

PRODUCTIVIDAD DE LA GENERACIÓN F₁ Y F₂ DE HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea Mays* L.) DE VALLES ALTOS DE MÉXICO

PRODUCTIVITY OF F₁ AND F₂ MAIZE (*Zea mays* L.) HYBRIDS IN THE HIGHLAND OF MEXICO

Margarita Tadeo-Robledo¹, Job Zaragoza-Esparza¹, Alejandro Espinosa-Calderón², Antonio Turrent-Fernández²,
Benjamín Zamudio-González², Juan Virgen-Vargas², K. Yazmine Mora-García¹, Roberto Valdivia-Bernal³

¹Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Carretera Cuautitlán - Teoloyucán, Km 2.5. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. (tadeorobledo@yahoo.com), (jobzaragoza4920@yahoo.com), (megaberry@hotmail.com), ²Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Km 13.5 Carretera Los Reyes - Texcoco. 56250, Coatlinchan, Texcoco, Estado de México, México. (espinoale@yahoo.com.mx), (aturrent37@yahoo.com.mx), (bzamudiog@yahoo.com.mx), (jvirgen_vargas@hotmail.com), ³Universidad Autónoma Nayarit, (beto49_2000@yahoo.com.mx).

RESUMEN

En México se siembran 8.5 millones ha de maíz (*Zea mays* L.) cada año, en 25 % de esta superficie se emplea semilla mejorada; y semillas nativas (50 % de maíces nativos genuinos y 25 % variedades mejoradas acriolladas o generaciones avanzadas de híbridos) en el resto. La semilla mejorada se concentra en áreas de potencial productivo alto, cada año hay resistencia a la adquisición de semilla nueva, por su costo elevado. Para verificar el rendimiento de las generaciones F₁ y F₂, se evaluaron los híbridos H-40, H-51 AE, H-57 AE y Puma 1167, en el ciclo primavera-verano de 2013, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones, el análisis estadístico se efectuó en forma factorial y los factores fueron: híbridos (4), densidades de población (2), generación F₁ y F₂ (2), así como las interacciones híbridos x F₁F₂, híbridos x DP, F₁F₂ x DP, híbridos x F₁F₂ x DP. El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas para rendimiento entre híbridos, generaciones F₁ y F₂ y diferencias significativas entre densidades de población, y ninguna de las interacciones fue significativa. El CV fue 12.0 % y el valor promedio 8422 kg ha⁻¹. La generación F₁ en promedio rindió 9040 kg ha⁻¹ y la generación F₂ 7804 kg ha⁻¹. Los híbridos con rendimiento mayor fueron Puma 1167 (9989 kg ha⁻¹) y H-57 AE (8334 kg ha⁻¹). Con la densidad de población de 70 000 plantas⁻¹ ha⁻¹ (8765 kg ha⁻¹) se obtuvo rendimiento mayor que con 55 000 plantas ha⁻¹. Los resultados confirmaron que no conviene el uso de semilla de generación F₂, por el decremento en su productividad.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2015. Aprobado: octubre, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 33-41. 2016.

ABSTRACT

In Mexico 8.5 million ha of maize (*Zea mays* L.) are sown each year. Hybrid seed is used in about 25 % of this area, and in the rest, local varieties (50 % genuine maize landraces and 25 % locally adapted, improved varieties or advanced generations of hybrids). The hybrid seed use is concentrated in areas of high productive potential. Each year there is reluctance to acquire new seed due to its high cost. To verify the yield of F₁ and F₂ hybrids, an evaluation was made of varieties H-40, H-51 AE, H-57 AE and Puma 1167 in the spring –summer cycle of 2013 by the Cuautitlán Graduate Studies Department of UNAM. The experimental design was complete randomized blocks with four replicates. The statistical analysis was carried out in a factorial design with the following factors: hybrids (4), population densities (2), generation F₁ and F₂ (2), as well as the hybrid interactions x F₁F₂, hybrids x PD, F₁F₂ x PD, hybrids x F₁F₂ x PD. The analysis of variance detected highly significant differences for yield among hybrids and generations F₁ and F₂, and significant differences among population densities; none of the interactions was significant. The CV was 12.0 % and the average value was 8422 kg ha⁻¹. The F₁ generation yielded an average of 9040 kg ha⁻¹, and the F₂, 7804 kg ha⁻¹. The hybrids with the highest yields were Puma 1167 (9989 kg ha⁻¹) and H-57 AE (8334 kg ha⁻¹). Compared to a population density of 70 000 plants ha⁻¹ (8765 kg ha⁻¹), a higher yield was obtained than with 55 000 plants ha⁻¹. The results confirm that the use of the F₂ generation of seed is not desirable, due to the decrease in productivity.

Key words: *Zea mays* L., improved seed, yield of F₁ and F₂ hybrids.

Palabras clave: *Zea mays* L., semilla mejorada, rendimiento generación F₁ y F₂.

INTRODUCCIÓN

En México se siembran 8.5 millones ha de maíz (*Zea mays* L.) cada año, 25 % de ellas con semilla mejorada, y el 75 % con semillas nativas (maíces nativos genuinos en el 50 % y variedades mejoradas acriolladas, criollas que han recibido fuente germoplásmica de variedades mejoradas o bien generaciones avanzadas de híbridos en el otro 25 %). Esta influencia representa ventajas para los maíces nativos.

El uso de semilla mejorada se concentra en las áreas de potencial productivo mayor (riego o precipitación alta). Cada año los agricultores se resisten a adquirir semilla nueva, porque el precio de la semilla es el más elevado del mundo (Espinosa *et al.*, 2009; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a; Espinosa-Calderón *et al.*, 2014); y en el 6 % de los Valles Altos de México, 2200 a 2600 msnm, se emplea semilla mejorada (Espinosa *et al.*, 2012b).

Con el control del comercio de semillas por pocas empresas privadas, 1000 semillas alcanzan un precio de 2.71 dólares, pero en EE.UU. el precio es 1.34 dólares (Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2009). Lo anterior se ha agudizado por la distorsión del sistema de semillas en México, que a la vez se debió al cierre de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE). Por esto aumentó el dominio de oligopolios internacionales y empresas privadas (Espinosa *et al.*, 2003; Coutiño *et al.*, 2004; Luna *et al.*, 2012). Los productores han preferido no depender de otras semillas y controlar su manejo, como lo han hecho desde hace más de 330 generaciones (Boege, 2009; Turrent y Espinosa, 2006; Turrent, 2009). Por esto se emplea con frecuencia semilla de segunda generación (F₂) o de generaciones más avanzadas obtenidas de la propia parcela o de agricultores vecinos que hayan comprado semilla mejorada (Ortiz y Espinosa 1991; Coutiño *et al.*, 2004; Martínez-Gómez *et al.*, 2006). Lo anterior propicia el rendimiento menor en la segunda generación, con respecto a la primera (Ortiz y Espinosa, 1991; Espinosa *et al.*, 1998; De León, *et al.*, 1998; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012 a). Por tanto, según Martínez-Gómez *et al.*, (2006) la siembra de generaciones avanzadas se ha extendido en varias regiones maiceras de México (Ramírez *et al.*, 1986; Coutiño *et al.*, 2004; Espinosa-Calderón *et al.*,

INTRODUCTION

In Mexico 8.5 million ha maize (*Zea mays* L.) are sown each year; 25 % of this surface with improved seed, and 75 % with local varieties (genuine landraces or 25 % with locally adapted, improved varieties, and landraces that have outcrossed with improved varieties or advanced generations of hybrids). The genetic influence of introduced improved varieties has provided advantages for the landrace maize varieties.

The use of improved seed is concentrated in the areas of high productive potential (irrigation or abundant rainfall). Each year the growers are reluctant to purchase new seed, because the cost is the highest in the world (Espinosa *et al.*, 2009; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a; Espinosa-Calderón *et al.*, 2014); improved seed is used in only 6 % of the area of the High Valleys of Mexico, 2200 to 2600 masl, improved seed is used (Espinosa *et al.*, 2012b).

As the seed market is controlled by a few private companies, 1000 seeds can cost as much as 2.71 dollars, whereas in the U.S. the price is 1.34 dollars (Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2009). This is aggravated by the distortion of the seed system in Mexico due to the closing of the National Seed Producer (PRONASE). This resulted in the domination of large international companies and private companies (Espinosa *et al.*, 2003; Coutiño *et al.*, 2004; Luna *et al.*, 2012). Producers have preferred not to depend on commercial seeds but to control their own seed production, as they have done for more than 330 generations (Boege, 2009; Turrent and Espinosa, 2006; Turrent, 2009). For this reason, they frequently use second generation hybrid seed (F₂) or more advanced generations obtained from their own plot or from neighboring producers who have bought improved seed (Ortiz and Espinosa, 1991; Coutiño *et al.*, 2004; Martínez-Gómez *et al.*, 2006). The loss of heterosis causes a lower yield in the second generation with respect to the first (Ortiz and Espinosa, 1991; Espinosa *et al.*, 1998; De León *et al.*, 1998; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a). According to Martínez-Gómez *et al.* (2006), the sowing of advanced generations has spread in various maize growing regions of Mexico (Ramírez *et al.*, 1986; Coutiño *et al.*, 2004; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a), to a greater or lesser degree depending on the availability and supply of seed.

2012a), en mayor o menor medida dependiendo de la disponibilidad y abastecimiento de semillas.

La reducción del rendimiento de la generación F₂ puede depender de la estructura y conformación de cada híbrido (trilineal, simple o doble), de la naturaleza de los progenitores y del nivel de endogamia de sus líneas (De León, *et al.*, 1998; Espinosa *et al.*, 1998). Las diferentes áreas ecológicas de México también influyen en los genotipos que se usan (Ramírez *et al.*, 1986; Ortiz y Espinosa, 1991; Espinosa *et al.*, 1998; De León *et al.*, 1998). En la superficie mayor de los Valles Altos se han sembrado los híbridos H-48 y H-50 (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008). En el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) se han desarrollado, además de los maíces anteriores, los híbridos H-40, H-66, H-70 y H-51 AE, que posee el esquema de esterilidad masculina para aumentar semilla (Espinosa *et al.*, 2012b).

Aunque hay reducción del rendimiento de la generación F₁ respecto a la F₂ en maíz, es importante conocer el comportamiento específico de otros híbridos de maíz de los Valles Altos, en la generación F₂ con respecto a la generación F₁; es decir, debe establecerse el nivel de abatimiento de la productividad. En este estudio se evaluó el comportamiento de algunos materiales, con la hipótesis de que el rendimiento de la F₁ es suficientemente superior al de la F₂ para justificar la adquisición de semilla nueva cada ciclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los híbridos H-40, H-51 AE, H-57 AE y Puma 1167 en el ciclo primavera-verano 2013 se utilizaron para evaluar el rendimiento de las generaciones F₁ y F₂. El estudio se condujo en terrenos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), UNAM, México, en condiciones de secano y con 55 000 y 70 000 plantas ha⁻¹.

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y el análisis estadístico se efectuó en forma factorial. Los factores fueron: híbridos (4), densidades de población (2), generación avanzada F₁ y F₂ (2), e interacciones híbridos x F₁F₂, híbridos x DP, F₁F₂ x DP, híbridos x F₁F₂ x DP. Los valores promedio se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) Tukey con una probabilidad de error del 0.05.

El terreno se preparó con maquinaria y consistió en barbecho, rastreo, cruza y surcado a 80 cm. La fórmula de fertilización 80-40-00 se empleó, aunque no es la recomendada en Valles Altos, sí se aplica en condiciones de siembras de mayo, en una sola aplicación. El N como urea (46 % de N) se usó para completar

The decrease in yield of generation F₂ may depend on the structure and conformation of each hybrid (trilinear, simple or double), of the nature of the parents and of the degree of endogamy of its lines (De León *et al.*, 1998; Espinosa *et al.*, 1998). The different ecological areas of Mexico also influence the genotypes that are used (Ramírez *et al.*, 1986; Ortiz and Espinosa, 1991; Espinosa *et al.*, 1998; De León *et al.*, 1998). In the largest area of the Highlands, the hybrids H-48 and H-50 have been sown (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008). In the Valley of Mexico Experimental Field (CEVAMEX) other hybrids have been developed in addition to the above, such as H-40, H-66, H-70 and H-51 AE, which have adequate male sterility for producing hybrid seed (Espinosa *et al.*, 2012b).

Although there is a reduction in yield of the F₂ generation with respect to the F₁ generation in maize, it is important to understand the specific behavior of maize hybrids of the Highlands in the F₂ generation with respect to the F₁; that is, the level of yield loss should be established. In the present study an evaluation was made of some materials, with the hypothesis that the yield of F₁ is sufficiently higher than that of F₂ to justify the acquisition of new seed each cycle.

MATERIALS AND METHODS

In the 2013 spring-summer cycle, the hybrids H-40, H-51 AE, H-57 AE and Puma 1167 were used to evaluate the yield of their F₁ and F₂ generations. The study was carried out in the fields of the Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), UNAM, Mexico, under dry conditions and with 55 000 and 70 000 plants ha⁻¹.

The experimental design was complete randomized blocks with four replications, and the statistical analysis was factorial. The factors were as follows: hybrids (4), population densities (2), advanced F₁ and F₂ generations (2), and hybrid interactions x F₁F₂ x PD, hybrids x F₁F₂ x PD. Average values were compared made with Tukey test ($p \leq 0.05$).

The plot was prepared with machinery and consisted of clearing, harrowing, disking seeding with 80 cm spacing between rows. The NPK fertilization formula 80-40-00 was used. Although it is not recommended in the Highlands, the fertilizer is applied under May crop conditions, in a single basal application. Nitrogen as urea (46 % N) was used to complete the desired N units along with the diammonium phosphate (18-46-00 of P) which was the source of P. Sowing was carried out in the

las unidades correspondientes que en el fosfato diamónico (18-46-00 de P), con el que se aplicó el P. La siembra se hizo en la segunda quincena de mayo de 2013 a tapa pie, depositando tres semillas por sitio cada 50 cm, lo que generó 33 plantas por surco de 5 m, 82 500 plantas ha⁻¹, y la densidad de 70 000 plantas ha⁻¹; con raleo se obtuvieron 28 plantas por surco de 5 m y en las 55 000 por ha el raleo mantuvo 22 plantas por surco, 35 d después de la siembra.

El control de las malezas se hizo con aplicaciones de Hierbamina y Gesaprim en preemergencia, un día después de la siembra, en relación 3 L: 3 kg por ha; y en una segunda aplicación 20 d después de la siembra con una mezcla de 1 L de Sansón, 2 L de Hierbamina y 3 kg de Gesaprim por ha.

El tamaño de la parcela fue un surco de 5 m de longitud. La siembra fue en surcos con separación de 0.80 m, se depositaron tres semillas por sitio cada 0.50 m.

La cosecha se realizó manualmente en la segunda quincena de noviembre. Todas las mazorcas, incluidas las dañadas, se recolectaron. En una muestra representativa de cinco de ellas se cuantificó humedad de grano, con un determinador de humedad eléctrico tipo Stenlite; porcentaje de grano/olote se calculó después de desgranar las cinco mazorcas recién cosechadas y obtener el cociente peso de grano sobre peso de grano más olotes; también se obtuvieron los datos de las variables longitud de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera. Previamente, en cinco plantas por parcela se determinaron los días para la floración masculina, cuando 50 % de las plantas de la parcela liberaban polen, días para la floración femenina, cuando 50 % de las plantas, en la parcela habían expuesto por lo menos 3 cm los estigmas. La altura de la planta se midió desde la base del tallo hasta el nudo de inserción de la espiga y la altura de la mazorca se tomó de la base del tallo al nudo de inserción de la mazorca superior. Para calcular el rendimiento de grano se aplicó la fórmula siguiente (Espinosa *et al.*, 2012):

$$\text{Rendimiento} = (\text{PC} \times \% \text{MS} \times \% \text{G} \times \text{FC}) / 8600$$

donde PC=peso de campo del total de las mazorcas cosechadas por parcela expresada en kg; % MS=porcentaje de materia seca de la muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas; % G=porcentaje de grano; FC=factor de conversión para obtener el rendimiento por ha obtenido al dividir 10000 m² / el tamaño de la parcela útil en m²; 8600=valor constante que permite estimar el rendimiento con una humedad al 14 %, que se usa para el grano en forma comercial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico factorial detectó diferencias altamente significativas para rendimiento entre híbridos

second quarter of May 2013, planting three seeds per site with a 50 cm spacing within the rows, which generated 33 plants per 5 m row, equal to 82 500 plants ha⁻¹, and a final plant density of 70 000 ha⁻¹. Thinning left 28 plants per 5 m row, and in the 55 000 per ha, thinning maintained 22 plants per row, 35 d after sowing.

Weed control was made with applications of Herbamina and Gesaprim in pre-emergence, one day after sowing, in a proportion of 3 L: 3 kg per ha; and a second application 20 d after sowing with a mixture of 1 L of Sansón, 2 L of Hierbamina and 3 kg of Gesaprim per ha.

Plot size consisted of a row of 5 m length. The rows were sown with a separation of 0.80 m, depositing three seeds per site every 0.50 cm.

Harvesting was done manually in the second half of November. All of the ears, including the damaged ones, were collected. In a representative sample of five ears, grain moisture was quantified with a Stenlite electric determiner; percentage of grain/cob was calculated after shelling the recently harvested ears and obtaining the quotient of grain weight over the weight of grain with cobs; data was also obtained of the variables ear length, rows per ear and grains per row. Previously, days to male flowering were determined in five plants per plot, when 50 % of the plants in the plot release pollen, as well as days to female flowering, when 50 % of the plants had at least 3 cm of stigma exposed. Plant height was measured from the base of the stem to the spike insertion node; ear height was measured from the base of the stem to the insertion node of the top ear. Grain yield was calculated using the following formula:

$$\text{Yield} = (\text{FW} \times \% \text{DM} \times \% \text{G} \times \text{CF}) / 8600$$

where PC=field weight of the total of harvested ears per plot expressed in kg; % MS=percentage of dry matter of the grain sample of five recently harvested ears; % G=percentage of grain; FC=conversion factor for obtaining yield per ha which is obtained by dividing 10000 m² / useful plot size in m²; 8600=constant value which permits the estimation of yield with 14 % moisture, which is used for commercial grain.

RESULTS AND DISCUSSION

The factorial statistical analysis detected highly significant differences for yield between hybrids and F₁F₂ and significant differences between population densities. The interactions were not significant. The yield mean was 8422 kg ha⁻¹ and CV was 12 % (Table 1).

In plant height, ear height and volumetric weight, there were highly significant differences

y F₁F₂ y diferencias significativas entre densidades de población. Las interacciones no fueron significativas. La media de rendimiento fue 8422 kg ha⁻¹ y el CV fue de 12.0 % (Cuadro 1).

En altura de planta, altura de mazorca y peso volumétrico hubo diferencias altamente significativas entre híbridos, en floración masculina las diferencias fueron significativas, en las otras variables y factores de variación no hubo diferencias, incluyendo las interacciones (Cuadro 1).

El rendimiento mayor del híbrido Puma 1167 (9989 kg ha⁻¹) fue similar al de H-57 AE (8334 kg ha⁻¹), considerando la media de las generaciones F₁ y F₂, y las dos densidades de población en evaluación; ambos superaron estadísticamente a H-51 AE y H-40, y fueron similares entre sí (Cuadro 2). El H-57 AE sobresalió porque este híbrido, después de evaluarse en experimentos por varios años, está en la etapa última de su validación. Su registro se logró por el INIFAP en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV); el nombre de registro es H-53 AE y se numeró 3153-MAZ-1658-300615/C (Espinosa *et al.*, 2012b). Los resultados ratifican las características favorables de este híbrido con esquema

among hybrids. In male flowering the differences were significant, in the other variables and factors of variation there was no differences, including the interactions (Table 1).

The highest yield of the hybrid Puma 1167 (9989 kg ha⁻¹) was similar to that of H-57 AE (8334 kg ha⁻¹), considering the mean of the F₁ and F₂ generations, and the two population densities under evaluation; both were statistically higher than H-51 AE and H-40, and were similar to each other (Table 2). H-57 AE was outstanding, because this hybrid, after evaluations in experiments for several years, is in the final stage of its validation. It was registered by INIFAP in the Colegio Nacional de Variedades Vegetales (CNVV); it is registered as H-53 AE with the number 3153-MAZ-1658-300615/C (Espinosa *et al.*, 2012b). The results confirm the favorable characteristics of this hybrid with androsterility (Espinosa *et al.*, 2009), given that it was superior to H-51 AE, which was released by INIFAP in 2012 (Espinosa *et al.*, 2012b).

The male flowering of H-51 AE occurred in fewer days (78) than the other hybrids (80). For female flowering, the weight of 200 seeds, ear length,

Cuadro 1. Cuadros medios y significancia para el rendimiento (kg ha⁻¹) y otras variables evaluadas en la F₁ y F₂ de híbridos comerciales de Valles Altos. Ciclo primavera-verano 2013, FESC-UNAM, México.

Table 1. Mean squares and significance for yield (kg ha⁻¹) and other variables evaluated in F₁ and F₂ of commercial hybrids in the Highlands. Spring-summer cycle of 2013, FESC-UNAM, Mexico.

Variable	REND ¹	DFM ²	DFF ³	AP ⁴	AM ⁵	PHCO ⁶	GH ⁷	GM ⁸
REP	4990680*	2.90	11.9**	1654**	300.1	319**	0.26	4240
Híbridos	19605905**	6.85*	0.30	1916**	961**	21199**	1.64	6419
F ₁ F ₂ ⁹	24436611**	1.00	0.76	361.0	1.00	206.6	0.14	390
DP ¹⁰	7504398*	0.06	8.30	297.6	42.2	47.3	1.30	1580
Hx F ₁ F ₂ ¹¹	103497.1	1.40	2.43	87.54	30.6	173.3	0.43	1853
Hx DP ¹²	1502893	2.85	2.68	192.8	69.0	114.0	0.90	346
F ₁ F ₂ x DP ¹³	95339.0	0.01	0.39	289	289.0	0.40	1.26	361
Hx F ₁ F ₂ x DP ¹⁴	1540764	1.04	0.81	178.5	44.9	258.7	1.14	2813
CV (%) ¹⁵	12.0	1.70	2.10	7.35	8.83	2.17	6.80	10.9
Media	8422	79	80	207	114	759	16	449

*p≤0.05 y **p≤0.01 ♦ *p≤0.05 and **p≤0.01.

¹REND = rendimiento; ²DFM = número de días a floración masculina; ³DFF = número de días a floración femenina; ⁴AP=altura de planta; ⁵AM=altura de mazorca; ⁶PHCO=peso volumétrico; ⁷GH = granos por hilera; ⁸GM= granos por mazorca; ⁹F₁F₂= generación F₁F₂; ¹⁰DP= densidad de población; ¹¹Hx F₁F₂ = interacción híbridos x F₁F₂; ¹²Hx DP=interacción híbridos x densidad de población; ¹³F₁F₂x DP= interacción generación F₁F₂ x densidad de población; ¹⁴Hx F₁F₂x DP= interacción híbridos x generación F₁F₂ x DP; ¹⁵CV (%)= coeficiente de variación ♦ ¹REND = yield; ²DMF = number of days to male flowering; ³DFF = number of days to female flowering; ⁴PH = plant height; ⁵EH = ear height; ⁶PHCO = volumetric weight; ⁷GR = grains per row; ⁸GE = grains per ear; ⁹F₁F₂ = generation F₁F₂; ¹⁰PD = population density; ¹¹Hx F₁F₂ = interaction hybrids x F₁F₂; ¹²Hx PD = interaction hybrids x population density; ¹³F₁F₂x PD = interaction generation F₁F₂ x population density; ¹⁴Hx F₁F₂x PD = interaction hybrids x generation F₁F₂ x PD; ¹⁵CV (%) = coefficient of variation.

Cuadro 2. Comparación de los promedios de cuatro híbridos, considerando los promedios de F₁ y F₂, y dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2013, FESC-UNAM, México.**Table 2. Comparison of the averages of four hybrids, considering the averages of F₁ and F₂ and two population densities. Spring-summer cycle of 2013, FESC-UNAM, Mexico.**

Híbrido	REND (kg ha ⁻¹) ¹	DFM ²	DFF ³	AP ⁴	AM ⁵	PHCO ⁶	GH ⁷	GM ⁸
PUMA 1167	9989 a	80 a	80 a	221 a	118 a	776 a	30 a	467 a
H-57 AE	8334 a	80 a	80 a	202 bc	107 b	758 b	29 ab	465 a
H-51 AE	7927 b	78 b	80 a	211ba	123 a	753 b	26 c	427 a
H-40	7439 b	80 a	80 a	196c	107 b	750 b	27 bc	437 a
D.S.H. (0.05)	953	1.3	1.6	14.4	9.5	15.5	1.0	46.1

Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Means with different letter are statistically different ($p \leq 0.05$).
¹REND = rendimiento; ²DFM = número de días a floración masculina; ³DFF = número de días a floración femenina; ⁴AP = altura de planta; ⁵AM = altura de mazorca; ⁶PHCO = peso volumétrico; ⁷GH = granos por hilera; ⁸GM = granos por mazorca ♦ ¹REND = yield; ²DMF = number of days to male flowering; ³DFF = number of days to female flowering; ⁴PH = plant height; ⁵EH = ear height; ⁶PHCO = volumetric weight; ⁷GR = grains per row; ⁸GE = grains per ear.x

de androesterilidad (Espinosa *et al.*, 2009), ya que superó a H-51 AE, que fue liberado por el INIFAP en 2012 (Espinosa *et al.*, 2012 b).

La floración masculina de H-51 AE ocurrió en menos días (78) que en los otros híbridos (80). En la floración femenina, el peso de 200 semillas, la longitud de mazorca, el número de granos por mazorca, no hubo diferencias significativas. Pero en la altura de la planta, el peso volumétrico y los granos por hilera se definieron dos grupos (Cuadro 2).

La comparación de medias de las generaciones F₁F₂, considerando a la media de los cuatro híbridos y la media de las dos densidades de población (Cuadro 3), mostró que la generación F₁ rindió 9,040 kg ha⁻¹, y fue diferente estadísticamente a la F₂ que rindió 7804 kg ha⁻¹; es decir F₁ representó 115.8 % respecto a la F₂. Este resultado es similar al obtenido en otros estudios (Ortiz y Espinosa, 1991; Valdivia y Vidal, 1995; Espinosa *et al.*, 1998; Coutiño *et al.*, 2004; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a).

Los valores medios de las variables floración masculina, floración femenina, altura de planta, altura de mazorca, peso volumétrico, granos por hilera y granos por mazorca no fueron diferentes ($p > 0.05$) en las generaciones F₁ y F₂. Así, es probable que la diferencia en el rendimiento de F₂ respecto a F₁ se debió a otros componentes no analizados en nuestro estudio. Estos resultados son diferentes a los obtenidos por Espinosa-Calderón *et al.* (2012a), quienes detectaron diferencias en la longitud de la mazorca y los granos por mazorca. En ambos casos fue superior la media de la generación F₁ con respecto a la F₂ (Cuadro 3).

number of grains per ear, there were no significant differences. However, in plant height, volumetric weight and grains per row, two groups were defined (Table 2).

The comparison of means of the F₁F₂ generations, considering the mean of the four hybrids and the mean of the two population densities (Table 3), showed that the F₁ generation yielded 9,040 kg ha⁻¹, and was statistically different from F₂, which yielded 7,804 kg ha⁻¹; that is, F₁ represented 115.8 % with respect to F₂. This result is similar to that obtained in other studies (Ortiz and Espinosa, 1991; Valdivia and Vidal, 1995; Espinosa *et al.*, 1998; Coutiño *et al.*, 2004; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a).

The mean values of the variables male flowering, female flowering, plant height, ear height, volumetric weight, grains per row and grains per ear were not different ($p > 0.05$) in the F₁ and F₂ generations. Therefore, probably the difference in yield of F₂ with respect to F₁ was due to other components which were not analyzed in the present study. These results are different from those obtained by Espinosa-Calderón *et al.* (2012a), because these authors detected differences in ear length and grains per ear. In both cases the mean of the F₁ generation was higher with respect to F₂ (Table 3).

Average yield of the four hybrids and the F₁ and F₂ generations was higher with the plant density of 70 000 plants ha⁻¹, compared to 50 000 plants ha⁻¹ (Table 4). These results coincided with those obtained with 70 000 plants per ha and other hybrids (Virgen *et al.*, 2010; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

Cuadro 3. Comparación de valores promedio de las generaciones F₁ y F₂ de cuatro híbridos de maíz para diversas variables evaluadas considerando el promedio de cuatro híbridos y dos densidades de población. Ciclo primavera-verano 2013, FESC-UNAM, México.**Table 3. Comparison of average values of the F₁ and F₂ generations of four maize hybrids for diverse variables evaluated considering the average of four hybrids and two population densities. Spring-summer cycle of 2013, FESC-UNAM, Mexico.**

F ₁ y F ₂	REND (kg ha ⁻¹) ¹	DFM ²	DFF ³	AP ⁴	AM ⁵	PHCO ⁶	GH ⁷	GM ⁸
F ₁	9040 a	79 a	80 a	210 a	114 a	761 a	28 a	451 a
F ₂	7804 b	79 a	80 a	205 a	114 a	757 a	28 a	446 a
D.S.H. (0.05)	509	0.7	0.8	7.7	5	8.3	1.1	25

Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Means with different letter are statistically different ($p \leq 0.05$).

¹REND = rendimiento; ²DFM = número de días a floración masculina; ³DFF = número de días a floración femenina; ⁴AP = altura de planta; ⁵AM = altura de mazorca; ⁶PHCO = peso volumétrico; ⁷GH = granos por hilera; ⁸GM = granos por mazorca ♦ ¹REND = yield; ²DMF = days to male flowering; ³DFF = days to female flowering; ⁴PH = plant height; ⁵EH = ear height; ⁶PHCO = volumetric weight; ⁷GR = grains per row; ⁸GE = grains per ear.

El rendimiento promedio de los cuatro híbridos y la generación F₁ y F₂ fue superior con la densidad de 70 000 plantas ha⁻¹, respecto a 50 000 plantas ha⁻¹ (Cuadro 4). Estos resultados coincidieron con los obtenidos con 70 000 plantas ha⁻¹ y otros híbridos (Virgen *et al.*, 2010; Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

En todos los casos los rendimientos de la generación F₁ fueron superiores que los de la generación F₂, con 13.9 % en H-51 AE, hasta 119.4 % en H-40 (Cuadro 5). Estas diferencias entre F₁ y F₂ están documentado en otros estudios (Ramírez *et al.*, 1986; Ortiz y Espinosa, 1991; Valdivia y Vidal, 1995; De León *et al.*, 1998; Espinosa *et al.*, 1998; Coutiño *et al.*, 2004; Espinosa *et al.*, 2005; Martínez-Gómez *et al.*, 2006; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a).

In all cases the yields of the F₁ generation were higher than those of the F₂ generation, with 13.9 % in H-51 AE, and 119.4 % in H-40 (Table 5). These differences between F₁ and F₂ are documented in other studies (Ramírez *et al.*, 1986; Ortiz and Espinosa, 1991; Valdivia and Vidal, 1995; De León *et al.*, 1998; Espinosa *et al.*, 1998; Coutiño *et al.*, 2004; Espinosa *et al.*, 2005; Martínez-Gómez *et al.*, 2006; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a).

Yield varied from 1,029 kg in F₁ with respect to F₂, of the hybrid H-51 AE, to 1399 kg in the hybrid Puma 1167 (average in the four hybrids of 1236 kg), equivalent to (\$ 2500 per Mg of grain) a total of 3090 pesos for the commercialization of this grain. If new seed is acquired, the difference in favor of the

Cuadro 4. Comparación de promedios de dos densidades de población para diversas variables evaluadas considerando el valor medio de cuatro híbridos de maíz y la generación F₁ y F₂. Ciclo primavera-verano 2013. FESC-UNAM.**Table 4. Comparison of averages of two population densities for diverse variables evaluated considering the mean value of four maize hybrids and the F₁F₂ generation. Spring-summer cycle of 2013, FESC-UNAM, Mexico.**

DP (plantas/ha ⁻¹)	REND (kg ha ⁻¹) ¹	DFM ²	DFF ³	AP ⁴	AM ⁵	PHCO ⁶	GH ⁷	GM ⁸
55 000	8080 b	79 a	80 a	210 a	115 a	758 a	28 a	444 a
70 000	8765 a	79 a	80 a	206 a	113 a	760 a	28 a	454 a
D.S.H. (0.05)	509	1	1	8	5	8	1	25

Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ Means with different letter are statistically different ($p \leq 0.05$).

¹REND = rendimiento; ²DFM = número de días a floración masculina; ³DFF = número de días a floración femenina; ⁴AP = altura de planta; ⁵AM = altura de mazorca; ⁶PHCO = peso volumétrico; ⁷GH = granos por hilera; ⁸GM = granos por mazorca ♦ ¹REND = yield; ²DMF = days to male flowering; ³DFF = days to female flowering; ⁴PH = plant height; ⁵EH = ear height; ⁶PHCO = volumetric weight; ⁷GR = grains per row; ⁸GE = grains per ear.

El rendimiento varió desde 1, 029 kg en la F_1 con respecto a la F_2 , del híbrido H-51 AE, hasta 1399 kg en el híbrido Puma 1167 (promedio en los cuatro híbridos de 1236 kg), equivalentes a (\$ 2500 por Mg de grano), un total de 3090 pesos por la comercialización de ese grano. Si la semilla nueva, se compra la diferencia a favor del productor sería 1690 pesos, aunque el costo del saco de semilla sea 1400 pesos; así, la compra de semilla sería redituable (Valdivia y Vidal, 1995; Espinosa *et al.*, 1998; Martínez-Gómez *et al.*, 2006; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a).

CONCLUSIONES

La hipótesis de que la generación F_1 en promedio exhibe rendimiento superior y diferente estadísticamente respecto a F_2 se confirmó. El híbrido trilineal Puma 1167 mostró un rendimiento promedio más elevado que H-40. Los resultados confirman que no es conveniente utilizar semilla de generación F_2 por su productividad menor, lo cual justifica la adquisición de semilla nueva cada ciclo. Si se adquiere semilla nueva cada ciclo, aun con costo actual elevado, habría una diferencia positiva para el productor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero proporcionado por la UNAM a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT): IT201215.

LITERATURA CITADA

- Boege, E. 2009. El Patrimonio Biocultural de los Pueblos Indígenas de México: Hacia la Conservación *in situ* de la Biodiversidad y Agrodiversidad en los Territorios Indígenas. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D.F. 342 p.
- Coutiño E., B., G. Sánchez, V., y A. Vidal M. 2004. El uso de semilla F_2 de híbridos de maíz en la Frailesca, Chiapas, reduce el rendimiento y las ganancias netas. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 261-266.
- De León H., J., A. Martínez G., y S. Rodríguez S. 1998. Híbridos dobles de maíz de baja depresión endogámica en F_2 . *Rev. Agron. Mesoamericana* 9: 38-41.
- Espinosa-Calderón, A., M. A. López-Pereira, y M. Tadeo-Robledo. 1998. Análisis agroeconómico del uso de semilla mejorada de maíz en los Valles Altos de México. *Agron. Mesoamericana* 9: 53-58.
- Espinosa-Calderón, A., M. Sierra M., y N. O. Gómez M. 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agron. Mesoamericana* 14: 117-121.

Cuadro 5. Rendimientos (kg ha^{-1}) obtenidos por híbridos de maíz en la generación F_1 y F_2 así como diferencias y porcentajes de la F_2 respecto a la F_1 , considerando el promedio de dos densidades de población bajo las cuales se evaluaron estos genotipos. Ciclo primavera-verano 2013.

Table 5. Yields (kg ha^{-1}) obtained by maize hybrids in generation F_1 and F_2 as well as differences and percentages of F_2 with respect to F_1 , considering the average of the two population densities under which these genotypes were evaluated. Spring-summer cycle of 2013.

Híbridos	Generación		F_1 - F_2	
	F_1	F_2	$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	%
Puma 1167	10689	9290	1399	115.0
H-57 AE	8933	7735	1198	115.4
H-51 AE	8441	7412	1029	113.9
H-40	8097	6780	1317	119.4
Promedio	9040	7804	1236	115.8

producer would be 1690 pesos, even though the cost of the bag of seed would be 1400 pesos; thus, the purchase of seed would be profitable (Valdivia and Vidal, 1995; Espinosa *et al.*, 1998; Martínez-Gómez *et al.*, 2006; Espinosa-Calderón *et al.*, 2012a).

CONCLUSIONS

The hypothesis that on the average the F_1 generation exhibited higher yield and statistical difference with respect to F_2 was confirmed. The trilinear hybrid Puma 1167 showed a higher average yield than H-40. The results confirm that it is not convenient to use seed of generation F_2 due to its lower yield, which justifies the acquisition of new seed each cycle. If new seed is acquired each cycle, even with its present high cost, there would be a positive difference for the producer's.

—End of the English version—

-----*

- Espinosa C., A., M. Tadeo R., A. Mora B., R. Martínez M., D. Salazar H., M. Sierra M., A. Palafox C., F. Rodríguez M., y V. Esqueda E. 2005. Capacidad productiva de la generación F_1 y F_2 de híbridos de maíz androestériles y fértiles evaluados en dos localidades. Memorias: VIII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B. C. pp: 160-165.

- Espinosa C., A., A. Turrent F., M. Tadeo R., N. O. Gómez M., M. Sierra M., y F. Caballero H. 2008. Importancia del uso de semilla de variedades mejoradas y nativas de maíz en México. *In: Seefoó, J. L.* (ed). Desde los Colores del Maíz, una Agenda para el Campo Mexicano. El Colegio de Michoacán, CONACYT. Zamora, Michoacán. Vol I: 233-255.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macías, N. O. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero, F. A. Rodríguez-Montalvo, F. Caballero-Hernández, R. Valdivia-Bernal, y B. Zamudio-González. 2009. Las semillas insumo fundamental para avanzar hacia la suficiencia alimentaria y reserva estratégica de granos. *In: Ramírez C. A., B. Ramírez V., B. A. Cavalloti V., A. Cesín V.* Reserva Estratégica de Alimentos: Una Alternativa para el Desarrollo del Campo Mexicano y la Soberanía Alimentaria. CEDRS-SA-SAGARPA- CP- UACH, pp: 77-90.
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, I. Arteaga-Escamilla, A. Turrent-Fernández, M. Sierra-Macías, N. O. Gómez-Montiel, A. Palafox-Caballero, R. Valdivia-Bernal, V. Trejo-Pastor, y E. Canales-Islas. 2012a. Rendimiento de las generaciones F1 y F2 de híbridos trilineales de maíz en los Valles Altos de México. *Universidad y Ciencia* 28:57-64.
- Espinosa C., A., M. Tadeo R., J. Virgen V., I. Rojas M., N. O. Gómez M., M. Sierra M., A. Palafox C., G. Vázquez C., F. A. Rodríguez M., B. Zamudio G., I. Arteaga E., E. Canales I., B. Martínez Y., y R. Valdivia B. 2012b. H-51 AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos del Centro de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 347-349.
- Espinosa-Calderón, A., A. Turrent-Fernández, M. Tadeo-Robledo, A. San Vicente-Tello, N. Gómez-Montiel, R. Valdivia-Bernal, M. Sierra Macías, y B. Zamudio-González. 2014. Ley de semillas y Ley federal de variedades vegetales y transgénicos de maíz en México. *Rev. Mex. Ciencias Agríc.* 5: 293-308.
- González E. A., J. Islas G., A. Espinosa C., J. A. Vázquez C., y S. Wood. 2007. Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: híbrido H-50. *Publicación Especial No. 24.* INIFAP. México, D. F. 83 p.
- González E., A., J. Islas G., A. Espinosa C., J. A. Vázquez C., y S. Wood. 2008. Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: híbrido H-48. *Publicación Especial No. 25.* INIFAP. México, D.F. 88 p.
- Luna M., B. M., M. A. Hinojosa R., O. J. Ayala G., F. Castillo G., y J. A. Mejía C. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 1-7.
- Martínez-Gómez, M. I., R. Gaytán-Bautista, L. Reyes-Muro, N. Mayek-Pérez, J. S. Padilla-Ramírez, y M. Luna-Flores. 2006. Rentabilidad de las generaciones F1, F2 y F3 de híbridos de maíz. *Agrociencia* 40: 677-685.
- Ortiz T., E., y A. Espinosa C. 1991. Rendimiento de híbridos de maíz de la Zona de Transición El Bajío-Valles Altos por efecto de la utilización de semilla de generación F₁ y F₂. *Rev. Chapingo* 71: 49-52.
- Ramírez V., P., M. Balderas M., y F. Gerón X. 1986. Potencial productivo de las generaciones avanzadas de los híbridos tropicales de maíz H-503, H-507 y H-510. *Rev. Fitotec. Mex.* 8: 20-34.
- Turrent F., A., y A. Espinosa C. 2006. Seguridad alimentaria y el mercado nacional de semillas. *In: Memorias del ciclo de conferencias. 10 Años de Enlace, Innovación, Progreso.* Fundación Hidalgo Produce. INIFAP, CIRCE. Campo Experimental Pachuca, Pachuca, Hidalgo. pp: 44- 50.
- Turrent F., A. 2009. Potencial productivo de maíz. *Rev. Ciencias* 92-93: 126-129.
- Valdivia B., R., y V. A. Vidal M. 1995. Efecto de generaciones avanzadas en la producción de diferentes tipos de híbridos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:69-76.
- Virgen V., J., J.L. Arellano V., I. Rojas M., M.A. Ávila P., y G.F. Gutiérrez. 2010. Producción de semilla de cruces simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Rev. Fitotec Mex.* 33: 107-110.
- Virgen-Vargas, J., R. Zepeda-Bautista, M. A. Ávila-Perches, A. Espinosa-Calderón, J. L. Arellano-Vázquez, y A. J. Gámez-Vázquez. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agron. Mesoamericana* 25: 323-335.