Martínez¹

RESUMEN

La evolución de la agricultura hacia la mecanización y el uso ilimitado de insumos en cultivos como el maíz (*Zea mays* L.) demanda variedades adecuadas a este sistema de producción. Los híbridos de dos y tres líneas, por su uniformidad y alta productividad, podrían ser una buena alternativa. El método de selección cigótica propuesto por Hallauer, se implementó para desarrollar híbridos de maíz para el Estado de Jalisco. En este estudio se usaron dos poblaciones F₂: B-806 y una cruz simple de Pioneer, en las cuales se autofecundaron plantas que se cruzaron simultáneamente a un probador cruz simple. Se lograron cruces superiores en rendimiento al promedio de los testigos comerciales y en algunas localidades al mejor testigo; sin embargo, el alcance de estos resultados es limitado porque el probador presentó susceptibilidad a las pudriciones de tallo, al igual que una de sus líneas. Se concluye que este método es recomendable para desarrollar híbridos de dos y tres líneas, siempre y cuando se haga una buena elección de los probadores, ya sean éstos líneas o cruces simples.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., Mejoramiento genético, Jalisco, México.

SUMMARY

The traditional agriculture is changing towards a mechanized agriculture with nonlimited use of inputs, thus demanding maize (*Zea mays* L.) varieties that fit well to them. Single and three-way crosses, more productive and uniform, could be a good choice. The zygote selection method of Hallauer was used in order to develop hybrids for the State of Jalisco, México. In this study, plants of two F₂ populations B-806 and a single cross of Pioneer, were selfed and crossed to a common tester. Results showed crosses that yielded more than the average of commercial checks, and some of them even overyielded the best check in several locations. However, the scope of these results was limited because the tester and one of its lines were susceptible to stalk rots. Then, with a good election of the tester, which may be a line or a single cross, the method is recommended to develop single or three-way crosses of maize.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., Maize breeding, Jalisco, México.

¹ Investigadores del Programa de Maíz. INIFAP. Jalisco, México.

INTRODUCCION

El cultivo del maíz en algunas áreas del país ha estado evolucionando hacia una agricultura altamente mecanizada con un uso de insumos muchas veces no limitado, que demanda variedades de alta remuneración económica que se adecuen a estos sistemas de producción. Las variedades híbridas de dos y tres líneas, por sus características de uniformidad y alta productividad, podrían ser una alternativa para este tipo de agricultura. Para el desarrollo de estas variedades se requiere de métodos eficientes factibles con los recursos e infraestructuras disponibles en los programas de mejoramiento genético. Aquí se presenta un método para desarrollar esos tipos de variedades, que fue dado a conocer por Hallauer (1970) como selección cigótica para el desarrollo de híbridos de maíz de cruz simple.

Los objetivos en este estudio fueron describir el procedimiento, analizar opciones para su implementación en programas de mejoramiento, y presentar resultados y experiencias sobre su aplicación en el programa de maíz del Campo Agrícola Experimental de Los Altos de Jalisco (CAEAJAL) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP).

REVISION DE LITERATURA

Hallauer (1970) sugirió un método para desarrollar híbridos con dos y tres líneas en maíz. El procedimiento consiste básicamente en obtener líneas de una población que den combinaciones sobresalientes con una línea o una cruz simple ampliamente reconocidas como progenitores de híbridos. En el proceso de la obtención de las líneas, desde S₀ hasta prácticamente homocigotas, el procedimiento está fuertemente orientado a la identificación de líneas con una alta capacidad de combinación específica con la línea o cruz simple elegida como probador. Estos probadores son fijos en todo el proceso y van a constituir el 50% de los productos finales, ya sean éstos híbridos de dos o tres líneas. Por lo mismo, la elección de progenitores o probadores es uno de los puntos más críticos en la implementación de este procedimiento.

De acuerdo a la descripción de Hallauer (1970), el método se inicia cruzando plantas S_0 de una población con la línea o cruza simple elegida como progenitor o probador. Simultáneamente, cada planta que se cruza al probador también se autofecunda. Las cruza se evalúan en ambientes y se hace una selección no muy rigurosa (30 a 50% de presión de selección) de las plantas S_0 que intervienen en los mejores cruzamientos. La semilla S_1 de las mejores plantas autofecundadas se siembra para cruzar ahora plantas S_1 al mismo probador; nuevamente se autofecundan al mismo tiempo cada una de las plantas S_1 cruzadas. Los cruzamientos se evalúan y se seleccionan las mejores líneas S_1 . El proceso de cruzamiento, autofecundación y evaluación se repite hasta la obtención de las líneas deseadas.

El procedimiento descrito está fundamentado en el método de selección gamética propuesto por Stadler (1944). En éste se buscan los mejores gametos de una población para generar nuevas líneas a partir de las mejores combinaciones de gametos de la población con una línea élite sobresaliente; para ello se lleva una muestra de polen de la población a plantas de una línea élite. En el siguiente ciclo, las plantas F_1 , en forma individual, se cruzan a un probador y simultáneamente se autofecundan. La línea élite también se debe cruzar al mismo probador como punto de comparación. Todas las cruza se evalúan en varios ambientes y se seleccionan las mejores plantas F_1 . Posteriormente se recurre a la semilla de las plantas F_1 autofecundadas correspondientes a las cruza seleccionadas, que corresponde a una F_2 para el desarrollo de nuevas líneas.

Lonnquist y McGill (1954) introdujeron la modalidad de seleccionar las mejores plantas S_0 de la población y sobre ellas hacer el muestreo de gametos, como un medio de obtener mejores líneas en combinaciones específicas con una cruza simple, para obtener mejores híbridos de tres líneas; ellos cruzaron con un probador y autofecundaron plantas individuales en F_1 y en F_2 . La modalidad de Lonnquist y McGill se asemeja al método de Hallauer (1970), en cuanto a buscar las plantas que combinaran mejor con el probador.

Hallauer (1967) describió otro procedimiento para el desarrollo de híbridos de maíz de cruza simple, usando poblaciones que produzcan cuando menos dos mazorcas por planta. Consiste, primero, en hacer cruza directas y recíprocas entre plantas de la población, usando los segundos jilotes. Al siguiente día, se realizan las autofecundaciones en las mismas plantas que se cruzaron el día anterior, usando el primer jilote. Los cruzamientos se evalúan en el siguiente ciclo y con la semilla de autofecundación de las mejores cruza se repite el proceso de cruzamiento y autofecundación entre plantas de las líneas seleccionadas hasta obtener líneas relativamente homocigotas e híbridos de cruza simple que han sido evaluados en todos los niveles de endogamia. El autor menciona que el procedimiento fue diseñado para hacer máxima la selección de efectos genéticos no aditivos. Hallauer (1973) lo hace extensivo para el mejoramiento sistemático de poblaciones por selección recíproca de familias de hermanos completos, y con base en resultados obtenidos con las poblaciones Iowa Two-ear Synthetic (BS10) y Pioneer Two-ear Composite (BS11), mostró la bondad del procedimiento en cuatro ciclos de selección.

Hoegemeyer y Hallauer (1976) presentaron más resultados en apoyo al método anterior. En este trabajo realizaron cruzamientos interpoblacionales e intrapoblacionales de BS10 y BS11, entre líneas S_7 seleccionadas y no seleccionadas (a partir del primer ciclo de selección $S_0 \times S_0$). Las cruza entre líneas seleccionadas rindieron más (11.2%) que las cruza entre líneas no seleccionadas. Además obtuvieron rendimientos de las cruza interpoblacionales superiores en 7.4%. En promedio, las cruza específicas que provenían del procedimiento clásico de selección recíproca recurrente entre familias de hermanos completos, hasta S_4 , rindieron 4.2% más que las cruza entre líneas seleccionadas (excluyendo las cruza específicas seleccionadas); sin embargo, las líneas seleccionadas expresaron una buena aptitud combinatoria general con otras líneas seleccionadas.

Márquez-Sánchez (1982) propuso dos métodos, M-1 y M-2, para generar líneas como alternativas al

método original, M-0, de Hallauer (1967) que implica el uso de plantas con dos o más jilotes. Bajo el método M-1, las líneas se generan por medio de apareamientos de plantas que son hermanos completos, mientras que en el método M-2, las líneas se generan a través de un sistema de apareamiento que involucra la autofecundación y el cruzamiento de plantas que son hermanos completos. Los métodos M-1 y M-2 son más lentos que el M-0 para la obtención de líneas homocigotas; sin embargo, es probable que generen líneas más productivas que el método M-0. Genter (1982) menciona que las autofecundaciones de plantas provenientes de familias de hermanos completos en el ciclo 9 rindieron más que sus padres.

Dudley (1984) desarrolló un método para identificar líneas que contengan alelos dominantes de un carácter cuantitativo que no está presente en una cruz elite. Según el autor, si la cruz simple elite es designada $P_1 \times P_2$ y la línea a probar es P_w , la expresión $MG = (P_1 \times P_w) + (P_2 \times P_w) - P_1 - P_2 - P_w(P_1 \times P_2)/4$ es un estimador del número relativo de loci en P_w que contienen alelos favorables no presentes en P_1 ó P_2 . Sus resultados obtenidos aplicando el método a un grupo de líneas de maíz para rendimiento, sugieren que el método podría ser útil en programas de mejoramiento genético.

MATERIALES Y METODOS

Implementación del Método

En el ciclo primavera-verano de 1984, se obtuvo la generación F_2 de los híbridos B-806 y una cruz simple de Pioneer, en lotes aislados de producción comercial en los municipios de Zapopan y Ameca, respectivamente. Estos dos materiales, junto con una cruz simple (probador) del programa de mejoramiento de maíz de la Estación Experimental de Ocotlán perteneciente al entonces Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, constituyeron el material base para aplicar el método de selección cigótica para desarrollar híbridos de tres líneas, descrito por Hallauer (1970). El híbrido B-806 es una variedad comercial de buen comportamiento en las siembras de humedad residual y temporal en el Distrito de Desarrollo Rural No. 1 de Zapopan, Jal. La cruz simple de Pioneer había mostrado alto ren-

dimiento en lotes semicomerciales. La cruz simple probadora se había identificado como un material muy sobresaliente para rendimiento en el centro de Jalisco.

En el ciclo otoño-invierno de 1984-1985 en la localidad de Chome, Municipio de Amatitán, Jal., se sembraron las F_2 de B-806 y Pioneer, y la F_1 del probador. El lote se condujo bajo condiciones de riego, fertilizado con el tratamiento 180-40-0, y rociado con la mezcla de 1 l de 2,4-D + 1 kg de Gesaprim 50 en postemergencia para controlar la maleza. Se dió un cultivo a los 40 días de la siembra, que el agricultor cooperante aprovechó para sembrar al voleo. Se sembraron 20 surcos del probador. A la floración, se cruzaron plantas S_0 de cada una de las poblaciones a dos o tres plantas del probador el primer día y se autofecundaron al siguiente día. A la cosecha, se eliminaron las plantas autofecundadas que mostraron pudriciones de tallo o mazorca. Al final, se obtuvieron 58 cruzas y 58 líneas en B-806, y 120 cruzas y 120 líneas en la cruz simple de Pioneer.

Las cruzas con B-806 se evaluaron bajo condiciones de temporal en Tlajomulco y en Tototlán. En Tlajomulco se evaluaron 58 cruzas y en Tototlán 53. Las cruzas con el híbrido simple de Pioneer se evaluaron en Ameca y en Sn. Andrés, Municipio de Gómez Farías, en condiciones de temporal. Se evaluaron 120 cruzas en Ameca y 107 en Sn. Andrés.

El diseño experimental para las evaluaciones fue látice simple de diferentes tamaños, y parcelas de 2 surcos con 26 plantas cada uno a una densidad de población de 60,000 plantas por hectárea. La conducción de los experimentos se llevó a cabo, en cada una de las localidades, bajo las recomendaciones de cultivo locales para el maíz.

Se tomaron datos por parcela para rendimiento, número de mazorcas por planta, días a floración masculina y a floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, acame de raíz, acame de tallo, número de mazorcas sanas y dañadas, e incidencia de carbón común.

Las líneas S₁ de B-806 se sembraron en Tlajomulco y las de las cruza simples de Pioneer en Sn Andrés, bajo condiciones de temporal, en parcelas de un surco con 20 plantas a una densidad de 60,000 plantas por hectárea. Se autofecundaron plantas dentro de cada una, seleccionándolas básicamente por sanidad de follaje, aspecto de planta, calidad de tallo y calidad de mazorca.

Consideraciones sobre el método

En su método de selección cigótica para el desarrollo de híbridos de maíz de cruza simple o triple, Hallauer (1970) señala dos opciones para la implementación en programas de mejoramiento. En la primera (opción 1) se utilizan dos estaciones de crecimiento diferentes por año y en la otra opción (opción 2) sólo puede usarse una estación de crecimiento por año (Cuadro 1). La opción 1 puede iniciarse con el cruzamiento y autofecundación de plantas S₀ de la población, lo que podría ser en el ciclo de otoño-invierno. En la siguiente estación, se evaluarán las cruza para completar el primer ciclo. En el segundo año de nueva cuenta se cruzan y autofecundan las plantas, pero ahora ya en S₁. Luego se evalúan estos cruzamientos y así sucesivamente hasta llegar a líneas prácticamente homocigotas. En la opción 2 sólo se utiliza una estación en el año; por tal motivo, las autofecundaciones, las cruza y las evaluaciones se realizan en la misma estación. Las dos opciones son similares en

cuanto al avance de las líneas, pero en la opción 2 se realiza trabajo de polinización adicional en las líneas no seleccionadas, ya que los resultados de las evaluaciones de las cruza se obtienen hasta el final del ciclo. Sin embargo, el hecho de poder seleccionar las mejores plantas dentro de las líneas seleccionadas podría compensar este esfuerzo extra. En la opción 1 no hay oportunidad de hacer este tipo de selección, sobre todo cuando el ambiente donde se realizan los cruzamientos y autofecundaciones es muy diferente al ambiente de evaluación y selección.

Para la implementación de este método en programas de mejoramiento genético en México, se proponen otras dos opciones: la opción 3, y la opción 4 (Cuadro 1). En la 3, cuando se usan dos estaciones similares, por ejemplo en algunos lugares del trópico, las autofecundaciones, cruza y evaluaciones se realizarían en la misma estación, como en el caso de la opción 2. La opción 4 que usa dos estaciones diferentes, es una modificación de la opción 1; ésta consiste en hacer selección y avance de las líneas en la estación de evaluación o principal, lo cual obliga a hacer y evaluar las cruza en una forma alternada, en S₀, S₂, S₄, etc. En tres años (Cuadro 1), con las opciones 1 y 2 se obtienen líneas S₂ mientras que con las opciones 3 y 4 se obtienen líneas S₅.

Cuadro 1. Opciones para la implementación del procedimiento de selección cigótica en el desarrollo de híbridos simples de maíz sugerido por Hallauer (1970).

Año	Estación	Dos estaciones diferentes (opción 1)	Una estación (opción 2)	Dos estaciones similares (opción 3)	Dos estaciones diferentes (opción 4)
1	1	CA (S ₀)		CA (S ₀)	CA (S ₀)
	2	EC	CA (S ₀)	EC + CA (S ₁)	EC + SA (S ₁)
2	3	CA (S ₁)		EC + CA (S ₂)	CA (S ₂)
	4	EC	EC + CA (S ₁)	EC + CA (S ₃)	EC + SA (S ₃)
3	5	CA (S ₂)		EC + CA (S ₄)	CA (S ₄)
	6	EC	EC + CA (S ₂)	EC + CA (S ₅)	EC + SA (S ₅)

CA = Cruza y autofecundación; EC = Evaluación de cruza; SA = Selección y autofecundación.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la siembra de otoño-invierno realizada en Chome, una de las líneas de la cruza simple probadora resultó altamente susceptible a la pudrición de tallo causada básicamente por *Fusarium*. También la cruza simple probadora, en el mismo lote, resultó susceptible a la pudrición de tallo. Esto complicó seriamente la bondad del método debido a que el probador constituye un componente fijo del producto final obtenido. La elección del probador, en este caso, no fue la adecuada ya que se contaba con información incompleta de su comportamiento.

En B-806 hubo 10 cruzas superiores en rendimiento al promedio de testigos comerciales y experimentales en Tlajomulco, y una de ellas superó en rendimiento al mejor testigo (H-311). En Tototlán, dos cruzas superaron en rendimiento al promedio de testigos y ninguna superó al mejor testigo (Jal-4). Combinando los resultados de las dos localidades (Cuadro 2), solamente dos cruzas superaron al promedio de los testigos y ninguna superó al mejor testigo.

Cuadro 2. Medias de rendimiento y otras características agronómicas de las cruzas, plantas S₀ de B-806 (F₂) por una cruza simple probadora, que rindieron más que el promedio de los testigos en Tlajomulco y Tototlán, Jal., en 1985 T.

Genealogía	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Mz/Pl	Floración		Altura		Acame		MS	(%)		Enf. ² Calif. (1-9)
			M	F	Pl	Mz	R	T		MD	CC	
			(días)		(cm)		(%)					
Jal-3	8710	1.0	78	80	244	153	7	1	27	9	2	5
H-311	8345	0.9	75	77	246	146	8	1	24	11	3	5
CS0 ¹ X B-806 (F ₂)-34	8192	1.0	77	79	252	152	7	2	46	5	4	5
CS0 X B-806 (F ₂)-51	8095	1.1	76	77	236	144	2	3	32	15	5	5
Jal-1	6915	0.9	79	81	245	163	5	2	11	15	13	5
Promedio de testigos	7990	0.9	77	79	245	154	7	1	21	12	6	5
Promedio de cruzas	6633	1.0	78	80	244	144	12	3	30	11	3	6
Promedio general	6687	1.0	79	81	241	145	11	3	25	11	3	6

¹ Cruza simple de Ocotlán; ² Datos sólo de Tlajomulco (enfermedades del follaje); Mz = Mazorca, Pl = Planta, M = Masculina, F = Femenina, R = Raíz, T = Tallo, MS = Mazorcas Sanas, MD = Mazorcas Dañadas y CC = Carbón Común.

En el caso del híbrido simple de Pioneer, la superioridad de las cruzas sobre los testigos fue más evidente, puesto que 31 de ellas resultaron superiores en Gómez Farías y 18 en Ameca. Sin embar-

go, sólo 4 fueron superiores al mejor testigo (Jal-4) en Gómez Farías y 18 en Ameca. Combinando las dos localidades, seis cruzas superaron al testigo (Cuadro 3).

En general, en ambas poblaciones las cruzas fueron más tardías que los testigos, lo cual influyó para que las primeras superaran a los segundos. Sin embargo, se esperaba que la frecuencia de cruzas superiores al promedio de los testigos y al mejor de ellos, se incrementara a medida que se avanzó en la endogamia de las líneas, de acuerdo a los resultados de Hallauer (1973).

En Tlajomulco se obtuvo semilla S₂ para B-806 pero no fue posible la obtención de semilla S₂ para el híbrido simple de Pioneer en Gómez Farías. El plan original fue implementar la opción 4 mencionada antes, para lo cual en la Estación Experimental debería llevarse a cabo la evaluación de las cruzas y la selección y autofecundación de las líneas. Es to último se logró, pero en forma parcial.

De acuerdo con los resultados de un ciclo, el método parece ser moderadamente eficiente para rendimiento en las dos poblaciones usadas: B-806 y el híbrido simple de Pioneer, dado que hubo pocos cru

zamientos superiores a los mejores testigos. Sin embargo, es importante señalar que la elección del probador o probadores es un punto clave en este método. En este estudio no fue acertada dicha elección, por lo que se recomienda dar por concluido el trabajo en este primer ciclo, ya que el probador resultó inadecuado por haberse elegido usando información incompleta de su comportamiento. Respecto a la elección de probadores, parece evidente que los progenitores de híbridos comerciales deban ser considerados con mucho cuidado.

formación disponible sobre el comportamiento de probadores para hacer una elección correcta y tener más posibilidades de éxito.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la pasante de Ing. Agrónomo Leticia Herrera Espinoza, por su auxilio en la concentración de datos para la presentación de resultados.

Cuadro 3. Medias de rendimiento y otras características agronómicas de las cruzas, plantas S₀ del híbrido simple de Pioneer (F₂) por una cruza simple probadora, que rindieron más que el testigo en Ameca y Gómez Farías.

Genealogía	Rendimiento (kg/ha)	Floración		Altura		Acame		MS ² (%)	Enf. ³ Calif. (1-10)
		M	F	Pl	Mz	R	T		
		(días)		(cm)		(%)			
CS0 ¹ X CS Pioneer F ₂ -11	3625	79	81	238	112	35	2	68	4
CS0 X CS Pioneer F ₂ -28	3499	79	82	237	111	29	2	57	
CS0 X CS Pioneer F ₂ -42	3493	79	81	242	128	34	1	75	4
CS0 X CS Pioneer F ₂ -91	3453	81	83	250	125	41	2	76	4
CS0 X CS Pioneer F ₂ -68	3430	83	85	255	126	21	2	70	4
CS0 X CS Pioneer F ₂ -100	3360	81	82	232	118	31	1	75	5
Pioneer 507	3351	81	82	251	120	27	2	56	5
Promedio de testigos	3351	81	82	251	120	27	2	56	5
Promedio de cruzas	2536	81	84	230	109	29	3	68	4
Promedio general	2544	81	84	231	109	29	3	67	4

¹ Cruza simple de Ocotlán; ² Dato tomado en Ameca; ³ Dato tomado en Gómez Farías (*H. turcicum*); M = Masculina, F = Femenina, Pl = Planta, Mz = Mazorca, R = Raíz, T = Tallo y MS = Mazorcas Sanas.

CONCLUSIONES

1. Se recomienda la implementación del método de selección cigótica en programas de mejoramiento genético usando la opción 3 en el trópico y la opción 4 en áreas intermedias.
2. El método fue moderadamente efectivo después de un ciclo de selección, ya que se detectaron sólo unas cuantas cruzas superiores al promedio de los testigos y en algunos casos superiores a los mejores testigos.
3. La elección del probador fue inadecuada; en el futuro se recomienda recabar el máximo de in-

BIBLIOGRAFIA

Dudley J.W. 1984. A method of identifying lines for use in improving parents of a single cross. *Crop Sci.* 24: 355-357.

Genter C.F. 1982. Recurrent selection for high inbred yields from the F₂ of a maize single cross. *Proc. of the 37th An. Corn and Sorghum Res. Conf.* 37:67-76.

Hallauer A.R. 1967. Development of single-cross hybrids from two-eared maize populations. *Crop Sci.* 7:192-195.

_____. 1970. Zygote selection for the development of single cross hybrids in maize. *Adv. Front. Plant Sci.* 25: 75-81.

_____. 1973. Hybrid development and population improvement in maize by reciprocal full-sib selection. *Egypt. J. Genet. Cytol.* 2: 84-101.

- Hoegemeyer, T.C. and A.R. Hallauer. 1976. Selection among and within full-sib families to develop single-crosses of maize. Crop Sci. 16:76-81.
- Lonnquist J.H. and O.P. McGill. 1954. Gametic sampling from selected zygotes in corn breeding. Agron. J. 46:147-150.
- Márquez-Sánchez, F. 1982. Modifications to cyclic hybridization in maize with single-eared plants. Crop Sci. 21:314-319.
- Stadler L.J. 1944. Gamete selection in corn breeding. J. Am. Soc. Agron. 36:988-989.