

RENDIMIENTO DE GRANO DE HÍBRIDOS ISOGENICOS DE MAÍZ FORMADOS MEDIANTE ANDROESTERILIDAD VS. DESESPIGAMIENTO

GRAIN YIELD OF ISOGENIC CORN HYBRIDS MADE BY USING MALE STERILITY VS. DETASSELING

Carlos Martínez-Lázaro¹, Leopoldo E. Mendoza-Onofre^{1*}, Gabino García-de los Santos¹, María del Carmen Mendoza-Castillo² y Ángel Martínez-Garza^{3†}

¹Orientación en Producción de Semillas, ²Orientación en Genética, ³Orientación en Estadística y Cómputo, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Estado de México. Tel: 01 (595) 952-0200 Ext. 1590.

*Autor para correspondencia (leopoldo@colpos.mx)

RESUMEN

Un factor que interviene en decidir la utilización comercial de líneas androestériles-citoplásmicas como progenitores femeninos en la formación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) es que el rendimiento de grano (generación F₂) de tales híbridos sea similar al producido por híbridos genéticamente iguales pero formados con hembras androfértiles isogénicas desespigadas. El objetivo del presente estudio fue comparar el rendimiento de grano y sus componentes de 12 híbridos: cuatro de ellos utilizados como testigos, y ocho híbridos de cruza simple en los que el progenitor masculino fue una línea restauradora común, y como progenitores femeninos se emplearon cuatro líneas androestériles y sus versiones isogénicas androfértiles respectivas, las cuales fueron desespigadas. Se estableció un ensayo de rendimiento, con riego, durante el verano de 2002, en un diseño de bloques completos al azar y cuatro repeticiones, en dos localidades del Estado de México. Todas las variables presentaron diferencias significativas entre localidades y genotipos. El rendimiento de grano y de sus componentes, tanto de los híbridos formados por androesterilidad como los formados por desespigamiento fue estadísticamente igual ($P \leq 0.05$), aunque menor que el de los híbridos testigo. Se concluye que es conveniente utilizar a estas líneas androestériles como progenitores femeninos para formar híbridos de cruza simple, en lugar de sus contrapartes isogénicas fértiles pero desespigadas.

Palabras clave: *Zea mays*, androesterilidad citoplásmica, líneas A, líneas B, líneas R.

SUMMARY

One factor involved in the decision about the commercial utilization of cytoplasmic male-sterile lines as female parents for developing

corn (*Zea mays* L.) hybrids is that grain yield (F₂ seed) of these hybrids will not differ from that produced by genetically similar hybrids with female parents that are male-fertile isogenic lines which have to be detasseled. The purpose of this study was to evaluate grain yield and yield components of 12 hybrids: four as control, and eight single cross hybrids in which the male parent was a common restorer line crossed to either four male-sterile lines or their male-fertile isogenic versions but detasseled. A complete block experimental design with four replications, was established in two locations in the State of México, under irrigation, in the Summer growing season of 2002. Significant differences were found for locations and genotypes. Grain yield and yield components of both male-sterile made hybrids and those made by detasseling were statistically similar ($P \leq 0.05$) although lower than that of the control hybrids. It is concluded that it is convenient to use these male-sterile lines as female parents to form single cross hybrids, instead of their isogenic fertile counterparts, which need detasseling.

Index words: *Zea mays*, cytoplasmic male sterility, A, B, and R lines.

INTRODUCCIÓN

En México, el uso de variedades mejoradas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) ha sido importante para incrementar la producción y el rendimiento de grano de este cultivo. Ante el retiro en el mercado comercial de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) la demanda de semilla híbrida de esta especie se ha satisfecho mediante la participación de nuevas compañías especializadas en la generación y adopción de técnicas propias de la producción de este insumo (Sandoval *et al.*, 2003). Estas técnicas, como el desespigamiento manual y la proporción de surcos hembras y machos, tienen el objetivo de que la semilla de los híbridos que los fitomejoradores generan pueda producirse en la cantidad y con la calidad que permitan una expedita utilización comercial. Sin embargo, la aplicación de algunas de estas técnicas, como el desespigamiento manual en los lotes de producción de semilla híbrida, ocasiona un incremento en los costos de producción, lo que obliga a las empresas a buscar otras opciones que permitan realizar la misma labor, a menor costo, y de ser posible, con mayor eficiencia. Una de esas opciones es emplear diversos tipos y fuentes de androesterilidad génico-citoplásmica a través de la utilización de líneas androestériles como progenitores femeninos, lo cual disminuye los costos de producción pues se elimina la necesidad de desespigar (Duvick, 1958; Tadeo *et al.*, 2001, 2003; Urs *et al.*, 2002; Beck, 2004; Martínez-Lázaro *et al.*, 2005)

En la primera parte de esta investigación, Martínez-Lázaro *et al.* (2005) evaluaron el efecto de dos dosis de fertilización (160N-60P-00K y 200N-100P-00K) y dos densidades de población (62 500 y 83 000 plantas/ha) sobre el rendimiento y la calidad de la semilla híbrida F₁ producida con cuatro líneas androestériles (líneas A, cuya fuente de androesterilidad fue la colecta Tlax. M29SR, del

Estado de Tlaxcala, México) y cuatro líneas androfértiles isogénicas (líneas B, desespigadas) de maíz. Esos autores encontraron que la calidad física y el promedio del rendimiento de la semilla híbrida producida por las líneas A fue mayor (18 % para peso de mazorca, 22 % para rendimiento total de semilla y 27 % para el número de semillas por mazorca) que la producida por sus contrapartes androfértiles desespigadas; ellos también mencionaron que la calidad fisiológica (germinación de la semilla F₁) no se modificó por efecto de los tratamientos.

Esta superioridad en el rendimiento de semilla híbrida F₁ de las líneas androestériles respecto a sus androfértiles isogénicas desespigadas es un factor ventajoso para las empresas semilleras por su repercusión económica. Sin embargo, otro factor a considerar en la decisión final acerca de incorporar una fuente de androesterilidad a un programa de mejoramiento genético, con el consecuente costo de convertir líneas androfértiles a androestériles, es de que el rendimiento de grano (generación F₂) de los híbridos así formados no sea afectado negativamente.

El propósito del presente estudio fue evaluar el rendimiento de grano (generación F₂) y sus componentes de los ocho híbridos de cruce simple de maíz producidos en la etapa previa: cuatro provenientes de las líneas A y cuatro de las líneas B desespigadas, bajo el supuesto de que ambos tipos de híbridos, al ser isogénicos, presentarán la misma productividad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en los Campos Agrícolas Experimentales Montecillo [clima C(i)B/2(a') y 2250 m de altitud] y Tecamac [clima BS1kw(w)(i')g, y 2298 m de altitud] (García, 1998), ambos pertenecientes al Colegio de Postgraduados y ubicados en el Estado de México.

El material genético estuvo constituido por ocho híbridos de maíz de cruce simple todos formados con un macho restaurador común, y como hembras a cuatro líneas androestériles (H1V1, H2V1, H3V1 y H4V1) y cuatro correspondientes a sus respectivas versiones isogénicas fértiles (H1V2, H2V2, H3V2 y H4V2) pero desespigadas manualmente. Los detalles particulares del lote de producción de la semilla híbrida se encuentran en Martínez-Lázaro *et al.* (2005). Además se incluyeron cuatro híbridos comerciales: 'HS-2' y 'Promesa', producidos por el Colegio de Postgraduados, y 'San José' y 'San Juan', generados por la Universidad Autónoma Chapingo, como testigos.

En cada localidad los híbridos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, en condiciones de riego, en el ciclo de verano de

2002. La unidad experimental constó de 4 surcos de 8.00 m de longitud y 0.80 m de separación entre surcos. La siembra fue manual, depositando dos semillas por mata cada 20 cm; posteriormente se aclaró a una planta por mata, para dejar una densidad de población final de 62,500 plantas/ha. Se aplicó la fórmula de fertilización 160N-60P-00K, en dos dosis: 80N-60P-00K a la siembra y el resto del N al segundo cultivo.

Se cosecharon las mazorcas principales de 10 plantas con competencia completa en cada unidad experimental, por lo que la parcela útil fue 1.28 m². Las variables que se sometieron a análisis estadísticos fueron los promedios respectivos del peso (PMZ), longitud (LMZ) y diámetro de mazorca (DMZ), número de hileras de granos por mazorca (HIL), número de granos por hilera (NGH) y número de granos por mazorca (NGM). Una vez que las mazorcas se desgranaron, se determinó el rendimiento de grano por mazorca (RGM) y el peso del olote (PO).

El peso de mazorca, grano y olote se registró en gramos con una báscula electrónica, de 0.01 g de precisión. La longitud, de la base al ápice de la mazorca y el diámetro, en el tercio medio, se midieron en centímetros. En el caso del número de hileras por mazorca, se consideraron sólo hileras que estuvieron completas.

El análisis de varianza combinado, así como la comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) se realizaron con base en el paquete estadístico SAS (1985). Además, se realizó una comparación específica de las medias entre las dos versiones de híbridos mediante pruebas de "t" ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza combinado (datos no presentados) indicaron que las fuentes de variación localidad e híbridos presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en todas las variables con excepción del diámetro de mazorca y el peso del olote para localidades. En cuanto a la interacción localidad x híbridos sólo hubo significancia para el número de granos por hilera, de lo que se deduce que el comportamiento relativo de los híbridos fue similar en ambas localidades para la mayoría de las demás variables.

En Montecillo los híbridos presentaron mayores promedios de rendimiento de grano y mazorcas de mayor peso, longitud, número de hileras, granos por hileras y granos por mazorca, que los mismos híbridos sembrados en Tecamac (Cuadro 1). Sin embargo, las mayores diferencias apenas fueron del orden de 7 % para el peso de la mazorca, el número de granos y el rendimiento de grano por mazorca.

Cuadro 1. Promedios por localidad, del rendimiento de grano y sus componentes de 12 híbridos de maíz.

Localidad	PMZ (g)	RGM (g)	PO (g)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HIL	NGH	GMZ
Montecillo	152.6 a	130.6 a	22.0 a	14.4 a	4.9 a	16.6 a	30.3 a	504 a
Tecamac	143.9 b	122.5 b	21.4 a	14.1 b	4.9 a	16.2 b	29.0 b	472 b
DSH	4.4	4.4	1.0	0.23	0.05	0.28	0.6	13

Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). DSH = Diferencia significativa honesta. PMZ = Peso de mazorca; RGM = Rendimiento de grano por mazorca; PO = Peso de olote; LMZ = Longitud de mazorca; DMZ = Diámetro de mazorca; HIL = Número de hileras de granos por mazorca; NGH = Número de granos por hilera; GMZ = Número de granos por mazorca.

En el Cuadro 2 se muestran los valores promedio de las características de mazorca y del rendimiento de grano de los 12 híbridos. Destaca la superioridad del peso de mazorca y sus componentes, con excepción del número de hileras por mazorca, del grupo formado por tres híbridos testigo ('HS-2', 'Promesa' y 'San José'), en los que sobresale el híbrido trilineal 'HS-2' al ocupar el primer lugar en todas las características. También se observa que prácticamente no hubo diferencias significativas entre las características de mazorca y sus componentes de ambas versiones (V1 y V2) de cada uno de los cuatro híbridos (H1, H2, H3 y H4), ni en forma individual en cada par, ni en las comparaciones conjuntas de los cuatro híbridos (parte inferior del Cuadro 2), lo que corrobora el carácter isogénico de cada par de híbridos. Esto significa que el rendimiento de grano (generación F₂) y las características de la mazorca de los híbridos simples formados utilizando un macho restaurador común y como hembras a líneas androestériles

génico-citoplásmicas (líneas A) o a sus versiones isogénicas androfértiles (líneas B) desespigadas, fueron estadísticamente de igual nivel productivo, y se corrobora así la hipótesis del estudio. En la literatura arbitrada publicada en México no se encontraron referencias en las que se compare la F₂ (o sea, la producción comercial de grano - no de semilla F₁) de híbridos isogénicos androestériles *versus* sus versiones androfértiles desespigadas.

En términos generales, se observa que dentro del grupo de los cuatro híbridos de cruce simple formados con ambas modalidades, los híbridos H1 y H4 (en sus dos versiones) fueron los de mayor rendimiento de mazorca, de grano y con mayor número de granos por mazorca, con valores estadísticamente similares a los del híbrido testigo 'San Juan', aunque éste fue el de menor rendimiento de los testigos. Para generar híbridos simples de maíz más productivos, será necesario, por un lado, identificar líneas de mayor rendimiento y con respuesta B (androfértiles, mantenedoras de la esterilidad en líneas A) con las cuales iniciar un programa de retrocruzas para convertirlas a líneas A; por otro, identificar también nuevas líneas restauradoras que combinen bien con las futuras líneas A. Sin embargo, las líneas A utilizadas en este estudio representan un avance importante pues pueden ser fuentes donadoras del carácter de androesterilidad génico-citoplásmica a líneas mantenedoras (líneas B) de mayor productividad. Estas mismas líneas A podrían también emplearse para identificar nuevas líneas restauradoras (líneas R).

Cuadro 2. Promedios del rendimiento de grano y de sus componentes de doce híbridos de maíz y comparación de las versiones isogénicas de cuatro híbridos de cruce simple.

Híbrido	PMZ (g)	RGM (g)	PO (g)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HIL	NGH	GMZ
Comparación de doce híbridos								
H1V1	134.1 b	113.8 c	20.3 b	14.2 bc	4.8 bc	17.6 a	29.8 b	524 a
H1V2	151.1 b	130.2 b	20.9 b	14.6 b	4.9 bc	17.7 a	29.8 b	527 a
H2V1	123.4 c	104.2 c	19.2 b	13.5 c	4.6 c	14.7 d	28.2 b	416 c
H2V2	129.8 c	110.3 c	19.5 b	13.3 c	4.8 bc	15.0 c	27.9 b	418 c
H3V1	136.6 b	117.5 c	19.1 b	13.8 bc	4.9 bc	17.4 a	29.2 b	509 a
H3V2	136.7 b	117.6 c	19.1 b	13.2 c	4.9 bc	17.1 ab	28.2 b	483 ab
H4V1	147.4 b	125.1 b	22.3 b	14.2 b	4.8 bc	16.7 ab	31.3 a	526 a
H4V2	135.2 b	116.5 c	18.7 b	13.8 bc	4.8 bc	16.8 ab	29.9 b	505 a
'HS-2'	181.4 a	156.4 a	25.0 a	15.6 a	5.1 a	16.1 c	32.8 a	531 a
'Promesa'	175.2 a	148.3 a	26.9 a	14.8 ab	5.2 a	16.4 b	28.8 b	474 b
'San José'	176.0 a	149.2 a	26.8 a	15.2 a	5.3 b	16.7 ab	30.4 a	510 a
'San Juan'	151.7 b	129.4 b	22.3 b	14.5 b	4.9 b	14.7 d	29.5 b	436 bc
DSH	20.7	18.6	4.1	0.97	0.24	1.19	2.53	53
Comparación de versiones isogénicas de cuatro híbridos de cruce simple								
Media de V1	135.4 A	115.1 A	20.2 A	13.9 A	4.80 A	16.60 A	29.6 A	494 A
Media de V2	138.2 A	118.7 A	19.6 A	13.7 A	4.80 A	16.60 A	28.9 A	483 A

Medias con letras minúsculas o mayúsculas diferentes son estadísticamente diferentes, respectivamente (Tukey, 0.05; o "t", $P \leq 0.05$). H1, H2, H3, H4 = Número consecutivo del híbrido simple formado con una línea A androestéril citoplásmica (V1) o con una línea B androfértil desespigada (V2), en cruce con una línea restauradora común. PMZ = Peso de mazorca; RGM = Rendimiento de grano por mazorca; PO = Peso de olote; LMZ = Longitud de mazorca; DMZ = Diámetro de mazorca; HIL = Número de hileras de granos por mazorca; NGH = Número de granos por hilera; GMZ = Número de granos por mazorca.

Se concluye que el rendimiento de grano de los híbridos de cruza simple formados con las líneas androestériles utilizadas en este estudio como progenitores femeninos, fue similar ($P \leq 0.05$) a los que se formaron con sus contrapartes isogénicas fértiles pero desespigadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Beck D L (2004)** Hybrid corn seed production. *In* Corn: Origin, History, and Production. C W Smith (ed). John Wiley & Sons. pp:565-629.
- García E (1988)** Modificaciones al Sistema de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. 4a ed. UNAM. México. 217 p.
- Duvick D N (1958)** Yields and other agronomic characteristics of cytoplasmically pollen sterile corn hybrids, compared to their normal counterparts. *Agron. J.* 50:121-125.
- SAS (1985)** SAS User's Guide: Statistics. 5th ed. SAS. Institute Inc. Cary. NC. 956 p.
- Martínez-Lázaro C, L E Mendoza-Onofre, G García-de los Santos, Ma del C Mendoza-Castillo, A Martínez-Garza (2005)** Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:127-133.
- Sandoval I E, J Sánchez M, J M Padilla G, A N Avendaño L, L J Arellano R, T González U (2003)** Sector Semillas de México: Problemática y Alternativas. CUCBA. Universidad de Guadalajara. Sistecopy S. A. de C. V. (Ed). Zapopan, Jalisco, México. 144 p.
- Tadeo R M, A Espinosa C, A M Solano, R Martínez (2001)** Esterilidad masculina para producir semilla híbrida de maíz. *Ciencia y Desarrollo XVII (157):*62-73.
- Tadeo R M, A Espinosa C, A M Solano, R Martínez (2003)** Androesterilidad en líneas e híbridos de maíz de Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 14:15-19.
- Urs W, O Kaeser, M Long, P Stamp (2002)**. Combining cytoplasmic male sterility and xenia increases grain yield of maize hybrids. *Crop Sci.* 42:1848-1856.