

Productividad de híbridos androestériles y fértiles de maíz en cuatro ambientes de evaluación*

Productivity of male sterile and fertile of maize hybrids in four evaluation environments

Margarita Tadeo-Robledo¹, Alejandro Espinosa-Calderón², José de Jesús García Zavala^{3§}, Ricardo Lobato Ortiz³, Noel O. Gómez Montiel⁴, Mauro Sierra Macías⁵ y Roberto Valdivia-Bernal⁶

¹Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucán, km 2.5. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. C. P. 54714. A. P. 25. Tel. 01 55 56231971. (tadeorobledo@yahoo.com). ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco km 13.5. C. P. 56250, Coatlinchan, Texcoco, Estado de México, México. Tel: 01 595 9212657. Ext. 184 y 204. (espinoale@yahoo.com.mx). ³Posgrado en Genética-Colegio de Postgraduados, Montecillos, México. (zavala@colpos.mx; rlobato@colpos.mx). ⁴Campo Experimental Iguala (CEIGUA)-INIFAP. (noelorando19@hotmail.com). ⁵Campo Experimental Cotaxtla, CECOT-INIFAP. Tel: 01 229 9348354. (mauro_s55@hotmail.com). ⁶Universidad Autónoma Nayarit. Tel: 01 311 2110128. (beto49_2000@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: zavala@colpos.mx.

Resumen

En este trabajo se evaluaron cinco híbridos trilineales de maíz (Tsiri Puma 2, H-57 AE, H-47 AE, PUMA 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2), en sus versiones androestéril y fértil, en dos fechas de siembra en cada una de dos localidades de Valles Altos. El objetivo fue definir la capacidad productiva de cada uno. La investigación se llevó a cabo en el ciclo primavera verano 2012, en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) y en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC). Los tratamientos en el estudio fueron: los híbridos trilineales, las versiones androestéril y fértil y los cuatro ambientes (resultado de las dos localidades y dos fechas de siembra). El análisis estadístico se efectuó en forma factorial considerando los factores híbridos, androesterilidad/fertilidad, ambientes y las interacciones. Para rendimiento se observaron diferencias altamente significativas para ambientes, híbridos, así como la interacción ambientes x híbridos y significativas para híbridos x androesterilidad/fertilidad, pero no para el factor androesterilidad/fertilidad ni tampoco las otras interacciones. Se concluyó que la localidad FESC-F2 (9 892 kg ha⁻¹), fue superior estadísticamente a la media de los otros tres ambientes. El mayor rendimiento se obtuvo con el híbrido Tsiri Puma 2 con 8 930 kg ha⁻¹, el

Abstract

In this work, five trilinear maize hybrids (Tsiri Puma 2, H-57 AE, H-47 AE, PUMA 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2) were evaluated in their versions male sterile and fertile, in two sowing dates in each of two locations in High Valley. The aim was to define the production capacity of each. The research was conducted in the spring summer 2012 cycle, in the Valley of Mexico Experimental Field (CEVAMEX) and the Faculty of Higher Studies of Cuautitlán (FESC). The treatment in the study was: trilinear hybrids, the male sterile and fertile versions and the four environments (result of the two locations and two sowing dates). Statistical analysis was carried out in factorial way, considering the hybrid factors, male sterility/fertility, environments and interactions. In yield, highly significant difference were observed for environments, hybrids, as well as the interaction environments x hybrids and significant for hybrids x male sterility/fertility, but not for the factor male sterility/fertility or the other interactions. It was concluded that the locality FESC-F2 (9 892 kg ha⁻¹) was statistically higher than the average of the other three environments. The highest yield was obtained with the hybrid Tsiri Puma 2 with 8 930 kg ha⁻¹, the lowest one was Puma 1183 AEC1 (6 321 kg ha⁻¹).

* Recibido: junio de 2015
Aceptado: octubre de 2015

menor fue Puma 1183 AEC1 (6 321 kg ha⁻¹). Se encontró que la media de la versión androesteril, considerando todos los genotipos y los cuatro ambientes, exhibió un rendimiento de 7 327 kg ha⁻¹, similar estadísticamente al rendimiento de la versión fértil (7 294 kg ha⁻¹).

Palabras clave: androesterilidad, híbridos, maíz, productividad.

Introducción

Para obtener semilla de calidad en híbridos de maíz, se requiere desespigar en forma oportuna y adecuada para lograr que se combine el progenitor masculino con el progenitor femenino y evitar que este último se contamine con su propio polen. En la actividad de desespigue se utilizan de 24 a 50 jornales por hectárea, para obtener semilla de alta calidad y con buena identidad genética. Además del alto costo económico, el desespigue representa riesgos de perder calidad al efectuarse en forma incorrecta. Ante ello, el empleo de la androesterilidad puede ser una opción viable que favorece la obtención de semilla de adecuada calidad genética y disminuye los costos de producción (Ramírez, 2006; Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2014 b).

A partir de 1970, en EE. UU la esterilidad citoplasmática denominada cms-T se dejó de usar por las empresas productoras de semillas debido a los problemas con susceptibilidad al tizón foliar causado por el hongo *Helminthosporium maydis* raza T. La enfermedad ocasionó una epifitía que afectó 90% de las siembras en la faja maicera de ese país (Grogan *et al.*, 1971; Airy *et al.*, 1978; Tadeo *et al.*, 1997).

A partir de 1980 se retomó la investigación con esterilidad masculina, con base en el descubrimiento y desarrollo de nuevas fuentes de esterilidad masculina. Esta nueva estrategia, combinó la forma génica citoplasmica, principalmente para los tipos C y S. Actualmente estos tipos se utilizan en cerca de 25% de la superficie dedicada a la producción de semilla en EUA (Liu *et al.*, 2002; Beck y Torres, 2005). En todos los casos se cuenta con diversas fuentes dentro de cada tipo de esterilidad para no depender de una sola (Partas, 1997; Tadeo *et al.*, 1997; Thomson, 1979; Liu *et al.*, 2002; Torres y Rodríguez, 2002; Tadeo *et al.*, 2007).

En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC-UNAM) y en el Campo Experimental Valle de México, del Instituto

It was found that the average of the male sterile version, considering all the genotypes and the four environments, exhibited a yield of 7 327 kg ha⁻¹, statistically similar to the yield of the fertile version (7 294 kg ha⁻¹).

Keywords: hybrids, maize, male sterility, productivity.

Introduction

In order to obtain quality seeds of hybrid maize, is required to detassel in time and in an appropriate manner to ensure that the male parent is combined with the female parent and prevent the latter from being contaminated with their own pollen. In thrashing activity are used 24 to 50 days per hectare, to obtain high quality seed with good genetic identity. In addition to the high economic cost, it represents thrashing risks losing quality made incorrectly. In response, the use of male sterility may be a viable option that favours obtaining adequate seed genetic quality and reduce production costs (Ramírez, 2006; Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2014 b).

Since 1970, in EE. UU the cytoplasmic sterility called cms-T stopped being used by the seed companies due to problems with susceptibility to leaf blight caused by the fungus *Helminthosporium maydis* race T. The disease caused an epidemic that affected 90% of the crops in the maize producing area of the country (Grogan *et al.*, 1971; Airy *et al.*, 1978; Tadeo *et al.*, 1997).

Since 1980 the investigation was resumed with male infertility, based on the discovery and development of new sources of male sterility. This new strategy, combined form cytoplasmic gene, mainly for the types C and S. Currently these types are used in about 25% of the area devoted to seed production in the US (Liu *et al.*, 2002; Beck and Torres, 2005). In all cases it has various sources within each type of sterility for not relying on only one (Partas, 1997; Tadeo *et al.*, 1997; Thomson, 1979; Liu *et al.*, 2002; Torres and Rodríguez, 2002; Tadeo *et al.*, 2007).

In the Faculty of Higher Studies Cuautitlan of the National Autonomous University of Mexico (FESC-UNAM) and the Valley Experimental Field of Mexico of the National Research Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) have made studies for breeding male infertility include females of commercial and experimental hybrids developed by UNAM and INIFAP, with emphasis on the

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se han realizado trabajos de mejoramiento genético para incorporar la esterilidad masculina a las líneas hembras de los híbridos comerciales y experimentales desarrollados por la UNAM y el INIFAP, con énfasis en la fuente "C", de interacción hereditaria de citoplasma y nuclear (Tadeo *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2009; Tadeo *et al.*, 2010). A partir de 1992, se incorporó el carácter de esterilidad a las líneas básicas, posteriormente (1995-1997) se identificaron líneas con capacidad restauradora. La estabilidad de la fuente de androesterilidad y la capacidad restauradora de las líneas desarrolladas, permitieron vislumbrar el uso potencial del esquema de androesterilidad, con lo cual se podrían limitar, en cierta medida, algunos problemas relacionados con el desespigue, así como reducir los costos que implica esta actividad (Tadeo *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2009; Tadeo *et al.*, 2010; Tadeo *et al.*, 2014 a).

Producto de los trabajos en androesterilidad, en el año 2011, el INIFAP logró la inscripción ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), del híbrido de maíz H-51 AE. Por su parte la FESC-UNAM logró el registro definitivo durante 2014, ante el CNVV, del híbrido Tsiri Puma. Otros maíces están en la última etapa de investigación, validación y transferencia antes de ser liberados comercialmente (Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010).

En este trabajo se evaluó, en cuatro experimentos uniformes, dos en el CEVAMEX y otros dos en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM), con diferencia en ambos sitios de la fecha de siembra, la productividad de los híbridos trilineales: Tsiri Puma 2, H-57 AE, H-47 AE, Puma 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2. Cada uno de los híbridos en las versiones androestériles y fértiles. El objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad productiva de los híbridos, considerando las versiones androestéril y fértil, así como la media de los cuatro ambientes de evaluación. Se cotejó la hipótesis de que la introducción del carácter de androesterilidad a cinco híbridos trilineales del Altiplano de México, no altera su potencialidad productiva, ni su fenología y morfología, ni interacciona con el ambiente de evaluación.

Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo estableciendo cuatro experimentos en el ciclo primavera verano 2012, dos de ellos en el predio Santa Lucía de Pías en el Campo

"C" source of hereditary interaction of cytoplasm and nuclear (Tadeo *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2009; Tadeo *et al.*, 2010). Since 1992, the character of sterility was added to the basic lines later (1995-1997) lines with restorative capacity were identified. The stability of male sterility source and the restorative capacity of developed lines, allowed a glimpse of the potential use of male sterility of the scheme, which could be limited to some extent, some problems related on thrashing and reduced costs (Tadeo *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2009; Tadeo *et al.*, 2010; Tadeo *et al.*, 2014 a).

Product of work in male sterility, in 2011, INIFAP achieved registration with the National Catalogue of Plant Varieties (CNVV) of the maize hybrid H-51 AE. The FESC-UNAM won got the final register for 2014, before the CNVV, of the hybrid Tsiri Puma. Other varieties are in the last stage of research, validation and transfer before being released commercially (Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2010).

In this work we evaluated, in four uniform experiments, two in the CEVAMEX and other two in the Faculty of Higher Studies Cuautitlán (FESC-UNAM), with difference in both places on the date of planting, the productivity of the trilinear hybrids: Tsiri Puma 2, H-57 AE, H-47 AE, Puma 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2. Each of the hybrid male-sterile and fertile versions. The aim of this study was to determine the productive capacity of the hybrids, considering the male sterile and fertile versions as well as the average of the four environments evaluated. The hypothesis that the introduction of the character of male sterility to five trilinear hybrids of the Plateau of Mexico, does not alter its productive potential, nor its phenology and morphology, not even the interactions with the environment under assessment.

Materials and methods

This research was conducted in four experiments established in the 2012 spring-summer cycle, two of them on the campus of St. Lucia de Pías in the Valley Experimental Field of Mexico of the National Research Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (CEVAMEX-INIFAP), located in the municipality of Texcoco, State of Mexico, and two others at the experiment Experimental "Rancho Almaraz" of the Faculty of Studies Cuautitlan (FESC), UNAM, located in Cuautitlan Izcalli, State of Mexico.

Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP), ubicado en el Municipio de Texcoco, Estado de México, y otros dos experimento en el Campo Experimental “Rancho Almaraz”, de la Facultad de Estudios Cuautitlán (FESC), de la UNAM, ubicado en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Los cuatro experimentos se sembraron usando el diseño experimental bloques completos al azar, con seis repeticiones, el análisis se efectuó en forma combinada, calculando las interacciones, para probar el efecto de ambiente se tomaron los efectos de la interacción repeticiones x ambiente y se combinaron con el efecto de repeticiones para integrar el error que se usó para el cotejo de hipótesis del efecto del ambiente. Los factores y niveles integran un factorial completo $2 \times 5 \times 2$, cuyos factores son los siguientes: dos ambientes ($A=4$), cinco híbridos trilineales ($B=5$), la versión androestéril o fértil ($C=2$), lo que genera 10 tratamientos en cada una de los cuatro ambientes. Cada unidad experimental consistió en un surco de 5 metros de largo por 0.8 metros de ancho.

Lo cinco híbridos trilineales de maíz del INIFAP evaluados, identificados en el presente estudio fueron Tsiri Puma 2, H-57 AE, H-47 AE, Puma 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2, cuya semilla fue obtenida utilizando cruza simples en versión androestéril (AE) y fértil (F), combinadas con su progenitor masculino, durante el ciclo primavera-verano 2011.

La estructura de tratamientos estuvo conformada, como se señala, por su evaluación en los cuatro ambientes (factor A), los cinco híbridos trilineales mencionados (factor B), en sus versiones fértil y androestéril (factor C).

La preparación mecánica del terreno consistió en un barbecho, una cruz y un paso de rastra. El surcado se hizo a 0.80 m. La siembra en el experimento de CEVAMEX-INIFAP F1 se efectuó el 16 de mayo de 2012 y la siembra del ambiente CEVAMEX-INIFAP F2, se llevó a cabo el 07 de junio de 2012, en ambos casos a pala y con auxilio de riego de siembra. En la FESC-UNAM F1, el primer experimento la siembra fue el 17 de mayo de 2012, con auxilio de riego de siembra y el segundo experimento, FESC-UNAM F2, la siembra fue el 01 de junio de 2012, con humedad de temporal de lluvia, en los dos experimentos de la FESC-UNAM, la siembra fue a “tapa pie”.

En todos los casos se depositaron cuatro semillas por mata cada 0.50 m. Después de la emergencia de las plántulas, se aclaró para dejar 24 plantas en cinco metros de largo, para lograr densidades de población uniformes a 60 000 plantas

The four experiments were planted using the experimental design random complete blocks, with six repetitions, the analysis was performed in combination, calculating the interactions, to test the effect of environment the effects of repetitions x environment interaction were collected and combined with the effect of repetitions to integrate the error that was used for comparison of environmental effect hypothesis. The factors and levels comprise a full factorial $2 \times 5 \times 2$, which factors are: two areas ($A=4$), five trilinear hybrids ($B=5$), the male sterile or fertile version ($C=2$), which generates 10 treatments in each of the four environments. Each experimental unit consisted of a row of 5 meters long and 0.8 meters wide.

The five trilinear hybrids of maize of INIFAP assessed, identified in this study were Tsiri Puma 2, H-57 AE, H-47 AE, Puma 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2, whose seed was obtained using single crosses in male sterile version (AE) and fertile (F), combined with its male parent during the spring - summer season, 2011.

The structure consisted of treatments, as noted, for evaluation in the four environments (factor A), the five mentioned trilinear hybrids (factor B) in their fertile and male sterile versions (factor C).

Mechanical preparation consisted of a fallow field, a cross and a step of drag. The ridged was made at 0.80 m. Seeding in the experiment CEVAMEX-INIFAP F1 was made on May 16th, 2012 and the planting environment CEVAMEX-INIFAP F2, held on June 7th, 2012, in both cases using a shovel and watering planting. The FESC-UNAM F1, the first experiment was planted on May 17th, 2012, with the assistance of irrigation and, the second experiment, FESC-UNAM F2, sowing was June 1st, 2012, with rainfed humidity rain, in both experiments at the FESC-UNAM, planting was at "cap standing"

In all cases were deposited four seeds per plant every 0.50 m. After the seedling emergence, was thinning to leave 24 plants in five meters long, to achieve densities of uniform population at 60 000 plants ha^{-1} , which is the population density recommended in the high valleys of Central Mexico, to materials similar to those that were used in this study.

For weed control, two applications were made: first, a day after sowing, using per ha 1 L of Hierbamina® and 2 kg of Gesaprim® gauge 90; the second was made 40 days after planting, with 1 L of Sansón® 4 SC, 1 L of Hierbamina® and 2 kg of Gesaprim® gauge 90. The harvest was performed manually and in the first half of December 2010, collecting

ha⁻¹, que es la densidad de población recomendada en Valles Altos del Centro de México, para materiales similares a los que se emplearon en este estudio.

Para el control de malezas se efectuaron dos aplicaciones: la primera, un día después de la siembra, utilizando por ha 1 L de Hierbamina® y 2 kg de Gesaprim® calibre 90; la segunda se hizo 40 días después de la siembra, con 1 L de Sansón® 4 SC, 1 L de Hierbamina® y 2 kg de Gesaprim® calibre 90. La cosecha fue manual y se realizó en la primera quincena de diciembre de 2010, colectando todas las mazorcas aunque sólo se consideraron las que contenían grano sano que cubre las características para su comercialización, es decir grano sano en más de 60% de la mazorca.

En campo se registraron los datos: floración masculina (cuando 50% de las plantas liberaron polen), floración femenina (cuando 50% de las plantas habían expuesto los estigmas, en por lo menos tres cm), altura de planta (de la base del tallo al nudo de inserción de la espiga) y altura de mazorca (de la base del tallo al nudo de inserción de la mazorca superior). Se tomaron datos de otras variables como son: en cinco mazorcas se registró humedad en la semilla, con un determinador de humedad eléctrico tipo Stenlite, porcentaje de grano/olote (cociente del peso de grano con el peso de grano más olotes); también se midieron longitud de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera.

Para rendimiento de grano (RG) por parcela se aplicó la fórmula:

$$RG = (PC \times (\%) MS \times (\%) G) \times F.C. / 8600$$

Donde: PC es el peso de campo del total de las mazorcas cosechadas en la parcela, expresado en kg, (%) MS es el porcentaje de materia seca calculado con base en la muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas, (%) G es el porcentaje de grano obtenido como el cociente entre el peso de grano y el peso de mazorca, F.C. es el factor de conversión a rendimiento por ha, que se obtiene de dividir 10 000 m² entre el tamaño de la parcela útil determinado en m² (4 m²), 8 600 es una constante empleada para estimar el rendimiento con una humedad del grano de 14%.

Para el análisis estadístico, los datos registrados en cada una de las variables agronómicas fueron sometidos al análisis de varianza, el cual se realizó considerando los tres factores: ambientes (4), híbridos (5), versión del genotipo androesteril ó fértil (2), y sus interacciones entre estos factores; es decir,

all ears if only considered those containing healthy grain that covers the features for marketing, i.e. healthy grain in over 60% of the cob.

Field data were recorded: male flowering (when 50% of plants released pollen), silking (when 50% of plants were exposed stigmas at least three cm), plant height (from the base of the stem knot insertion of the spigot) and ear height (from the stem base to the node insertion on the upper ear). Data from other variables are taken: in five cobs the seed had moisture and was recorded with an electric moisture determiner Stenlite type, percentage of grain/cob (ratio of grain weight with the weight of more cobs grain); ear length, rows per ear and kernels per row were also measured.

For grain yield (RG) per plot, applying the following formula:

$$RG = (PC \times (\%) MS \times (\%) G) \times F.C. / 8600$$

Where: PC is the weight of the total area, harvested ears in the lot, expressed in kg (%) MS is the percentage of dry matter calculated based on the sample of five freshly harvested grain cobs (%) G is the grain percentage obtained by dividing the weight of grain and ear weight, FC is the conversion factor to yield per hectare, which is obtained by dividing 10 000 m² between the size of the useful plot given in m² (4 m²), 8 600 is a constant used to estimate yield with a grain moisture of 14%.

For statistical analysis, data recorded in each of the agronomic variables were subjected to analysis of variance, which was made considering three factors: environment (4), hybrid (5), version genotype androsterile or fertile (2), and the interactions among these factors; i.e. environments x hybrid, environments x andoesterilidad/fertility, hybrid x male sterility/fertility, environments x hybrid x male sterility/fertility. When the F values were significant, Tukey test was applied to compare the means of locations, maize genotypes version of male sterile or fertile genotype, at a significance level of 5%.

Results and discussion

For grain yield were found highly significant differences ($p \geq 0.01$) for hybrids and environments; as well as the interaction environment x hybrids and significant for

ambientes x híbridos, ambientes x androesterilidad/fertilidad, híbridos x androesterilidad/fertilidad, ambientes x híbridos x androesterilidad/fertilidad. Cuando los valores de F fueron significativos se aplicó la prueba de Tukey para comparar las medias de localidades, genotipos de maíz, versión del genotipo androestéril o fértil, a un nivel de significancia de 5%.

Resultados y discusión

Para rendimiento de grano se detectaron diferencias altamente significativas ($p \geq 0.01$) para ambientes y para híbridos; así como, la interacción ambiente x híbridos y significativas para híbridos x androesterilidad/fertilidad, pero no para el factor androesterilidad/fertilidad y tampoco para las otras interacciones. El coeficiente de variación para rendimiento fue de 19.4% y la media aritmética fue de 7 460 kg ha⁻¹. Para floración masculina y altura de planta también hubo diferencias altamente significativas ($p \geq 0.01$) entre ambientes (A), híbridos (B) y versión del genotipo androestéril o fértil (C), en el caso de altura de planta también hubo diferencia altamente significativa para la interacción ambiente x híbridos.

Para floración femenina y granos por mazorca hubo diferencias altamente significativas ($p \geq 0.01$) entre ambientes (A) y para híbridos (B), en las otras variables no se presentó significancia. En altura de mazorca, se detectó diferencia estadística altamente significativa ($p \geq 0.01$) para híbridos y la interacción ambientes x híbridos.

En peso de 200 granos, longitud de mazorca y granos por hilera, hubo diferencias altamente significativas para el factor de variación ambientes. Para la variable peso de 200 granos y granos por hilera, las diferencias se observaron al nivel de 5%, para la interacción ambientes x híbridos (A x B) (Cuadro 1).

La comparación entre híbridos, mostró diferencias en los rendimientos, se definieron tres grupos de significancia, el mayor rendimiento correspondió a Tsiri Puma 2 (8 930 kg ha⁻¹) y el menor fue el del híbrido Puma 1183 AEC1, con 6 321 kg ha⁻¹ (Cuadro 2). Los cinco híbridos evaluados, se obtienen con el esquema de androesterilidad y comercialmente se utilizan con el esquema de mezclas de semilla androestéril y fértil, que es la manera como se emplea la esterilidad masculina en otros materiales (Espinosa *et al.*, 2009, Tadeo *et al.*, 2010). El rendimiento similar de los híbridos H-57 AE, H-47 AE, y Puma 1183 AEC2 y Puma 1183 AEC2, puede deberse a que entre los dos materiales hay coincidencia en una o dos

the hybrids x male sterility/fertility, but not for the male sterility/fertility factor nor for the other interactions. The coefficient of variation for yield was 19.4% and the average was 7 460 kg ha⁻¹. For male flowering and plant height there were highly significant differences ($p \geq 0.01$) among environments (A), hybrids (B) and the male genotype sterile version or fertile (C), in the case of plant height there were highly significant difference for the environment x hybrids interaction.

In weight of 200 grains, length of the ear cobs and number of grains per row, there were highly significant differences for the factor of environmental variation. For the variable weight of 200 grains and grains per row, the difference were observed at a 5% level, for the environment x hybrids interaction (A x B) (Table 1).

200 grain weight, ear length and grains per row, there were highly significant differences for the factor of variation environments. For the variable weight of 200 grains and kernels per row, differences were observed at the 5% to the environments interaction hybrid x (A x B) (Table 1).

The comparison between hybrids showed differences in yields, three groups of significance was defined, the best yield corresponded to Tsiri Puma 2 (8 930 kg ha⁻¹) and the lowest was the hybrid Puma 1183 AEC1, with 6 321 kg ha⁻¹ (Table 2). The five hybrids evaluated, obtained with the scheme male sterility and commercially used mixtures scheme and fertile male sterile seed, which is how the male sterility is used in other materials (Espinosa *et al.*, 2009; Tadeo *et al.*, 2010). The similar yield of the hybrids H-57 AE, H-47 AE, and Puma 1183 AEC2 and Puma 1183 AEC2, may be because of the two materials there are inconsistencies in one or two lines that make up its structure as hybrids, these materials that have been evaluated for several years and in different jobs have excelled, which allowed for 2014 signed one of the hybrids registered by the FESC-UNAM in the National Catalogue of Plant Varieties (CNVV), which means the first male sterile hybrid commercially released by UNAM (Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2010; Tadeo *et al.*, 2014; Tadeo *et al.*, 2014 b.)

The comparison of means for grain yield showed the male sterile production version presented statistically similar to the fertile (Table 3). This result can be explained as the male-sterile versions are isogenic fertile; they differ only in the production or not of pollen grains, as noted in several

de las líneas que integran su estructura como híbridos, estos materiales que se han venido evaluando por varios años y en diferentes trabajos han sobresalido, lo cual permitió que durante el año 2014 se inscribió uno de los híbridos fuese registrado por la FESC-UNAM en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), lo que significa el primer híbrido con esterilidad masculina que libera comercialmente la UNAM (Espinosa *et al.*, 2008; Espinosa *et al.*, 2010; Tadeo *et al.*, 2014 a; Tadeo *et al.*, 2014 b).

studies (Martínez *et al.*, 2005; Ramírez, 2006; Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2014; Tadeo *et al.*, 2014 b). Nevertheless, these results contrast with those observed in other studies that have found that male-sterile versions reach statistically higher than the yields of fertile (Martínez *et al.*, 2005; Tadeo *et al.*, 2007). The comparison of means for male flowering, defined as delayed the male sterile with respect to the version fertile in plant height and number of rows per ear, version fertile male-sterile was higher version, while for the other

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para rendimiento de grano (kg ha⁻¹) y otras variables evaluadas en cuatro ambientes (A), cinco híbridos de maíz (B) en sus versiones fértiles y androestériles (C) de Valles Altos. Primavera - verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.

Table 1. Mean squares and statistical significance of the values of F for grain yield (kg ha⁻¹) and other variables evaluated in four environments (A), five maize hybrids (B) on its fertile and male sterile versions (C) of the High Valleys. Spring-summer 2012. FESC-UNAM and CEVAMEX.

Factor de variación	GL	Variables								
		RG	FM	FF	AP	AM	LM	HM	GH	GM
A	3	205 710 488**	592**	573.2**	18 459**	215	51.4**	26.5**	410**	153 372**
B	4	42 904 516**	118.9**	150.3**	12 355**	8253.5**	3.6	13.6**	16.3	14 771**
C	1	6 635 664	87.6**	0.18	2 325**	166.6	0.70	3.75	2.81	904
A X B	12	12 184 585**	3.66	4.30	1 077**	266.3**	3.20	1.06	14.1*	2 765
A X C	3	2 793 950	7.08	9.73	102.0	72.1	0.62	0.005	5.83	1 119
B X C	4	9 276 712*	3.04	4.30	239.8	36.3	4.54	1.23	9.5	1 756
A X B X C	12	3 639 850	1.00	4.70	103.3	24.2	1.20	1.18	6.4	2 344
C.V.(%)		19.4	2.2	2.6	6.7	7.8	7.7	6.3	8.1	10.7
Media		7 460	77	78	248	118	14.8	15	29	441

*, ** valores significativos y altamente significativos al 0.05 y 0.01 de probabilidad; CV= coeficiente de variación. RG, rendimiento de grano; FM, floración masculina; FF, floración femenina; AP, altura de planta; AM, altura de mazorca; LM, longitud de mazorca; HM, hileras de la mazorca; GH, granos por hilera; GM, granos por mazorca.

Cuadro 2. Comparación de medias para cinco híbridos de maíz en sus versiones fértiles y androestériles, considerando la media de cuatro ambientes, para rendimiento (kg ha⁻¹) y otras variables evaluadas. Primavera-verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.

Table 2. Comparison of average on five maize hybrids on the fertile and male sterile versions, considering the average of four environments, for the yield (kg ha⁻¹) and other variables evaluated. Spring-summer 2012. FESC-UNAM and CEVAMEX.

Genotipo	RG (kg/ha)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	HM	GH	GM
Tsiri Puma 2	8930 a	77 b	78 b	256 b	118 b	15.2 a	15.0 ab	30 ab	448 ab
H-57 AE	7488 b	75 c	77 c	255 b	111 c	14.9 ab	15.0 ab	30 ab	448 ab
H-47 AE	7446 b	75 c	77 c	264 a	141 a	14.6 ab	15.5 a	30 ab	463 a
Puma 1183 AEC2	7117 bc	77 b	79 b	238 c	113 bc	14.8 ab	14.0 c	31 a	421 c
Puma 1183 AEC1	6321 c	79 a	82 a	225 d	108 c	14.5 b	14.8 b	28 b	424 bc
D.M.S.H.(0.05)	815	0.9	1.1	8	5	0.6	0.5	1	26

*Las medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$). RG=rendimiento de grano; FM=floración masculina; FF=floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; LM= longitud de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; GM= granos por mazorca.

La comparación de medias para rendimiento de grano mostró que la versión androestéril presentó una producción estadísticamente similar a la fértil (Cuadro 3). El resultado anterior es explicable ya que las versiones androestériles son isogénicas de las fértiles; sólo difieren en la producción o no de granos de polen, como se señala en diversos trabajos (Martínez *et al.*, 2005; Ramírez, 2006; Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2014 a; Tadeo *et al.*, 2014 b). No obstante lo anterior, estos resultados contrastan con los observados en otros estudios, donde se ha encontrado que las versiones androestériles alcanzan rendimientos estadísticamente superiores al de las fértiles (Martínez *et al.*, 2005; Tadeo *et al.*, 2007). La comparación de medias para floración masculina definió que la versión androestéril es más tardía, con respecto a la versión fértil, en altura de planta y número de hileras por mazorca, la versión fértil fue superior a la versión androestéril, en cambio para las demás variables: floración femenina, altura de mazorca, longitud de mazorca, granos por hilera, granos por mazorca, en la comparación de medias no hubo diferencias significativas entre las versiones androestéril y fértil, situación atribuible al hecho, como se indicó previamente, de que son genéticamente similares, excepto para los genes génico-citoplásmicos relacionados con la esterilidad masculina Tipo C, que causan que en la versión androestéril no haya producción de polen, mientras que en la fértil sí (Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Comparación de medias para las versiones androestéril ó fértil considerando la media de cinco híbridos y cuatro ambientes de evaluación, para rendimiento (kg ha⁻¹) y otras variables evaluadas. Primavera-verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.

Table 3. Comparison of means for fertile or male-sterile versions based on the average of five hybrids and four evaluation environments to yield (kg ha⁻¹) and other variables evaluated. Spring-summer 2012. FESC-UNAM and CEVAMEX.

Tipo Fertilidad	RG (kg ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	HM	GH	GM
Androestéril	7 627 a	77 a	78 a	244 b	119 a	14.9 a	14.8 b	30 a	439 a
Fértil	7 294 a	76 b	78 a	251 a	117 a	14.7 a	15.0 a	29 a	443 a
D.M.S.H. (0.05)	369	0.4	0.5	3	2	0.2	0.2	1	12

*Las medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$). RG=rendimiento de grano; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; LM= longitud de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; GM= granos por mazorca.

En la comparación de medias entre ambientes, la segunda fecha de siembra en la FESC-UNAM F2, exhibió el mayor rendimiento promedio de grano (9 892 kg ha⁻¹), diferente significativamente al rendimiento medio de los otros tres ambientes, lo que posiblemente se debió a que la otra fecha de siembra en la propia FESC-UNAM y las dos fechas de siembra en CEVAMEX, fueron efectuada por las condiciones de precipitación, lo que probablemente repercutió en el rendimiento (Cuadro 4).

variables: silking, ear height, ear length, kernels per row, grains per ear, to compare means with no significant differences between the male sterile and fertile versions, a situation attributable to the fact, as previously stated that are genetically similar, except for those related to male sterility cytoplasmic C-type gene, which cause no production of pollen in the male-sterile version, while the genes in the fertile did (Tadeo *et al.*, 2007; Tadeo *et al.*, 2010).

In the comparison of means between environments, the second planting date on the FESC-UNAM F2, exhibited the highest average grain yield (9 892 kg ha⁻¹) significantly different to the average yield of the other three environments, possibly because the other planting date on the FESC-UNAM and the two planting dates in CEVAMEX were made by the precipitation conditions, which probably affected the yield (Table 4).

Conclusions

The FESC-UNAM 2 environment, with an average grain yield of 9 892 kg ha⁻¹, and was statistically superior compared to the other three evaluation environments.

The average yield of the five hybrids, considering the four evaluation environments and male sterile and fertile version, the highest production corresponded to Tsiri Puma, with 8 930 kg ha⁻¹, four hybrids were statistically similar (H-57 AE, H-47 AE, Puma 1183 AEC2).

The male-sterile version, considering the average of the hybrids and the four environments, presented statistically similar yield (7 627 kg ha⁻¹) with respect to the fertile version (7 294 kg ha⁻¹).

Cuadro 4. Comparación de medias para cuatro ambientes de evaluación, considerando la media de cinco híbridos y sus versiones androestériles y fértiles, para rendimiento (kg ha⁻¹) y otras variables evaluadas. Primavera-verano 2012. FESC-UNAM y CEVAMEX.

Table 4. Comparison of the average of the four evaluation environments, considering the average of five hybrids and male sterile and fertile versions to yield (kg ha⁻¹) and other variables evaluated. Spring-summer 2012. FESC-UNAM and CEVAMEX.

Fechas de Siembra	RG (kg ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	HM	GH	GM
2= FESC-UNAM F2	9 892 a	80 a	82 a	230 d	117 a	15.5 a	15.9 a	31 a	496 a
4= CEVAMEX F2	7 687 b	74 d	75 d	248 b	119 a	14.7 a	14.5 b	32 a	464 b
3= CEVAMEX F1	6 757 c	75 c	77 c	271 a	121 a	13.7 c	14.5 b	26 c	379 d
1= FESC-UNAM F1	5 504 d	78 b	80 b	242 c	117 a	14.4 b	14.7 b	29 b	423 c
D.M.S.H. (0.05)	686	0.7	0.9	7	5	0.5	0.4	1	22

*Las medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p \geq 0.05$). RG=rendimiento de grano; FM=floración masculina; FF=floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; LM= longitud de mazorca; HM= hileras por mazorca; GH= granos por hilera; GM= granos por mazorca.

Conclusiones

El ambiente FESC-UNAM 2, con una media de rendimiento de grano de 9 892 kg ha⁻¹, fue superior estadísticamente y con respecto a los otros tres ambientes de evaluación.

La media de rendimiento de los cinco híbridos, considerando los cuatro ambientes de evaluación y la versión androesteril y fértil, la producción más alta correspondió a Tsiri Puma, con 8 930 kg ha⁻¹, cuatro híbridos fueron estadísticamente similares (H-57 AE, H-47 AE, Puma 1183 AEC2).

La versión androesteril, considerando la media de los híbridos y los cuatro ambientes, presentó un rendimiento similar estadísticamente (7 627 kg ha⁻¹) con respecto a la versión fértil (7 294 kg ha⁻¹).

Se encontró diferencia estadística altamente significativa en la interacción ambiente x híbridos, lo que indica la conveniencia de evaluar a los genotipos en mayor número de ambientes.

Literatura citada

Airy, J. M.; Tatum, A. L. y Sorenson, J. W. 1978. La producción de semillas, producción de semilla híbrida de maíz y sorgo para grano. *In*: anuario estadístico de semillas. Trad. de la 4ª ed. en inglés por Marino, P. y Rodríguez, P. Ed. CECSA. México. 274-285 pp.

Highly significant statistical difference was found in the environment x hybrid interaction, indicating the desirability of evaluating genotypes in more environments.

End of the English version



- Beck, L. D. y Torres, F. J. L. 2005. Desespigamiento. *In*: Ortiz, T. C.; Espinosa, C. A.; Azpiroz, R. H. S.; Sahagún, C. S. (Comp.). 2005. Producción y tecnología de semillas de maíz del INIFAP para los Valles Altos y zona de transición. INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Estado de México, México. Libro técnico Núm. 3. 44-55 pp.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Martínez, M. R.; Virgen, V. J.; Palafox, C. A.; Caballero, H. F.; Vázquez, C. G. y Salinas, M. Y. 2008. H-49 AE híbrido de maíz para Valles Altos con androesterilidad para producción de semilla. *In*: Memoria técnica Núm. 9, Día de Campo CEVAMEX. Chapingo, México. 13-14 pp.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Sierra, M. M.; Turrent, F. A.; Valdivia, B. R. y Zamudio, G. B. 2009. Rendimiento de híbridos de maíz bajo diferentes combinaciones de semilla androesteril y fértil en México. *Agron. Mesoam.* 20(2):211:216.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Martínez, M. R.; Virgen, V. J.; Palafox, C. A.; Caballero, H. F.; Arteaga, E. I.; Canales, I. E. I.; Vázquez, C. G. y Salinas, M. Y. 2010. H-47 AE híbrido de maíz con esterilidad masculina para producción de semilla en Valles Altos. *In*: Memoria técnica Núm. 11, Día de Campo- CEVAMEX 2010. Chapingo, México. 15-16 pp.
- Grogan, C. O.; Francis, C. A. and Sarvella, P. A. 1971. Influence of cytoplasmic male sterility on dry matter accumulation in maize. *Crop Sci.* 5:365-367.
- Liu, Z. P.; Long, S. O.; Weingartner, M.; Stamp, U. and Kaeser, O. P. 2002. APCR assay for rapid discrimination of sterile cytoplasm types in maize. *Crop Sci.* 42:566-569.

- Martínez, L. C.; Mendoza, O. L. E.; García, D. L. S. G.; Mendoza, C. M. C. y Martínez, G. A. 2005. Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androestériles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):127-133.
- Partas, E. K. 1997. Male sterility as an efficient method of exploiting heterosis in maize. *In: the genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium. CIMMYT, Mexico city, Mexico.* 244-245 pp.
- Ramírez L. 2006. Utilización de la androesterilidad para la producción de semilla híbrida. Cátedra de Producción vegetal genética y mejora vegetal. Departamento de producción agraria. Universidad Pública de Navarra, España. 7 p.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Martínez, M. R.; Solano, A. M. y Piña, D. V. A. 1997. Use of CIMMYT germplasm to develop maize hybrids at the UNAM. *In: the genetics and exploitation of heterosis in crops. An International Symposium. CIMMYT, Mexico city, Mexico.* 240-241 pp.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Beck, L. D. y Torres, J. L. 2007. Rendimiento de semilla de cruces simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Agríc. Téc. Méx.* 33(2):175-180.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Serrano, R. J.; Sierra, M. M.; Caballero, H. F.; Valdivia, B. R.; Gómez, M. N.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A. y Zamudio, G. B. 2010. Productividad de diferentes combinaciones de semilla androestéril y fértil en dos híbridos de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(2):273-287.
- Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Turrent-Fernández, A.; Zamudio-González, B.; Valdivia-Bernal, R. y Andrés-Meza, P. 2014 a. Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androesteril y fértil. *Agron. Mesoam.* 25(1):45-52.
- Tadeo-Robledo, M.; Espinosa-Calderón, A.; Turrent-Fernández, A.; Zamudio-González, B.; Zamudio-González, B.; Sierra-Macias, M.; Gómez-Montiel, N.; Valdivia-Bernal, R. y Virgen-Vargas, J. 2014 b. Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(5):883-891.
- Torres, C. y Rodríguez, E. 2002. Incorporación de la androesterilidad citoplásmica a línea cubana de maíz (*Zea mays* L.). *In: Resúmenes de XLVIII reunión anual PCCMCA 2002.* Boca Chica, República Dominicana. 49 p.
- Thomson, J. R. 1979. Introducción a la tecnología de las semillas. Trad. de la primera ed. en inglés por Paloma Melgarejo de Nardiz. Ed. Acibia. España. 68 p.