

PRODUCCIÓN DE SEMILLA HÍBRIDA DE MAÍZ CON LÍNEAS ANDROFÉRTILES Y ANDROESTÉRILES ISOGÉNICAS Y SU RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

CORN HYBRID SEED PRODUCTION OF MALE FERTILE AND MALE STERILE ISOGENIC LINES AND ITS RESPONSE TO FERTILIZER AND PLANT DENSITY

Carlos Martínez-Lázaro¹, Leopoldo E. Mendoza-Onofre^{1*}, Gabino García-de los Santos¹, Ma. del Carmen Mendoza-Castillo¹ y Ángel Martínez-Garza^{2†}

¹Instituto de Recursos Genéticos y Productividad (IREGEP), ²Instituto de Estadística e Informática (ISEI), Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. C. P. 56230, Montecillo, Edo. de México. Correo electrónico: leopoldo@colpos.mx

* Autor para correspondencia

RESUMEN

En la bibliografía arbitrada producida en México no se encontraron resultados de estudios en los que se comparen versiones androfértiles y androestériles citoplásMICAS de líneas de maíz (*Zea mays L.*). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos dosis de fertilización (200-100-00 y 160-60-00, kg ha⁻¹ de N-P-K) y dos densidades de población (83 000 y 62 500 plantas/ha) sobre el rendimiento y la calidad de semilla híbrida producida por cuatro líneas androestériles y cuatro androfértiles isogénicas de maíz. En el Campo Agrícola Experimental Tecamac, en el Edo. de México, Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, con un arreglo de tratamientos en parcelas divididas. El lote experimental se aisló de otros maíces y se rodeó de una línea restauradora, por lo que se formaron simultáneamente ocho híbridos: cuatro en versión androfértil y cuatro en versión androestéril. Se evaluó el rendimiento de mazorca y de semilla, los componentes del rendimiento, y la calidad de la semilla mediante la prueba de germinación estándar. Todas las variables del rendimiento y sus componentes presentaron diferencias estadísticas entre híbridos y entre las versiones androfértiles y androestériles de híbridos. El rendimiento y la calidad física de la semilla híbrida formada con líneas androestériles fue superior a la obtenida con líneas androfértiles obtenidas por desespicamiento. La germinación de la semilla no se modificó por efecto de los tratamientos.

Palabras clave: *Zea mays L.*, androesterilidad citoplásMica, calidad de semilla, semilla híbrida.

SUMMARY

Research results concerning comparisons between cytoplasmic male sterile and male fertile versions of corn (*Zea mays L.*) lines were not found in refereed literature produced in México. The objective of this study was to evaluate two fertilizer rates (200-100-00 and 160-60-00, kg ha⁻¹ of NPK) and two plant densities (83 000 and 62 500 plants/ha) on hybrid seed yield and seed quality of four male sterile and four male fertile isogenic corn lines. A field experiment was es-

tablished in the Tecamac Experimental Research Station in the State of México, under a complete randomized blocks design with a split plot treatments arrangement and three replications. The experimental plot was isolated from neighbored corn plantings and surrounded by a restorer line. Therefore, seed from eight types of hybrids was obtained: four from male fertile plants and four from the male sterile versions. Ear and seed yield, seed yield components and seed quality (using the standard germination test) were evaluated. Statistical differences among hybrids and hybrids versions (male sterile or detosald) were found for all yield and yield components traits. Seed yield and physical seed quality of the hybrids formed with male sterile lines were higher than those hybrids obtained from male fertile plants and detasseled. Seed germination was not affected by any treatment.

Index words: *Zea mays L.*, cytoplasmic male sterility, seed quality, hybrid seed.

INTRODUCCIÓN

En México se están haciendo grandes esfuerzos para aumentar el rendimiento de grano de maíz (*Zea mays L.*), debido a la importancia que tiene como alimento, forraje y materia prima para la industria. La siembra de variedades mejoradas, precedida por la producción y utilización de semilla de óptima calidad, ofrece la perspectiva de un rápido y considerable aumento en la productividad de este cereal. Para lograrlo se efectúan investigaciones en aspectos básicos y tecnológicos de la producción de semilla. La práctica del desespicamiento en la producción de semilla híbrida de maíz, es crucial ya que de su correcta ejecución depende mantener la calidad genética de la semilla.

El desespicamiento manual es caro porque requiere de 24 a 50 jornales/ha, variación que depende de la

uniformidad del progenitor femenino (Jugenheimer, 1990; Tadeo *et al.*, 2003). La utilización de diversos tipos y fuentes de androesterilidad génico-citoplásmica ha abierto nuevos horizontes en la producción comercial de híbridos al permitir emplear líneas androestériles como progenitores femeninos (Stamp *et al.*, 2000), pues los costos diminuyen al eliminar la necesidad de desespigar.

En México, algunas instituciones públicas de investigación y enseñanza, y empresas privadas, han incorporado la androesterilidad citoplásmica en líneas élite de maíz. Según Tadeo *et al.* (2001), en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se dispone del esquema completo de androesterilidad para producir los híbridos comerciales H-48 AE, H-50 AE y H-153 AE, y están en proceso programas genotécnicos para incorporar la androesterilidad en maíces con alta calidad de proteína.

Fuera de México, se han hecho estudios en los que se compara el rendimiento de semilla y otras características agronómicas de líneas e híbridos de maíz con androesterilidad citoplásmica respecto a sus versiones fértiles (Rogers y Edwardson, 1952; Duvick, 1958; Kälman *et al.*, 1985). En la mayoría de los casos, el rendimiento de semilla de las versiones androestériles ha superado al de las androfértilles. En Suiza, Stamp *et al.* (2000) indican que el rendimiento de semilla de las versiones androestériles de una crusa simple y una crusa trilineal fue mayor hasta en 19.3 y 3.9 %, respectivamente, que sus contrapartes fértiles; asimismo, el número de semillas por mazorca se incrementó hasta 11.2 y 9.5 %, respectivamente. También en Suiza, Urs *et al.* (2002) encontraron que el rendimiento promedio de grano de siete cruzas simples androestériles fue 4.7 % mayor que sus contrapartes fértiles.

Las causas del aumento en rendimiento de semilla de las versiones androestériles sobre las fértiles no han sido totalmente dilucidadas. Urs *et al.* (2002) mencionan que se desconoce hasta qué punto la esterilidad del polen *per se* contribuye a las diferencias en el rendimiento de grano entre estos materiales. Sin embargo, Uhart y Andrade (1995) indican que el efecto positivo de la esterilidad del polen puede ser explicado en términos nutrimentales, debido a que en la formación del polen fértil se requiere una demanda poderosa de nutrientes, tales como el nitrógeno, de modo que su abastecimiento a los órganos femeninos se reduce y ocasiona la disminución del rendimiento potencial de semilla.

En evaluaciones del efecto de la fertilización nitrogenada, Lemcoff y Loomis (1986) mencionan que en maíz el peso del grano y el número de granos por mazorca están influenciados positivamente por la disponibilidad de nitró-

geno; y que la variación en el número total de granos depende del número de estigmas que son polinizados. Estos mismos autores evaluaron una crusa simple de maíz en dos dosis de nitrógeno (0 y 167 kg ha⁻¹) en dos densidades de población (36 600 y 73 200 plantas/ha) y encontraron que el rendimiento de grano por mazorca estuvo más relacionado con la densidad de población que con la fertilización nitrogenada; y que fue más dependiente del número de granos por mazorca que del tamaño de los mismos. Ellos atribuyen la disminución del rendimiento de grano, ocasionada por la alta densidad de población o la escasa disponibilidad de N, a que se redujo la emergencia de estigmas de la base de la mazorca (Lemcoff y Loomis, 1994). Por su parte, Stamp *et al.* (2000), al comparar dos dosis de N (0 y 200 kg ha⁻¹) en una crusa simple y otra trilineal de maíz obtenidas por androesterilidad o por desespigamiento, encontraron que el estrés ocasionado por la deficiencia de nitrógeno redujo el número de granos por mazorca, pero la interacción entre la androesterilidad y los niveles de nitrógeno no fue significativa.

En relación con el efecto de la densidad de población sobre el rendimiento de genotipos isogénicos androfértilles y androestériles, Stamp *et al.* (2000) evaluaron dos densidades (90 y 120 mil plantas/ha) en dos cruzas de maíz: una simple y otra trilineal. Ellos encontraron que en ambas densidades, la crusa simple androestéril superó a su versión fértil en rendimiento de grano, peso de grano, número de granos por mazorca e índice de cosecha. La misma tendencia ocurrió con la crusa trilineal, aunque las diferencias a favor de la versión androestéril fueron menores que en la crusa simple, y sólo en el componente peso de grano la versión fértil superó a la estéril. Al aumentar la densidad de población, la crusa simple androestéril incrementó el rendimiento y sus componentes de semilla, mientras que en la crusa trilineal el incremento en el rendimiento no fue significativo. Por otra parte, Lemcoff y Loomis (1994) evaluaron una crusa simple de maíz en dos densidades de población (36 600 y 73 200 plantas/ha) y observaron, en la densidad mayor, una tendencia no significativa en la reducción del número de granos, y una reducción significativa del peso de grano y de la mazorca.

En México existen numerosos estudios en los que se ha evaluado el efecto de la fertilización química y de la densidad de población sobre el rendimiento de grano y de sus componentes en líneas e híbridos androfértilles de maíz, pero pocos son los que presentan información sobre la calidad de la semilla híbrida producida. Entre éstos últimos destaca el de Espinosa y Tadeo (1992), quienes evaluaron tres dosis de fertilización (160-70-30, 00-150-00, y 300-00-00, kg ha⁻¹, NPK) en dos cruzas simples de maíz y cuatro densidades de población (45, 60, 75 y 80 mil plantas/ha). Ellos encontraron que el testigo (160-70-30) y la

dosis en la que sólo se aplicó nitrógeno presentaron rendimientos similares de semilla comercial (4,406 y 4,860 kg ha⁻¹, respectivamente) pero superiores a la dosis en la que únicamente se aplicó fósforo. La densidad de población de 45 mil plantas/ha fue estadísticamente menor que las densidades de 60, 70 y 80 mil, entre las cuales no hubo diferencias significativas en el rendimiento de semilla comercial; recomiendan utilizar la densidad de 60 mil plantas/ha en los lotes de producción de semilla donde las cruzas simples se utilicen como progenitores, ya que además de tener un buen rendimiento de semilla se facilita el manejo del cultivo.

El virtud de que el uso de genotipos androestériles dentro del esquema de producción de semilla híbrida de maíz está adquiriendo importancia en México y ante la ausencia de referencias de resultados en revistas arbitradas en los que se comparan versiones androfértilles y androestériles de líneas o de cruzas simples mexicanas de maíz, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de dos dosis de fertilización y dos densidades de población sobre la producción y la calidad física y fisiológica de semilla híbrida, usando como progenitores femeninos a líneas isogénicas androestériles y androfértilles de maíz adaptadas a los Valles Altos de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fase de campo de este estudio se realizó en el Campo Agrícola Experimental Tecamac, ubicado en Tecamac, Estado de México, en condiciones de riego; la fase de laboratorio se efectuó en el Laboratorio de Análisis de Semillas localizado en el Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, ambos pertenecientes al Colegio de Postgraduados.

El material genético estuvo constituido por ocho líneas experimentales de maíz derivadas de la colecta Tlax M-29 SR, cuatro de éstas (A1, A2, A3, A4) con androesterilidad génico-citoplásica y las otras cuatro correspondieron a sus respectivas mantenedoras sin genes de restauración de la fertilidad (B1, B2, B3 y B4), o sea, eran isogénicas androfértilles.

El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, con tres repeticiones. La parcela principal estuvo integrada por cada una de las ocho líneas, la parcela secundaria por las densidades de población (62 500 y 83 000 plantas/ha), y las subparcelas fueron las dosis de fertilización (200-100-00 y 160-60-00 kg ha⁻¹, NPK). Cada cuatro surcos se sembraron dos surcos con una línea restauradora, para asegurar la disponibilidad de polen. La

unidad experimental constó de dos surcos de 5 m de longitud por 0.8 m de separación entre surcos, respectivamente.

El lote experimental se aisló de cualquier otra posible fuente de polen de maíz. Como precaución adicional y para reforzar la polinización de las líneas hembra, los cuatro costados del lote fueron sembrados de bordo con la misma línea restauradora (dos surcos a cada lado del lote y 2 m en la parte delantera y trasera del mismo, respectivamente), en dos fechas de siembra: una el mismo día que se estableció el experimento y la segunda siete días después. Antes de que las líneas androfértilles iniciaran la floración masculina se desespigaron manualmente evitando eliminar hojas. Del cruzamiento de las ocho líneas hembra con el macho restaurador se obtuvo semilla F₁ de ocho híbridos, cuatro de éstos mediante el uso de androesterilidad y los cuatro restantes por el método convencional de desespigamiento.

A la cosecha se seleccionaron las mazorcas principales de 15 plantas con competencia completa en cada unidad experimental, en las que se calculó el promedio aritmético de las siguientes variables: peso de mazorca (PESO), longitud de mazorca (LMZ), diámetro de mazorca (DMZ), hileras de semillas por mazorca (HIL), número de semillas por hilera (NSH) y número de semillas por mazorca (NSM). El peso medio de mazorca se registró en gramos con una báscula electrónica, con precisión de 0.01 g. 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 rendimiento total de semilla se obtuvo una vez desgranadas las mazorcas al pesar la semilla de cada una en una báscula electrónica.

Posteriormente, se formó una mezcla compuesta con la semilla F₁ de las 15 mazorcas de cada repetición, la cual se clasificó por su forma y tamaño en una máquina de aire con zarandas "MAZ". La semilla tipo "bola" correspondió a aquélla retenida por cribas con perforaciones oblongas y que presentaron un grosor o diámetro mayor de 5 mm; la tipo "plano" fue aquélla con un grosor menor de 5 mm. A su vez, la semilla tipo plano se clasificó en tamaños mediante una criba con perforaciones redondas: la plano grande fue aquélla con un ancho mayor de 7 mm, la plano medio entre 5 y 7 mm, y la plano chico con un ancho de semilla menor de 5 mm. Los datos de esta variable se analizaron como factorial con tres factores, y la interacción de tres factores se usó como término de error.

La prueba de germinación estándar se efectuó de acuerdo con las Reglas Internacionales para el Análisis de Semillas (ISTA, 1999; Molina *et al.*, 1992), con semilla del tipo plano medio que fue la de mayor rendimiento. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con

cuatro repeticiones. Las características principales de esta prueba, en su modalidad “entre papel”, fueron las siguientes: se extendieron dos toallas, previamente humedecidas con agua destilada, sobre una superficie plana; sobre ellas se colocaron 25 semillas distribuidas en cinco columnas y cinco hileras; enseguida se cubrieron con otras dos toallas húmedas y se enrollaron en forma de “taco”. La unidad experimental constó de cuatro tacos, los cuales se colocaron en bolsas de plástico; posteriormente estas bolsas se colocaron en una cámara germinadora a 25°C durante 7 d. Se hicieron dos conteos de plántulas, el primero a los 4 d de iniciada la prueba y el segundo y último a los 7 d. Para mantener un nivel adecuado de humedad se regó cada tercer día con agua destilada. Durante el primer conteo se eliminaron las semillas que presentaron infecciones con patógenos, así como las que no germinaron (semillas muertas), mientras que en el segundo las plántulas se clasificaron de acuerdo con el vigor que presentaron, de la siguiente manera:

Plántulas normales de alto vigor (PNVA): las que presentaron todas sus estructuras esenciales (radícula, mesocotilo, coleóptilo y plúmula) bien desarrolladas y sin problemas de enfermedades.

Plántulas normales de bajo vigor (PNBV): las que tenían sus estructuras esenciales completas, sin problemas sanitarios, pero con menor desarrollo que el grupo anterior.

Plántulas anormales (PA): aquéllas que germinaron y que presentaron alguna deficiencia de desarrollo en sus es-

tructuras esenciales, o con infecciones fungosas provenientes de la semilla.

Semillas muertas (SA): fueron las semillas embebidas que no germinaron.

Los análisis de varianza se realizaron con base en el paquete estadístico SAS (1985). La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No hubo diferencias significativas entre la floración femenina de las líneas androestériles y sus contrapartes androfértilas. La Línea 1 fue la más precoz y la Línea 4 la más tardía con 83 y 89 d, respectivamente. A pesar de que las Líneas 3 y 4 fueron las más tardías (88 y 89 d, respectivamente), la cantidad de polen disponible en el lote experimental no fue impidió una adecuada polinización, a juzgar por la formación completa de los granos en las mazorcas de esas líneas.

En el caso de las variables relacionadas con el rendimiento de mazorca y sus componentes, los factores de variación líneas y versiones de híbridos (androestériles y androfértilas) presentaron diferencias estadísticas para todas las variables, excepto en la longitud de la mazorca para el factor versiones. Los factores dosis de fertilización y densidades de población, así como las interacciones entre las fuentes de variación, no presentaron diferencias estadísticas para variable alguna (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadros medios para los componentes de rendimiento en mazorca. Tecamac, 2001.

FV	GL	LMZ	DMZ	HIL	NSH	PESO	SMZ
Repetición (R)	2	0.35	0.003	0.83	0.729	113.27	929.20
Línea (L)	3	13.51**	0.036*	66.16**	95.96**	5597.70**	66957.44**
Versión (V)	1	5.38	0.554*	13.29**	124.62**	5691.62**	71096.27**
L x V	3	3.21	0.112	2.08	2.093	145.86	2482.96
R(L x V)	14	1.18	0.074	0.98	4.98	413.98	2521.36
Fertilización (F)	1	0.49	0.0001	0.32	2.66	85.88	1477.59
L x F	3	0.87	0.0335	1.68*	1.15	103.03	1485.43
V x F	1	2.13	0.00004	1.83*	5.22	582.65	100.10
L x V x F	3	1.84	0.0061	0.038	0.78	8.34	84.87
R(L x V x F)	16	1.14	0.0185	0.408	1.70	155.80	883.23
Densidad (D)	1	4.21	0.0619	0.001	5.65	109.10	1881.41
L x D	3	0.65	0.0248	0.852	3.78	234.80	2362.10
V x D	1	1.84	0.0099	0.0965	7.88	0.006	1526.33
L x V x D	3	1.16	0.0113	0.270	0.99	52.47	663.43
F x D	1	3.03	0.0042	0.161	0.23	171.25	258.19
L x F x D	3	0.17	0.0177	0.038	1.74	143.98	625.68
V x F x D	1	0.63	0.000009	0.869	0.00008	115.37	331.45
L x V x F x D	3	0.10	0.0177	0.622	2.17	114.86	1268.07
Error	32	1.57	0.0200	0.397	2.06	198.46	871.65
CV (%)		10.22	3.53	3.69	5.20	15.35	7.43

*,**: Significación estadística al 5 y 1 % de probabilidad, respectivamente. LMZ= Longitud de mazorca; DMZ= Diámetro de mazorca; HIL= Hileras por mazorca; NSH= Número de semillas por hilera; PESO = Peso de mazorca; SMZ = Semillas por mazorca; CV = Coeficiente de variación.

Las mazorcas de las Líneas 1, 2 y 3 fueron las de mayor longitud pero también las de menor diámetro (Cuadro 2). Las Líneas 1 y 4, a pesar de que presentaron el mayor número de semillas por mazorca, su peso promedio de mazorca fue de los más bajos. Caso contrario presentó la Línea 2 que tuvo el menor número de semillas por mazorca, pero el peso medio de mazorca fue el más alto de las cuatro líneas. Este comportamiento puede atribuirse al fenómeno de compensación que presentan los diversos componentes del rendimiento: número de semillas con peso de las mismas y longitud con diámetro de mazorca, entre otros.

Con excepción de la longitud de la mazorca, en los demás componentes de rendimiento las versiones androestériles fueron estadísticamente superiores a sus contrapartes fértiles (Cuadro 2). En promedio de las cuatro líneas, las versiones androestériles superaron a las androfértiles en 18 % para peso de la mazorca y 27 % para el número de semillas por mazorca. La tendencia de estos resultados concuerda con lo informado por Urs *et al.* (2002) quienes encontraron hasta 10 % más de rendimiento de semilla en materiales androestériles de maíz que en sus contrapartes fértiles, lo cual, según Uhart y Andrade (1995) puede deberse al ahorro de energía que éstos presentan al no producir polen.

Cuadro 2. Promedios de los componentes del rendimiento de la mazorca para los factores líneas y versiones de híbridos. Tecamac, 2001.

Factor	LMZ (cm)	DMZ (cm)	HIL	NSH	PESO (g)	SMZ
Línea						
1	12.6 a	4.1 b	18 a	24 a	89.27 b	431 a
2	12.9 a	4.3 b	15 c	23 b	111.99 a	340 b
3	12.2 a	4.1 b	18 a	20 c	74.93 b	365 b
4	11.2 b	4.7 a	17 b	25 a	90.84 b	452 a
DSH	0.91	0.22	0.83	1.87	17.12	42.12
Versión de híbridos						
Androestériles	12.5 a	4.3 a	17 a	24 a	99.46 a	424 a
Desespiados	12.0 a	4.1 b	16 b	22 b	84.06 b	370 b
DSH	0.47	0.11	0.43	0.97	8.90	21.98

Medias con letras iguales en cada factor y columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). LMZ = Longitud de mazorca; DMZ = Diámetro de mazorca; HIL = Hileras por mazorca; NSH = Número de semillas por hilera; PESO = Peso mazorca; SMZ = Semillas por mazorca; DSH = Diferencia significativa honesta.

Cuadro 3. Cuadros medios de las variables de calidad física de semilla. Tecamac, 2001.

FV	GL	Rendimiento total	Bola	Suma de tipos planos	Tipos		
					Plano grande	Plano medio	Plano Chico
Híbrido (H)	3	1960789**	2190561**	759979**	840817**	863789**	233860**
Versión (V)	1	358403**	15444	4070517**	1682	4263200**	276
Dosis (F)	1	34453	43586	536	22578	28800	210
Densidad (D)	1	25651	11362	2869	722	7260	8
H x V	3	168736	91300**	98366*	35705	178566	7599
H x F	3	21504	31964	8201	35696	88453	22187*
H x D	3	10752	7584	82542	6237	44575	1400
V x F	1	25200	32067	413	144	480	1404
V x D	1	214840	11362	127386	210	95703	5886
F x D	1	42778	306	50323	242	36585	325
Error	31	62119	15260	27623	37356	49724	4837
CV (%)		7.4	15.2	6.6	72.4	11.0	30.0

*,** Significancia estadística a 5 y 1 % de probabilidad, respectivamente; CV = Coeficiente de variación.

La ausencia de diferencias significativas entre las dosis de fertilización y las densidades de población quizás se debió a que el espacio de exploración entre los niveles de los factores no fue lo suficientemente amplio para que se expresara tal efecto. Por diversas causas no se obtuvo información de la cantidad de nutrientes en el suelo al inicio y al final del experimento. Las dosis de fertilización tampoco presentaron interacción con el factor de variación líneas, por lo que los resultados obtenidos difieren con los informados por Lemcoff y Loomis (1994), quienes indican que a mayor dosis de fertilización es mayor el número de granos por mazorca.

Una vez desgranadas las mazorcas y clasificada la semilla F₁ por forma y tamaño. Se detectó que hubo diferencias altamente significativas en el factor de variación híbrido para las variables rendimiento total y rendimiento de cada tipo de semilla (Cuadro 3). Asimismo entre versiones de híbridos hubo diferencias altamente significativas en rendimiento total y rendimiento de la suma de los tipos plano y plano medio. En los factores de variación dosis de fertilización y densidades de población no hubo diferencias estadísticas y en el resto de los factores, sólo la interacción híbrido por versiones presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para producción de semilla tipo bola, y diferencias significativas para producción de semilla tipo plano ($P \leq 0.05$).

En la comparación de medias entre híbridos (Cuadro 4), el Híbrido 2 presentó el mayor rendimiento total de semilla y el Híbrido 4 fue el de mayor rendimiento de semilla de los tipos planos. En general, la mayoría de los híbridos presentaron mayor producción de semilla del tipo plano (61 a 89 %) que del tipo bola (11 a 39 %), lo cual es una característica deseable, ya que en el comercio el tipo plano es el más demandado por los productores. Aunque el tamaño de semilla muchas veces se utiliza como sinónimo

Cuadro 4. Promedios de rendimiento de semilla (g) y porcentaje de cada tipo en híbridos y versiones de híbridos. Tecamac, 2001.

Factor	Rendimiento total de semilla por mazorca (g/planta)	Plano grande	Plano medio	Tipos		
				Plano chico	Suma de los tipos planos	Bola
Híbridos						
1	70.64 b (100) [†]	2.54 b	49.08 a	6.66 b	58.29 b (83)	12.35 c (17)
2	89.57 a (100)	16.63 a	37.54 b	0.79 d	54.96 b (61)	34.61 a (39)
3	63.81 b (100)	3.53 b	40.03 b	3.54 c	47.09 c (74)	16.72 b (26)
4	71.61 b (100)	1.03 b	52.84 a	9.56 a	63.43 a (89)	8.19 d (11)
DSH	7.95	6.01	7.13	2.17	5.52	3.84
Versión de híbridos						
Androestériles	81.34 a (100)	5.77 a	53.03 a	5.07 a	63.87 a (79)	17.48 a (21)
Desespigados	66.47 b (100)	6.09 a	36.72 b	5.20 a	48.01 b (72)	18.45 a (28)
DSH	4.15	3.13	3.72	1.13	2.88	2.00

Medias con letras iguales dentro de cada factor y columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). [†]: El valor entre paréntesis corresponde al porcentaje del tipo de semilla de cada híbrido o versión de híbridos.

de calidad, las dimensiones y forma de la semilla provenientes del mismo lote de producción poco influyen sobre la calidad física, sanitaria o fisiológica de las mismas, ya que todas las semillas, independientemente de sus características morfológicas, poseen la misma información genética. Esta es la razón por la que actualmente la comercialización se lleva a cabo por forma y número de semillas y no por peso¹.

Al comparar los promedios de las dos versiones de híbridos (Cuadro 4), los androestériles superaron a los androfértilles producidos por desespigamiento, en rendimiento total de semilla, producción de semilla de los tipos planos y semilla plano medio, en 22, 33 y 44 %, respectivamente. Segundo Uhart y Andrade (1995), el gasto de energía y nutrientes, como el nitrógeno, en la formación del polen es la causa más probable de que las líneas androfértilles presenten menor rendimiento que sus contrapartes androestériles.

En la prueba de germinación estándar (Cuadro 5) se detectaron diferencias significativas entre híbridos ($P \leq 0.01$) para la variable plántulas normales de alto vigor, y también ($P \leq 0.05$) para las variables plántulas normales de bajo vigor y plántulas anormales. Entre versiones de híbridos, la variable plántulas normales de bajo vigor presentó diferencias significativas ($P \leq 0.01$), al igual que la variable plántulas normales de alto vigor ($P \leq 0.05$). No hubo diferencias estadísticas para dosis de fertilización y densidades de población, ni para la mayoría de las interacciones, entre los factores de variación principales.

Con base en los resultados de la prueba de germinación estándar, los Híbridos 1, 2, y 3 son los que en campo lograrían establecerse con las mayores densidades de población, y por ende, mayor número de individuos potencialmente productivos. El Híbrido 4 presentó el menor número de plántulas normales de bajo vigor y el mayor número de semillas muertas, por lo que sería el híbrido que en condiciones de campo presentaría una densidad de población menor que los demás (Cuadro 6).

Cuadro 5. Cuadros medios de las variables en la prueba de germinación estándar. Tecamac, 2001.

FV	GL	PNAV	PNBV	PA	SM
Híbrido (H)	3	10068 **	4193 *	4883 *	3450
Versión (V)	1	5954 *	22551**	2227	61
H x V	3	1533	1761	2508	437
Fertilización (F)	1	132	2964	195	1561
H x F	3	1738	1754	2278	1463
V x F	1	1	2056	2628	586
H x V x F	3	1175	476	1393	577
Densidad de población (D)	1	6	47	11	315
H x D	3	1000	1806	592	401
V x D	1	315	197	264	36
H x V x D	3	2572	1061	2354	363
F x D	1	2295	621	760	190
H x Fx D	3	3265 *	1726	3065 *	1561
V x Fx D	1	138	0	693	99
H x V x F x D	3	1649	810	214	27
Error	96	986	887	106	1313
CV (%)		48.6	46	50.6	56.0

*,** Significancia estadística a 5 y 1 % de probabilidad, respectivamente.

PNAV = Plántulas normales de alto vigor; PNBV = Plántulas normales de bajo vigor; PA = Plántulas anormales, SM = Semillas muertas; CV = Coeficiente de variación.

¹Anónimo. 2002. Catálogo CERES para híbridos de maíz y sorgo. Ceres Intenacional de Semillas, S.A. de C.V. 33 p.

Cuadro 6. Promedios de las variables en la prueba de germinación estándar en híbridos y versiones de híbridos. Tecamac, 2001.

Factor	PNAV	PNBV	PA	SM
Híbridos				
1	21 a	1 b	2 a	1 b
2	22 a	1 b	1 a	1 b
3	21 a	2 a	1 a	1 b
4	18 b	2 a	2 a	2 a
DSH	1.66	0.95	1.40	0.90
Versión de híbridos				
Androestériles	21 a	1 b	2 a	1 a
Despigados	20 b	2 a	1 a	2 a
DSH	0.89	0.51	0.76	0.48

Medias con letras iguales dentro de cada factor y columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). PNAV = Plántulas normales de alto vigor; PNBV = Plántulas normales de bajo vigor; PA = Plántulas anormales; SM = Semillas muertas.

Respecto a los promedios entre versiones de híbridos, en general, la semilla de la versión androestéril produjo un mayor número de plántulas normales de alto vigor y menor cantidad de plántulas normales de bajo vigor, que la semilla híbrida obtenida por desespigamiento (Cuadro 6). Sin embargo, desde el punto de vista agronómico y en el caso de su eventual establecimiento en lotes de producción, tales diferencias serían prácticamente nulas, ya que al sumar las plántulas normales de alto y bajo vigor (que son las que mayor probabilidad tienen de establecerse en campo) se tendrían 22 y 23 plántulas normales, respectivamente, equivalentes a 88 y 92 %, proporciones que superan a la Norma Oficial Mexicana (85 %), por lo que se concluye que el método de producción de semilla híbrida no afecta la calidad fisiológica de la semilla.

CONCLUSIONES

Hubo diferencias significativas para el rendimiento, componentes del rendimiento y calidad de semilla entre las cuatro líneas de maíz. Las versiones androestériles superaron a sus contrapartes fértiles en la mayoría de los caracteres relacionados con el rendimiento de mazorca y de semilla, pero no para el porcentaje de germinación de la semilla tipo plano medio, que fue el tamaño más frecuente. Los niveles de fertilización y densidad de población no causaron diferencias significativas.

AGRADECIMIENTOS

Al M. C. Julio Arturo Estrada Gómez por haber facilitado el germoplasma para realizar este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Espinosa C A, M Tadeo R (1992) Producción de semilla del híbrido doble de maíz H-137 en respuesta a la fertilización y densidad de población. Rev. Fitotec. Mex. 15:1-9.
- ISTA (1999) International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association (Ed.). Zurich, Switzerland. 321 p.
- Jugenheimer R W (1990) Maíz, Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas. Ed. LIMUSA. pp:489-502.
- Kálman L, L Pintér, Z Pintér (1985) Comparative study on major agronomic characteristics of male fertile (normal) and cytoplasmic male sterile analogues in maize (*Zea mays* L.). Acta Agron. Acad. Sci. Hung. 34:128-134.
- Lemcoff J H, R S Loomis (1986) Nitrogen influences on yield determination in maize. Crop Sci. 26:1017-1022.
- Lemcoff J H, R S Loomis (1994) Nitrogen and density influences on silk emergence, endosperm development, and grain yield in maize (*Zea mays* L.). Field Crops Res. 38: 63-72.
- Molina M J, D Lisakowski, E Paulo (1992) Pruebas de vigor para semillas de maíz y su relación con emergencia en campo. Rev. Fitotec. Mex. 15:10-21.
- Rogers J S, J R Edwardson (1952) The utilization of cytoplasmic male-sterile inbreds in the production of corn hybrids. Agron. J. 44:8-13.
- SAS (1985) SAS User's Guide: Statistics. 5th SAS. Institute Inc. Cary. N. C. 956 p.
- Stamp P, S Chowchong, M Menzi, U Weingartner, O Kaeser (2000) Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. Crop Sci. 40:1586-1587.
- Tadeo R M, A Espinosa C, A M Solano, R Martínez (2001) Esterilidad masculina para producir semilla híbrida de maíz. Ciencia y Desarrollo. Vol. XXVII (157):62-73.
- Tadeo R M, A Espinosa C, A M Solano, R Martínez (2003) Androestérilidad en líneas e híbridos de maíz de Valles Altos de México. Agron. Mesoamericana 14(1):15-19.
- Uhart S A, F H Andrade (1995) Nitrogen deficiency in maize: I Effects on crop growth, development, dry matter partitioning. Crop Sci. 35:1376-1383.
- 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.