

## Semilla fértil y androestéril de maíz bajo diferentes densidades de población

### Fertile and male-sterile seed production maize under different plant densities

Enrique Inoscencio Canales-Islas<sup>1</sup>, Margarita Tadeo-Robledo<sup>2</sup>, José Apolinar Mejía-Contreras<sup>1</sup>, J. Jesús García-Zavala<sup>1</sup>, Alejandro Espinosa-Calderón<sup>3\*</sup>,

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. CP. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, FES Cuautitlán, CP. 54740 Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México, México.

\*Autor de correspondencia: espinoale@yahoo.com.mx

Artículo científico recibido: 06 de marzo de 2016 aceptado: 07 de marzo de 2017

**RESUMEN.** El objetivo fue determinar el rendimiento de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz (*Zea mays* L.) androestériles y fértiles, y la proporción de la mezcla de semilla androestéril (AE) y fértil (F), en las densidades de población de 50 000 y 70 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Se establecieron cuatro experimentos en el ciclo primavera-verano 2012, dos en Cuautitlán Izcalli, México y dos en Santa Lucía, Texcoco, Estado de México, bajo punta de riego. El análisis de varianza para rendimiento detectó significancia ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes, genotipos, densidades de población e interacción Genotipo x Ambiente, y entre proporción de semilla androestéril y fértil ( $p \leq 0.05$ ). Los mayores rendimientos los tuvo el híbrido H-53 con 7 438 kg ha<sup>-1</sup>, y el ambiente de Cuautitlán Izcalli en la segunda fecha de siembra con 6 877 kg ha<sup>-1</sup>. La densidad de 70 000 plantas ha<sup>-1</sup> tuvo un rendimiento de 6 534 kg ha<sup>-1</sup>, mientras en 50 000 plantas ha<sup>-1</sup> fue de 6 038 kg ha<sup>-1</sup>. El tratamiento con 100 % de semilla AE (6 540 kg ha<sup>-1</sup>) fue superior a la versión fértil (6 113 kg ha<sup>-1</sup>); las proporciones de semilla de 33 % AE y 67 % F (6 290 kg ha<sup>-1</sup>), y 66 % AE y 34 % F con rendimiento 6 200 kg ha<sup>-1</sup>, fueron iguales estadísticamente; en forma práctica conviene la combinación de 66 % AE y 34 % F en la producción de semilla.

**Palabras clave:** Androesterilidad, densidad de población, híbridos trilineales, proporciones de semilla AE y Fértil, rendimiento, *Zea mays*

**ABSTRACT.** The objective was to determine the grain yield of four maize (*Zea mays* L.) three-way hybrids with male sterile and fertile, the mix ratio of male sterile (AE) and fertile (F) seeds, in 50 000 to 70 000 plants ha<sup>-1</sup> population densities. Four experiments were carried out during the 2012 spring-summer cycle: two in Cuautitlán Izcalli and two in Santa Lucia, Texcoco, in the State of Mexico, under the punta de riego system one or two irrigations at the start, followed by rainfed irrigation. Yield variance analysis detected significance ( $p \leq 0.01$ ) between environments, genotypes, population densities, and genotype x environment interaction, as well as male sterile and fertile seed ratio ( $p \leq 0.05$ ). The greater yields were found in hybrid H-53 (7 438 kg ha<sup>-1</sup>) and the Cuautitlán Izcalli environment, in the second sowing date (6 877 kg ha<sup>-1</sup>). The 70 000 plants ha<sup>-1</sup> density had a 6 534 kg ha<sup>-1</sup> yield, while the 50 000 plants ha<sup>-1</sup> density had a 6 038 kg ha<sup>-1</sup> yield. The treatment with 100 % AE seeds (6 540 kg ha<sup>-1</sup>) was higher than the treatment with fertile seeds (6 113 kg ha<sup>-1</sup>); the 33 % AE and 67 % F seeds ratio (6 290 kg ha<sup>-1</sup>) and the 66 % AE and 34 % F ratio (6 200 kg ha<sup>-1</sup>) were statistically similar. In practice, the 66 % AE and 34 % F combination is better for seed production.

**Key words:** Male sterility, population density, three-way hybrids, male sterile and fertile seed ratio, yield, *Zea mays*

## INTRODUCCIÓN

La androesterilidad es la incapacidad que

tienen las plantas para producir anteras, polen o granos de polen funcionales; la primera referencia que se tiene es sobre su utilización en la producción de

semilla híbrida de cebolla (Jones y Clarke 1943). La cual también se utiliza en la producción de semilla híbrida de maíz (*Zea mays* L.), para incrementar el rendimiento y la calidad genética de la semilla (Martínez et al. 2005), con lo que se evita el desespigamiento manual del progenitor hembra en la formación del híbrido, actividad que requiere de 24 a 50 jornales por hectárea (Poehlman 2005). Cuando se emplean plantas androfértiles, un factor que afecta la efectividad del desespigamiento es la uniformidad del progenitor femenino, la presencia de hijos, y la facilidad de retirar la espiga (Martínez et al. 2005).

La androesterilidad dejó de utilizarse en los Estados Unidos por las empresas semilleras en la década de los setentas debido a la enfermedad del tizón foliar (*Bipolaris maydis*), que causó una epifitía en la faja maicera (Simmons et al. 2001). Como alternativa, al uso generalizado de una sola fuente de esterilidad masculina citoplásmica (EMC), a finales de los setentas y principios de los ochentas, se encontraron nuevas fuentes de esterilidad masculina citoplasmática, como la EMC tipo C y la EMC tipo S. Por lo que la EMC tipo T fue descartada por la susceptibilidad a *Bipolaris maydis* raza T (Vancevovic et al. 2010).

En los Valles Altos Centrales de México, se siembran 600 mil hectáreas con maíz, de las que 300 mil se establecen en condiciones de riego y buen temporal, con rendimiento medio de 3.5 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en las otras 300 mil se establecen en condiciones de temporal con rendimiento promedio de 1.2 t ha<sup>-1</sup>, bajo condiciones de lluvias tardías, lo que limita la fecha de siembra y la productividad (Espinosa et al. 2010). Las formas en las que el productor de semilla puede aprovechar el carácter de androesterilidad de manera eficaz durante el proceso de incremento de la semilla, es cuando se emplea un progenitor macho del híbrido a producir, al que se le incorpora la capacidad restauradora de la fertilidad (Hu et al. 2006), para polinizar y fecundar al progenitor femenino, que puede ser una cruce simple androestéril o línea androestéril (Ba et al. 2014). La segunda forma de utilizar la androesterilidad, es haciendo mezclas de semilla an-

droestéril y andro fértil en diferentes proporciones (Espinosa et al. 2009, Tadeo et al. 2010). Lo que se logra, estableciendo la proporción óptima de semilla en el lote de producción, en el que se desespiga de forma manual la fracción fértil, revisando la fracción androestéril para asegurar que no haya plantas que liberen polen; y en la cosecha mezclar las tener la proporción deseada (Poehlman 2005). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue determinar el potencial de rendimiento de cuatro híbridos trilineales de maíz con esquema de androesterilidad, e identificar la mejor combinación de los factores de estudio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el ciclo primavera-verano 2012 en terrenos de la FESC-UNAM en el municipio de Cuautitlán Izcalli y en Santa Lucía de Prías, a una altitud de 2 274 m; mientras que la segunda localidad fue en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2 240 m. En las dos localidades se sembraron ensayos uniformes en dos fechas de siembra. En la FES-UNAM las siembras se realizaron el 21 de mayo y 1 de junio de 2012, mientras que en el CEVAMEX-INIFAP las siembras se realizaron el 18 y 29 de mayo del mismo año. En todos los ensayos se utilizaron las densidades de 55 000 y 70 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Se utilizaron los híbridos trilineales Puma 1183 AEC1 y Puma 1183 AEC2 de la UNAM, H-53 AE y H-57 del INIFAP, en sus versiones androestériles y fértiles. Las proporciones de semilla androestéril y fértil evaluadas fueron: 1) 100 % de semilla androestéril, 2) 66 % de semilla androestéril y 34 % de semilla fértil, 3) 34 % de semilla androestéril y 66 % de semilla fértil, y 4) 100 % de semilla fértil. La proporción de semilla de cada tratamiento se obtuvo con la mezcla de semilla androestéril y fértil. En las parcelas de semilla 100 % androestéril, la polinización provino de bordos de plantas fértiles alrededor de los ensayos.

Las fechas de siembra dentro de cada localidad se tomaron como ambientes, por lo que se consideran cuatro ambientes. En todos los ambientes, se aplicó un riego después de la siembra. Para el control de malezas se aplicó Gesaprim<sup>®</sup> (Atrazina) en dosis de 2 kg ha<sup>-1</sup> y Hierbamina<sup>®</sup> (2-4D amina) en dosis de 2 L ha<sup>-1</sup>. La cosecha se realizó el 10 y 17 de diciembre de 2012 en Cuautitlán Izcalli y Santa Lucía, Texcoco, respectivamente.

La parcela experimental fue un surco de 5 m de largo y 0.80 m entre surcos. Bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones; para el análisis estadístico de los datos se aplicó un análisis combinando entre ambientes con arreglo factorial, considerando como fuentes de variación los genotipos, proporciones de semilla, densidades de población, ambientes y sus interacciones. De acuerdo con la forma en que se condujo el experimento, las diferentes proporciones de plantas estériles y fértiles de cada unidad experimental se polinizaron de forma libre, asumiéndose que la producción de las plantas androfértiles alrededor del experimento y dentro, en cada proporción, producen suficiente polen, por lo que no hay limitación por polinización y fecundación.

Las variables evaluadas fueron rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>), calculado con la fórmula: Rendimiento = (PC × % MS × % G × FC)/8600. Donde: PC = peso de mazorcas cosechadas (kg) en la unidad experimental, % MS = por ciento de materia seca de una muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas, % G = por ciento de grano estimado a partir de cinco mazorcas, FC = Factor de conversión para obtener el rendimiento de grano por ha, siendo el cociente de dividir 10 000 m<sup>2</sup> entre el tamaño de la parcela útil en m<sup>2</sup> y 8 600 = es una constante para estimar el rendimiento de grano comercial con humedad del 14 % (Espinosa et al. 2009). Altura de planta (cm), medida desde la base del tallo hasta el nudo de la hoja bandera. Altura de mazorca (cm), medida desde la base del tallo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior. Longitud de mazorca (cm) desde la base de la mazorca hasta el último grano de la punta, número de granos por hilera y número de granos

por mazorca; para estas tres últimas variables se utilizó el promedio de una muestra de cinco mazorcas representativas por parcela. Los análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey al 0.05 de probabilidad, se realizaron con el Programa SAS versión 9.0.

## RESULTADOS

El análisis de varianza combinado detectó diferencias para rendimiento de grano ( $p \leq 0.01$ ) entre ambientes, genotipos, densidades de población e interacción Genotipo × Ambiente, y la proporción de semilla androestéril y fértil fue significativa ( $p \leq 0.05$ ). La media de rendimiento fue de 6 286 kg ha<sup>-1</sup>, con coeficiente de variación de 18 %, el cual es aceptable para las condiciones en las que se realizó el experimento (Tabla 1). Entre ambientes se registraron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) para las variables altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, número de granos por hilera y granos por mazorca. Mientras que entre genotipos se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) para las variables altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, número de granos por hilera y granos por mazorca. En los factores de variación densidades de población y proporción de semilla AE y F se tuvieron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) para la variable altura de mazorca. La interacción Genotipo × Ambiente fue significativa ( $p \leq 0.01$ ) para las variables rendimiento, altura de mazorca, longitud de mazorca y número de granos por hilera. La interacción Genotipo × Densidad de población fue significativa ( $p \leq 0.05$ ) para las variables rendimiento y número de granos por mazorca. La interacción Genotipo × Proporción tuvo diferencia estadística ( $p \leq 0.05$ ) para la variable altura de mazorca (Tabla 1). Los resultados indican que todos genotipos fueron diferentes entre sí, por su composición genética, y por su respuesta al efecto ambiental.

Las medias entre genotipos, considerando las proporciones de semilla androestéril y fértil en los cuatro ambientes de prueba, indican que el híbrido H-53 AE tuvo el mayor rendimiento (7 438 kg ha<sup>-1</sup>),

**Tabla 1.** Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza combinado de variables evaluadas en híbridos de maíz y dos densidades de población.

Fuente de Variación	Variables						
	G L	REND.	AP	AM	LM	GH	GM
Ambientes (A)	3	17074478.6**	9571.3**	16496.9**	20.1**	96.5**	41119.2**
Bloque(Amb) (B)	8	6113437.7**	635.3*	301**	3.8**	15.1**	3316.9
Genotipo (G)	3	69920409.3**	10388.9**	4619.9**	5.3**	58.6**	1061.2
Densidad (D)	1	23596325.2**	446.3	587.6*	0.1	1.6	6783.8
Proporción (P)	3	3255702.3*	497.9	327.2*	0.7	11.5	4671.1
A X D	3	951219.1	95.3	192.1	1.4	6.9	2573.5
A X P	9	1380333.7	171.8	103.8	1.2	4.1	3217.8
A X G	9	4543142.2**	134.6	766.3**	5.5**	13.4**	2467.9
D X P	3	992023.4	89.7	209.1	0.46	6.1	3336.4
G X D	3	3822406*	343.9	289.6	1.2	6.3	6123.6*
G X P	9	1533966	268	419.4**	0.6	2.8	3297.7
A X D X P	9	714359.5	99.4	100.6	0.6	5.9	1562.5
A X G X D	9	985828.5	105.3	108.6	1.6	4.8	2410.3
A X G X P	27	1005897.4	198.8	75.7	1.3	3.3	1246.1
G X D X P	9	1520664.2	171.5	267*	0.9	3.1	1758.8
A X G X D X P	27	629532.3	174.2	117.6	1.6	7.2	2303.8
C.V.		18.0	5.9	8.9	7.03	7.2	10.6
Media		6286	250.4	120.7	15.2	31	451.2

G L: Grados de libertad; REND.: Rendimiento; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; LM: Longitud de Mazorca; GH: Granos por hilera; GM: Granos por mazorca; kg ha<sup>-1</sup>: kilogramos por hectárea; cm: centímetros. Significancia estadística al 0.01 de probabilidad (\*\*), al 0.05 de probabilidad (\*); CV: Coeficiente de variación (%).

**Tabla 2.** Medias de rendimiento, altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, granos por hilera y granos por mazorca de cuatro híbridos de maíz.

Genotipo	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	GH	GM
H-53 AE	7438.4 a*	257.4 a	130.1 a	15.5 a	31.6 a	454
H-57	6216.6 b	259.6 a	119.5 b	14.9 b	29.8 b	454
PUMA 1183 AEC2	6107.1 b	247.9 b	119.6 b	15.3 ab	31.3 a	446
PUMA 1183 AEC1	5380.4 c	236.8 c	113.5 c	15.3 ab	31 a	452
D.M.S.H. (0.05)	419.9	5.6	4	0.4	0.8	18

\*Medias en columnas con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; LM: Longitud de Mazorca; GH: Granos por hilera; GM: Granos por mazorca.

superando en 16.4, 17.9, y 27.7 % a los híbridos H-57 AE, Puma 1183 AEC2 y Puma 1183 AEC1, respectivamente (Tabla 2). Las altura de planta osciló de 236.8 y 257.4 cm, mientras que la altura de mazorca fue de 113.5 a 130.1 cm. La fluctuación en la longitud de mazorca fue de 14.9 a 15.5 cm, y el número de granos por hilera de 29.8 a 31.6.

Para ambientes, el de mayor rendimiento en la segunda fecha de siembra fue para Cuautitlán con 6 877 kg ha<sup>-1</sup>, seguido de Santa Lucía con 6 293 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 3). A través de ambientes, la altura de planta fue de 257 a 236 cm, la altura de mazorca de 111 a 139 cm, la longitud de mazorca de 14.8 a 15.9 cm, el número de granos por hilera tuvo valores de 29.8 a 32.2, y el número de granos

por mazorca de 425 a 468. En la comparación de medias entre las densidades de población, la densidad de 70 000 plantas por ha<sup>-1</sup> fue la que tuvo el mayor rendimiento con 6 534 kg ha<sup>-1</sup>, mientras en 60 000 plantas por ha<sup>-1</sup> se tuvo un rendimiento de 6 038 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 4).

Para el comportamiento medio de las proporciones de semilla androestéril y fértil, el rendimiento fue mayor en la proporción de semilla de 100 % AE con 6 540 kg ha<sup>-1</sup>, seguida de la proporción 33 % AE y 67 % F con 6 290 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 5). Para altura de mazorca, los valores fueron de 118 a 123 cm. Cuando se analizó la respuesta al rendimiento de cada proporción de semilla para los cuatro genotipos (Figura 1), la proporción de semilla con mayor

**Tabla 3.** Medias de rendimiento de grano, altura de planta, altura de mazorca, longitud de mazorca, granos por hilera y granos por mazorca en diferentes ambientes.

Ambiente	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	GH	GM
Cuautitlán F2.	6877 a*	236 b	120 b	15.9 a	30.9 b	467 a
Santa Lucía F2.	6293 b	257 a	111 c	15 b	32.2 a	468 a
Cuautitlán F1.	6033 b	253 a	139 a	15.2 b	30.6 bc	445 b
Santa Lucía F1.	5940 b	257 a	112 c	14.8 b	29.8 c	425 c
D.M.S.H. (0.05)	420	6	4	0.4	0.8	18

\*Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

F1 y F2: Fechas de siembra; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; LM: Longitud de Mazorca; GH: Granos por hilera; GM: Granos por mazorca.

**Tabla 4.** Comportamiento medio en dos densidades de población de cuatro híbridos evaluados en versiones fértiles y androestériles.

Densidades	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	GH	GM
70 000 plantas ha <sup>-1</sup>	6534 a*	251	122 a	15.2	31	447
50 000 plantas ha <sup>-1</sup>	6038 b	249	119 b	15.2	31	455
D.M.S.H. (0.05)	226	3	2.2	0.2	0.45	10

\*Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca; LM: Longitud de Mazorca; GH: Granos por hilera; GM: Granos por mazorca.

productividad fue con 100 % AE en los híbridos PUMA 1183 AEC1 y H-57, la proporción de semilla 100 % fértil fue mayor en el híbrido PUMA 1183 AEC2, y la proporción de semilla de 66 % AE y 34 % F fue mejor en el híbrido H-53. El rendimiento en las diferentes proporciones de semilla fue mayor a los 7 300 kg ha<sup>-1</sup>. Las proporciones de semilla 100 % Androestéril y las versiones androestériles y fértiles, en el promedio de los genotipos Puma 1183 AEC1, Puma AEC2, H-57 AE, y H-53 AE, confirman que sus rendimientos fueron similares, por lo que pueden emplearse en cualquiera de las combinaciones de mezcla de semilla AE y F, para lo cual debería validarse esta información en parcelas grandes de cada proporción para su uso en forma comercial. En la interacción genotipo x ambiente el híbrido H-53 AE tuvo el mayor rendimiento en los cuatro ambientes de prueba, con rendimientos superiores a los 7 400 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2), el ambiente de Cuautitlán en la primer fecha de siembra tuvo un rendimiento de 6 769 kg ha<sup>-1</sup>.

## DISCUSIÓN

La media general de rendimiento fue de 6 286 kg ha<sup>-1</sup>, superior a la media nacional, que va de

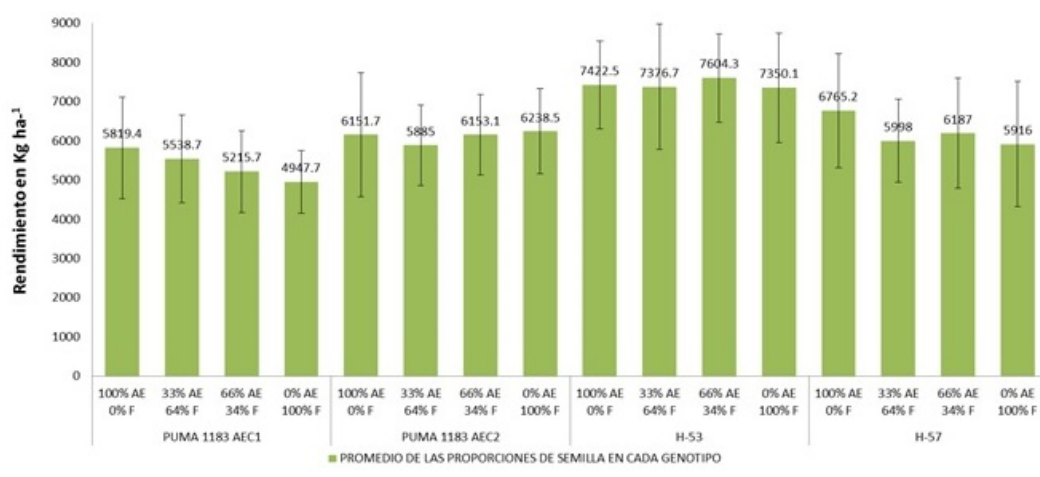
2.8 a 3 t ha<sup>-1</sup> (Turrent 2009), y de la del estado de México de 1.2 t ha<sup>-1</sup> (Espinosa et al. 2010). El comportamiento superior del híbrido H-53 AE confirma su capacidad productiva y buenos resultados observados en otros estudios (Espinosa et al. 2012). El rendimiento similar entre los híbridos Puma 1183 AEC2 y Puma 1183 AEC1 puede deberse a que ambos híbridos tienen el mismo progenitor macho. Los híbridos de mayor altura de planta fueron H-53 AE y H-57 AE, mientras que la menor altura la tuvo el híbrido Puma 1183 AEC1. El híbrido H-53 AE presentó mayor altura de mazorca. Mientras que la mayor longitud de mazorca y mayor número de granos por hilera lo tuvo el híbrido H-53 AE, siendo también el híbrido con mayor número de granos por hilera, granos por mazorca y rendimiento (Tabla 2).

El ambiente de la segunda fecha de siembra en Cuautitlán produjo el mayor rendimiento con 6 877 kg ha<sup>-1</sup>, el cual es diferente estadísticamente al rendimiento de los otros ambientes (Tabla 3). El mejor rendimiento en el ambiente de Cuautitlán en la segunda fecha de siembra puede deberse a que fue favorecido por una mayor disponibilidad de humedad, así como al escape a un periodo seco en las primeras etapas del cultivo. Resultados opuestos a los obtenidos por Tadeo et al. (2010) que ob-

**Tabla 5.** Comportamiento medio de cuatro proporciones de semilla androestéril y fértil considerando la media de cuatro híbridos evaluados en dos densidades de población y cuatro ambientes.

Proporción semilla		Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	GH	GM
% AE	% F						
100	0	6540 a	249	123 a	15.3	31.3	459
33	67	6290 ab	251	120 ab	15.1	30.6	443
66	34	6200 ab	249	118 b	15.2	31	454
0	100	6113 b	254	121 ab	15.2	30.6	448
D.M.S.H. (0.05)		420	5.6	4	0.4	0.8	18

\*Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).  
 AE: Androestéril; F: Fértil; AP: Altura de planta; AM: Altura de mazorca;  
 LM: Longitud de Mazorca; GH: Granos por hilera; GM: Granos por mazorca.

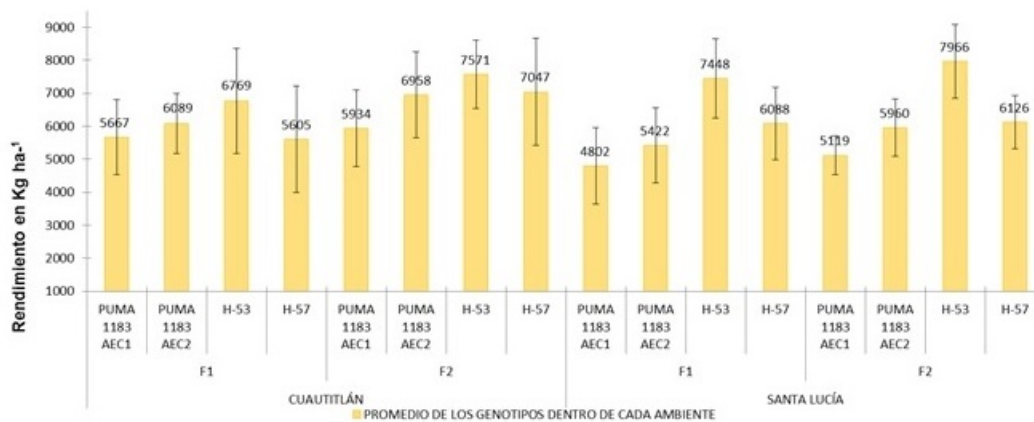


**Figura 1.** Comportamiento medio del rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) y error estándar de las cuatro proporciones de semilla evaluadas en los cuatro genotipos, bajo dos densidades de población probadas en cuatro ambientes. Ciclo Primavera - Verano 2012. AE: Androestéril; F: Fértil; kg ha<sup>-1</sup>: kilogramos por hectárea.

tuvo los mayores rendimientos en el CEVAMEX, considerándose la fecha de siembra tardía como factor determinante para la mayor expresión del rendimiento de grano. En la segunda fecha de siembra en Cuautitlán se presentaron los mayores valores de longitud de mazorca y número de granos por mazorca, mismos que fueron diferentes estadísticamente con respecto a los otros ambientes, lo que pudo contribuir a la mejor expresión del rendimiento (Tabla 3).

La diferencias entre las densidades de población indica que la densidad de población de 70 000 plantas por hectárea tuvo el mayor rendimiento con 6 534 kg ha<sup>-1</sup>, que es estadísticamente diferente a la densidad de 50 000 plantas por hectárea. El rendimiento fue afectado de forma favorable por la densidad de 70 000 plantas por hec-

tárea, comportamiento similar al que obtuvieron Espinosa *et al.* (2004) y Virgen *et al.* (2010), quienes señalan que el rendimiento de grano se incrementa al aumentar la densidad de población (Tabla 4). La altura de mazorca fue mayor en la densidad de 70 000 plantas por hectárea con 122 cm, comparada con la de 50 000 plantas por hectárea que fue de 119 cm. Para el resto de las variables no se encontraron diferencias estadísticas entre las densidades de población (Tabla 4), lo que indica que no fue afectada por el incremento en el número de plantas por hectárea. Lo que puede deberse a la propia naturaleza de los genotipos utilizados en el estudio, los cuales tienen buena respuesta al incremento en la densidad de población (Espinosa *et al.* 2012). Entre proporciones de semilla hubo diferencias estadísticas en el análisis de varianza combinado, siendo la pro-



**Figura 2.** Comportamiento medio del rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>) y error estándar de cuatro híbridos evaluados en cuatro ambientes, bajo dos densidades de población y versiones fértiles y androestériles. Ciclo Primavera - Verano 2012. F1: Fecha de siembra 1; F2: Fecha de siembra 2.

porción de semilla 100 % androestéril la que tuvo el mayor rendimiento de grano con 6 540 kg ha<sup>-1</sup>, valor que es estadísticamente diferente ( $p \leq 0.05$ ) a la versión 100 % fértil con 6 113 kg ha<sup>-1</sup>. En el caso de la versión 100 % androestéril, no sería viable en forma práctica, en producciones comerciales de semilla, ya que es necesario que haya un macho polinizador para que ocurra la fecundación, formación de grano y rendimiento.

Al utilizar la androesterilidad en diferentes proporciones de semilla se incrementa el rendimiento y se mantiene la calidad genética del híbrido, al respecto Feil *et al.* (2003) señalan que las versiones isogénicas androestériles rinden un 7.6 % más que las versiones fértiles. Mientras que Weingartner *et al.* (2004), reportan mayores rendimientos en las versiones androfértiles, y Martínez *et al.* (2005) reportan que las versiones androfértiles fueron un 18 y 27 % superiores a los materiales androestériles en peso de la mazorca y número de semillas por mazorca. Sobre la proporción de semilla fértil y androestéril Espinosa *et al.* (2009) determinaron que con el 90 % semilla androestéril y 10 % semilla fértil, se tienen rendimientos superiores al testigo 100 % fértil y las combinaciones de semilla con 90, 80 y 60 % semilla androestéril, con la contraparte de semilla fértil, produjeron 16.6, 15.8, 14.5 y 11.6 % más con respecto al tratamiento 100 % fértil.

En la interacción Genotipo x Proporción de semilla no hubo diferencias en el análisis de varianza combinado para rendimiento, esto puede deberse a que siempre hubo disposición de polen de las plantas de las unidades experimentales contiguas que polinizaron y fecundaron a las plantas de las unidades experimentales con proporciones de semilla androestéril, lo que aseguró el rendimiento en todos los tratamientos. Las diferentes proporciones de semilla androestéril y fértil permitió identificar el efecto de la androesterilidad de las diferentes mezclas de semillas en la expresión del rendimiento de los cuatro genotipos evaluados. El híbrido trilineal H-53 AE expresó el rendimiento promedio más alto en las cuatro proporciones de semilla, en comparación con los otros híbridos. Las proporciones de semilla de 33 % androestéril y 67 % fértil, y de 66 % androestéril y 34 % fértil, tuvieron rendimientos adecuados en todos los híbridos, siendo éstas las proporciones de semilla recomendables en siembras comerciales.

La significancia de la interacción Genotipo x Ambiente indica que los genotipos se comportaron de manera diferencial en los ambientes, y que las variables evaluadas estuvieron influenciadas por el efecto del ambiente. Hubo mayor variación en el rendimiento en la primera y segunda fecha de siembra de Santa Lucía, Texcoco, en compara-

ción a la primera y segunda fecha de siembra de Cuautitlán Izcalli (Figura 2). La primer y segunda fecha de siembra en Cuautitlán mostraron mayores rendimientos que las respectivas fechas de siembra en Santa Lucía. Estos resultados indican que el rendimiento pudo verse influenciado por factores climáticos dentro de cada ambiente, como la precipitación, temperatura o por las características del suelo, considerando que el suelo de Cuautitlán es de textura arcillosa, por lo que tiene mayor capacidad de retención del agua, además que el contenido de materia orgánica es mayor, lo que aumenta su capacidad de retención del agua.

## CONCLUSIONES

El híbrido trilineal de maíz H-53 tuvo el mayor rendimiento con media de 7 438 kg ha<sup>-1</sup>. La densidad de población de 70 000 plantas por hectárea,

tuvo un rendimiento de 6 534 kg ha<sup>-1</sup>. La mejor opción para el uso de proporciones de semilla fueron de 33 % androestéril y 67 % fértil, o 66 % androestéril y 34 % fértil, las cuales fueron iguales estadísticamente y pueden utilizarse en uso del esquema de androesterilidad para incrementar y usar semilla híbrida de maíz. Ambas proporciones se deben validar en parcelas comerciales para confirmar su factibilidad de uso comercial. Además de ofrecerle al pequeño productor de semilla híbrida de maíz el paquete tecnológico de manera integral.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación se llevó a cabo con el financiamiento del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT): IT201215. UNAM.

## LITERATURA CITADA

- Ba Q, Zhang G, Niu N, Ma S, Wang J (2014) Cytoplasmic effects on DNA methylation between male sterile lines and the maintainer in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Gene* 549: 192-197.
- Espinosa CA, Tadeo RM, Lothrop J, Azpiroz RS, Martínez MR, Pérez CJP, *et al.* (2003) H-48, nuevo híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del centro de México. *Agricultura Técnica de México* 29: 85-87.
- Espinosa CA, Tadeo RM, Sierra MM, Turrent FA, Valdivia BR, Zamudio GB (2009) Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en México. *Agronomía Mesoamericana* 20: 211-216.
- Espinosa A, Tadeo M, Gómez N, Sierra M, Virgen J, Palafox A, *et al.* (2010) 'V-54' A, nueva variedad de maíz de grano amarillo para siembras de temporal retrasado en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 677-680.
- Espinosa CA, Tadeo RM, Zamudio GB, Turrent FA, Arteaga EI, Trejo PV, *et al.* (2012) Rendimiento de cruza simples de maíz en versión androestéril y fértil bajo diferentes densidades de población. *Ciencias Agrícolas Informa* 21: 78-85.
- Espinosa TE, Mendoza CMC, Ortíz CJ (2004) Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones prolíficas de maíz, en densidades de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27 (Número Especial 1): 39-41.
- Feil B, Weingartner U, Stamp P (2003) Controlling the release of pollen from genetically modified maize and increasing its grain yield by growing mixtures of male-sterile and male-fertile plants. *Euphytica* 130: 163-165.



- Hu YM, Tang JH, Yang H, Xie HL, Lu XM, Niu JH, *et al.* (2006) Identification and mapping of Rf-I an inhibitor of the Rf5 restorer gene for Cms-C in maize (*Zea mays* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 113: 357-360.
- Jones HA, Clarke AE (1943) Inheritance of male-sterility in the onion and the production of hybrid seed. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 43: 189-194.
- Jugenheimer RW (1990) Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. México. Ed. LIMUSA. 841p.
- Martínez LC, Mendoza OLE, García DLSG, Mendoza CMC, Martínez GA (2005) Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28: 127-133.
- Poehlman JM (2005) Mejoramiento Genético de las cosechas. 2ª ed. Editorial Limusa. México. 511p.
- Simmons CR, Grant S, Altier DJ, Dowd PF, Crasta O, Folkerts O, Yalpani N (2001) Maize *rhm1* resistance to *Bipolaris maydis* is associated with few differences in pathogenesis-related proteins and global mRNA Profiles. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 14: 947-954.
- Tadeo RM, Espinosa CA, Serrano RJ, Sierra MM, Caballero HF, Valdivia BR, *et al.* (2010) Productividad de diferentes proporciones de semilla androestéril y fértil de híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 273-287.
- Turrent FA (2009) El potencial productivo del maíz. *Ciencias* 92-93: 126-129.
- Vancetovic J, Vidakovic M, Ignjantovic MD, Nikolic A, Markovic K, Andelkovic V (2010) The structure of sterile cytoplasm types within a maize genebank collection. *Russian Journal of Genetics* 46: 836 - 840.
- Virgen VJ, Arellano VJL, Rojas MI, Ávila PMA, Gutiérrez HGF (2010) Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 107-110.
- Weingartner U, Camp K, Stamp P (2004) Impact of male sterility and xenia on grain quality traits of maize. *European Journal of Agronomy* 21: 239-247.

