

Productividad de cruzas simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México*

Yield of simple crosses of maize with protein quality of Valles Altos of México

Consuelo López López¹, Margarita Tadeo-Robledo², Alejandro Espinosa-Calderón³, J. Jesús García Zavala^{1§}, Ignacio Benítez Riquelme¹, Ma. Gricelda Vázquez Carrillo³ y José Alfredo Carrillo Salazar¹

¹Programa de Genética, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Tezcoco, km 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (lopez.consuelo@colpos.mx; zavala@colpos.mx; riquelme@colpos.mx; asalazar@colpos.mx). ²Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucán, km 2.5. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. CP. 54714. AP. 25. Tel. (55) 56231971. (tadeorobledo@yahoo.com). ³Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Tezcoco, km 13.5. Coatlínchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56250. Tel. 01(800) 0882222, ext. 85328. (espinoale@yahoo.com.mx; gricelda.vazquez@yahoo.com). [§]Autor para correspondencia: zavala@colpos.mx.

Resumen

La incorporación de androesterilidad en genotipos de con calidad de proteína de maíz (QPM) por sus siglas en inglés, que representan quality protein maize (*Zea mays* L.) facilita la producción de semilla y ofrece un grano de maíz con mejor calidad de proteína además de ventajas agronómicas. En el ciclo primavera verano de 2014 se establecieron experimentos en Cuautitlán Izcalli y Santa Lucía de Prías, Texcoco, Estado de México, para determinar la productividad de cruzas simples de maíz entre seis líneas androestériles y tres líneas élite, todas ellas QPM. Se evaluaron 18 cruzas simples y los híbridos trilineales H 47 AE y TSIRI PUMA de calidad normal como testigos, en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se estimó el rendimiento de grano, días a floración masculina, altura de planta y mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera y número de granos por mazorca. Las mejores cruzas simples de maíz de calidad de proteína (QPM) fueron LAEQ5 CML354, LAEQ4 CML173 y LAEQ3 CML173 en ambas localidades, con rendimientos mayores a 8 t ha⁻¹, superando

Abstract

The incorporation of male sterility into protein quality maize (QPM) genotypes (*Zea mays* L.), facilitates seed production and offers a maize grain with better protein quality of agronomic advantages. Experiments were carried out in Cuautitlán Izcalli and Santa Lucía de Prías, Texcoco, State of Mexico, in order to determine the productivity of simple maize crosses between six androthermal lines and three elite lines, all of them QPM. 18 single crosses and trilineal hybrids H 47 AE and TSIRI PUMA of normal quality as controls were evaluated in a randomized complete block experimental design with three replicates. The grain yield, days at male flowering, height of plant and cob, number of rows per cob, number of grains per row and number of grains per cob were estimated. The best simple quality protein maize crosses (QPM) were LAEQ5 CML354, LAEQ4 CML173 and LAEQ3 CML173 in both localities, with yields greater than 8 t ha⁻¹, exceeding the yield of commercial controls from 43 to 57%. These crosses could participate in the formation of superior trilineal hybrids when combined with a third line that generates a good hybrid. Due to their participation in

* Recibido: enero de 2017
Aceptado: abril de 2017

el rendimiento de los testigos comerciales de 43 a 57%. Estas cruza podrían participar en la conformación de híbridos trilineales superiores al combinarlas con una tercera línea que genere un buen híbrido. Por su participación en las cruza superiores, las mejores líneas androestériles QPM fueron LAEQ3, LAEQ4 y LAEQ5, mientras que las mejores líneas élite QPM fueron CML 173 y CML 354.

Palabras clave: *Zea mays* L., androesterilidad, calidad de proteína, híbridos, rendimiento.

Introducción

En México el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el más importante, pues concentra 7.5 millones de hectáreas y es el componente básico de la dieta de la mayoría de los mexicanos. Sin embargo, en el país sólo se producen 22.1 millones de toneladas de grano de maíz cada año y se importan 10 millones de toneladas para cubrir la demanda aparente (Tadeo *et al.*, 2015a). Dado que el maíz es el pilar de la alimentación de los mexicanos, lo que ocurre con este cultivo repercute socioeconómicamente en el país, ya que su principal derivado, la tortilla, es el alimento básico y preponderante de la población.

En el año 2013, en la región de los Valles Altos de México (2 200 msnm) se sembraron dos millones de hectáreas de maíz (26.6% de la superficie nacional sembrada con esta especie) con un rendimiento promedio de 2.7 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2013). Con base en la magnitud de este rendimiento promedio, se puede decir que la producción por unidad de superficie es baja y se requiere incrementarla, pues cada vez la superficie para el cultivo es menor y la demanda sigue en aumento (Virgen *et al.*, 2016).

Aunado a la producción baja por superficie de maíz, en México existen 31 millones de personas con desnutrición, de los cuales más de 50% la padecen de manera severa (indígenas y población urbana de bajos ingresos) (Sierra *et al.*, 2010). La mayoría de los cereales, entre ellos el maíz, alimento básico en México, contienen contenidos bajos de proteína, en especial la disponibilidad de los aminoácidos esenciales lisina y triptófano es limitada. No obstante, para contrarrestar la desnutrición, existen maíces con calidad de proteína, denominados QPM por sus siglas en inglés de quality protein maize. Estos maíces derivaron del aprovechamiento del gen mutante opaque-2

the upper crosses, the best QPM androthermal lines were LAEQ3, LAEQ4 and LAEQ5, while the best elite QPM lines were CML 173 and CML 354.

Keywords: *Zea mays* L., androesterility, hybrids, protein quality, yield.

Introduction

In Mexico maize (*Zea mays* L.) is the most important crop, concentrating 7.5 million hectares and is the basic diet component of most Mexicans. However, in the country only 22.1 million tons of corn are produced each year and 10 million tons are imported to cover the apparent demand (Tadeo *et al.*, 2015a). Given that maize is the mainstay of Mexican food, what happens to this crop has socioeconomic repercussions in the country, since its main derivative, the tortilla, is the staple and preponderant food of the population.

In 2013, 2 million hectares of maize (26.6% of the national area planted with this species) were planted in the Valles Altos region of Mexico (2 200 masl) with an average yield of 2.7 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2013). Based on the magnitude of this average yield, it can be said that the production per unit area is low and it is necessary to increase it, because as time goes by the crop area is getting smaller but the demand continues to increase (Virgen *et al.*, 2016).

In addition to low maize production, in Mexico there are 31 million people with malnutrition, of which more than 50% are severely affected (indigenous and low-income urban population) (Sierra *et al.*, 2010). Most cereals, including maize, staple food in Mexico, have low protein content and the availability of essential amino acids such as lysine and tryptophan is limited. However, to counter malnutrition, there are maize with quality of protein, called QPM for quality protein maize. These maize were derived from the use of the mutant opaque-2 (opaco-2) gene from Peru (Mertz *et al.*, 1964), which in homozygous recessive condition (Mertz, 1994) expresses the same total amount of proteins, but with contents of up to 100% more lysine and tryptophan than the common maize, but due to its floury texture, grain weight and field yield are low, as well as being easily attacked by pests (Mertz, 1994; Espinosa *et al.*, 2005).

(opaco-2), procedente de Perú (Mertz *et al.*, 1964), el cual en condición homocigótica recesiva (Mertz, 1994) expresa la misma cantidad total de proteínas, pero con contenidos de hasta 100% más de lisina y triptófano que los maíces comunes, aunque por su textura harinosa, el peso de grano y su rendimiento en campo resultan bajos, además de ser fácilmente atacados por las plagas (Mertz, 1994; Espinosa *et al.*, 2005).

Vasal *et al.* (1980) mediante técnicas de mejoramiento convencional lograron incorporar genes modificadores al maíz opaco-2, los cuales producen en el endospermo opaco una textura similar a la del maíz normal, pero con alta calidad de proteína en el grano. Así, en la década de los años ochenta se obtuvieron maíces con de calidad de proteína (QPM) sin las desventajas iniciales, con textura de grano más dura que el maíz opaco y de apariencia común o normal (Vasal, 2001).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en coordinación con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), llevó a cabo ocho trabajos de investigación con maíces QPM en diferentes regiones de México con la participación de más de 60 especialistas, cuyas líneas fueron: mejoramiento genético, producción y tecnología de semillas, forrajes, plagas de granos almacenados, manejo agronómico, transferencia de tecnología, efecto en alimentación humana y dieta de animales, y análisis de la calidad. Producto de estas actividades, en 1999 y 2000 se inscribieron ante el catálogo de variedades factibles de certificación (CVC), ahora catálogo nacional de variedades vegetales (CNVV) más de 30 híbridos y variedades (Espinosa *et al.*, 2005).

Por otro lado, la producción comercial de semilla de híbridos de maíz requiere de desespagamiento oportuno y adecuado de la línea hembra para obtener semilla de alta calidad y con identidad genética, esta actividad es manual e involucra de 24 a 50 jornales ha⁻¹, lo que eleva los costos de producción (Tadeo *et al.*, 2014a; Tadeo *et al.*, 2014b). Al respecto, el empleo de la androesterilidad puede ser una opción viable para la obtención de semilla híbrida de buena calidad genética pero más barata (Tadeo *et al.*, 2014b). La utilización de diversos tipos y fuentes de androesterilidad génico-citoplásmica es una oportunidad para la producción comercial de híbridos, pues al emplear líneas androestériles como progenitores femeninos (Stamp *et al.*, 2000) se reducen los costos y el esfuerzo por eliminar la necesidad de desespagar.

Vasal *et al.* (1980) using conventional breeding techniques succeeded in incorporating modifying genes into opaque-2 maize, which produced a similar texture in the opaque endosperm as normal maize, but with high protein quality in the grain. Thus, in the 1980s protein quality maize (QPM) was obtained without the initial disadvantages, with a harder grain texture than opaque maize and with common or normal appearance (Vasal, 2001).

The National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP), in coordination with the International Center for Maize and Wheat Improvement (CIMMYT), carried out eight research works with QPM in different regions of Mexico with the participation of more than 60 specialists, whose lines were: genetic improvement, seed and production technology, forages, stored grain pests, agronomic management, technology transfer, effect on human diet and animal diet and quality analysis. As a result of these activities, more than 30 hybrids and varieties were registered in the catalog of varieties feasible of certification (CVC), now national catalog of plant varieties (CNVV) (Espinosa *et al.*, 2005).

On the other hand, commercial seed production of maize hybrids requires to properly remove the spikes of the female line to obtain high quality seeds with genetic identity. This is a manual activity and involves 24 to 50 wages per ha⁻¹. Which increases production costs (Tadeo *et al.*, 2014a, Tadeo *et al.*, 2014b). About this the use of androesterility may be a viable option for obtaining hybrid seeds of good genetic quality but cheaper (Tadeo *et al.*, 2014b). The use of different types and sources of gene-cytoplasmic male sterility is an opportunity for commercial production of hybrids, since the use of andro-sterile lines as female progenitors (Stamp *et al.*, 2000) reduces the costs and effort that taking out spikes represents.

In Mexico, lines, varieties and hybrids (simple and trilineal crosses) of maize have been developed in the Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) (Tadeo *et al.*, 2014a). In the case of hybrid progenitor lines, there are versions that have the andro-sterile characteristic, to which also the opaco-2 gene has been incorporated to obtain high quality of protein (QPM) (Espinosa *et al.*, 2003).

At Valles Altos of México, improved varieties and hybrids of maize with high protein quality are not commercially planted (Espinosa *et al.*, 2003), so the objective of this research was

En México, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) se han desarrollado líneas, variedades e híbridos (cruzas simples y trilineales) de maíz (Tadeo *et al.*, 2014a) En el caso de las líneas progenitoras de híbridos se cuenta con las versiones que poseen la característica de androesterilidad, a las cuales también se les ha incorporado el gen *opaco-2* para lograr alta calidad de proteína (QPM) (Espinosa *et al.*, 2003).

En los Valles Altos de México no se siembran, de manera comercial, variedades mejoradas ni híbridos de maíz con alta calidad de proteína (Espinosa *et al.*, 2003), por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar la productividad de 18 cruzas simples entre seis líneas androestériles y tres líneas élite, todas ellas QPM, con el propósito de definir la perspectiva de estas líneas y su probable ventaja por su integración a programas de mejoramiento genético de maíz. Se estableció como hipótesis que al evaluar los materiales en dos localidades de Valles Altos, existen diferencias entre las cruzas simples QPM para su respuesta agronómica, y que también se presentan diferencias entre ellas y los dos híbridos trilineales comerciales de calidad normal utilizados como testigos.

Material y métodos

En este estudio los materiales evaluados fueron 18 híbridos simples de maíz QPM y los híbridos trilineales H53 AE y TSIRI PUMA de grano normal como testigos. Los híbridos simples son cruzas entre 6 líneas androestériles QPM (LAEQ1, LAEQ2, LAEQ3, LAEQ4, LAEQ5 y LAEQ6) y 3 líneas élite QPM (CML173, CML354 y CML 352). Los experimentos se establecieron en el ciclo primavera-verano 2014 en dos localidades. La primera, ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México (19° 41' latitud norte, 99° 11' longitud oeste, altitud de 2 274 m), cuyo suelo es de textura franco arcillosa. La otra correspondió a Santa Lucía de Prías, Coatlinchán, Municipio de Texcoco, Estado de México (19° 27' latitud norte, 98° 51' longitud oeste, 2 240 m de altitud), con suelo de textura franco arenosa.

En ambas localidades los genotipos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se utilizó una densidad de población de 65 000 plantas ha⁻¹, donde la parcela experimental consistió de un surco de 5 m de largo por 0.8 m de ancho.

to determine the productivity of 18 simple crosses between six androthermal lines and three elite lines, all of them QPM, with the purpose of defining the perspective of these lines and their probable advantage by their integration to maize genetic improvement programs. It was hypothesized that when evaluating the materials in two localities of Valles Altos, there would be differences between the simple QPM crosses for their agronomic response, and that there would also be differences between them and the two normal quality commercial trilineal hybrids used as controls.

Materials and methods

In this paper the evaluated materials were 18 simple hybrid of QPM maize and the trilineal hybrids H53 AE and TSIRI PUMA of normal grain as controls. Simple hybrids are crosses between 6 QPM andro-sterile lines (LAEQ1, LAEQ2, LAEQ3, LAEQ4, LAEQ5 and LAEQ6) and 3 elite QPM lines (CML173, CML354 and CML352). The experiments were established in the spring-summer 2014 cycle in two locations. The first one, located in the municipality of Cuautitlán Izcalli, Estado de México (19° 41' north latitude, 99° 11' west longitude, 2 274 m altitude), whose soil is of loamy. The other corresponded to Santa Lucía de Prías, Coatlinchán, Municipality of Texcoco, Estado de México (19° 27' north latitude, 98° 51' west longitude, 2 240 m altitude), with sandy loam textured soil.

In both locations genotypes were distributed in a randomized complete block design with three replicates. A population density of 65 000 ha⁻¹ plants was used, where the experimental plot consisted of a furrow 5 m long and 0.8 m wide.

The ground preparation consisted of a step of plow, two of drag, leveling and furrow. The planting took place in June 2014 in both localities. In Santa Lucia, irrigation was applied to the sowing and two irrigation schemes were applied. In Cuautitlán irrigation was only applied to the sowing, then the cycle had rainfall. The harvest in the two localities was made in December of 2014. It is worth mentioning that during the crop cycle in Santa Lucia two hailstorms occurred before the male flowering. The climatic data (maximum and minimum temperature, as well as rainfall) were obtained from the meteorological stations, Almaraz of the FESC-UNAM and the Universidad Autónoma de Chapingo (Figure 1).

La preparación del terreno consistió en un paso de arado, dos de rastra, nivelación y surcado. La siembra se efectuó en junio de 2014 en ambas localidades. En Santa Lucía se aplicó riego en la siembra y posteriormente se aplicaron dos riegos de auxilio. En Cuautitlán únicamente se aplicó un riego a la siembra, después el ciclo tuvo humedad de la precipitación pluvial. La cosecha en las dos localidades se hizo en diciembre de 2014. Cabe mencionar, que durante el ciclo de cultivo en Santa Lucía ocurrieron dos granizadas previas a la floración masculina. Los datos climatológicos (temperatura máxima y mínima, así como la precipitación pluvial) se obtuvieron de las estaciones meteorológicas, Almaraz de la FESC-UNAM y de la Universidad Autónoma Chapingo (Figura 1).

La lluvia registrada de la siembra a la cosecha fue de 825 mm en Cuautitlán, y de 723 mm en Santa Lucía, lluvia que estuvo distribuida irregularmente (Figura 1). La variación de temperatura máxima y mínima en ambos ambientes fue muy poca (0.5 a 1 °C). La temperatura máxima en Cuautitlán ocurrió en agosto, alcanzando 26.4 °C, mientras que en Santa Lucía la temperatura máxima (25 °C) se presentó en los meses de junio y agosto, coincidiendo con la siembra e inicio de la floración, respectivamente. Asimismo, en Santa Lucía se presentó caída de granizo en la primera y segunda semanas de agosto, por lo que afectó al cultivo en días previos y durante el inicio de floración. No obstante, este contratiempo, la planta contaba con buena área foliar, permitiendo que el cultivo se recuperara, aunque con efectos adversos.

Las variables estudiadas fueron floración masculina (FM, días), cuando aparecieron 50% de las espigas por surco; altura de planta (AP, cm) y de mazorca (AM, cm) en 5 a 10 plantas elegidas al azar, midiéndose la distancia desde la base de la planta hasta el ápice de la espiga (AP) y desde la base de la planta hasta el nudo de la mazorca superior (AM). En la cosecha, en otras 5 a 10 plantas, se tomó el peso de campo (PC, kg) como el peso total de las mazorcas. Luego en cada mazorca se contó el número de hileras (HM) y el número de granos por hilera (GH). El número de granos por mazorca (GM) fue el producto del promedio de hileras de cada mazorca por el promedio de granos por hilera. Posteriormente, se desgranaron las mazorcas y se determinó el porcentaje de humedad de grano en un determinador Stenlite (marca Burrows®, modelo 700). El rendimiento de grano (REND) se obtuvo con la fórmula:

$$\text{Rendimiento} = (\text{PC} * \text{MS} * \text{PG} * \text{FC}) / 8\ 600$$

The recorded rainfall from sowing to harvest was 825 mm in Cuautitlán, and 723 mm in Santa Lucía, rainfall that was unevenly distributed (Figure 1). The maximum and minimum temperature variation in both environments was very low (0.5 to 1 °C). The maximum temperature in Cuautitlán occurred in August, reaching 26.4 °C, while in Santa Lucía the maximum temperature (25 °C) occurred in June and August, coinciding with sowing and beginning of flowering, respectively. Also in Santa Lucía hail occurred in the first and second weeks of August, so it affected the crop in previous days and during the beginning of flowering. However, this setback the plants had a good leaf area, allowing the crop to recover but with adverse effects.

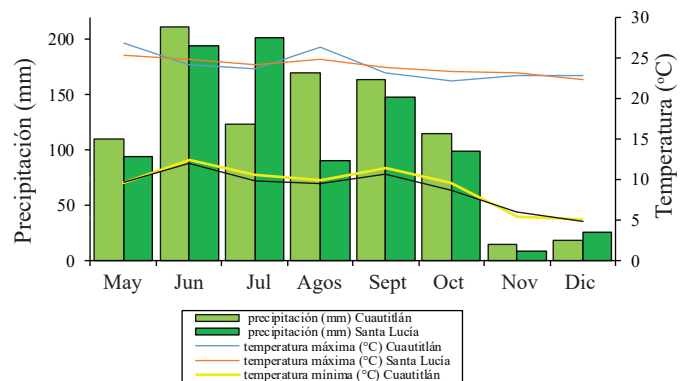


Figura 1. Temperatura máxima y mínima mensual, y precipitación mensual durante el ciclo de cultivo de 20 híbridos en dos localidades de Valles Altos, 2014.

Figure 1. Maximum and minimum monthly temperature, and monthly precipitation during the crop cycle of 20 hybrids in two localities of Valles Altos, 2014.

The studied variables were male flowering (FM, days), when 50% of the speaks per furrow appeared; plant height (AP, cm) and cob height (AM, cm) in 5 to 10 plants chosen randomly, the distance from the base of the plant to the apex of the spike (AP) and from the base of the plant up to the upper cob knot (AM) was measured. During harvesting, in another 5 to 10 plants, the field weight (PC, kg) was taken and also the total weight of the cobs. Then on each cob the number of rows (HM) and the number of grains per row (GH) were counted. The number of grains per cob (GM) was the product of the average rows of each cob per average grain per row. Subsequently, the cobs were harvested and the percentage of grain moisture was determined in a Stenlite determinant (Burrows® brand, model 700). The grain yield (REND) was obtained with the formula:

$$\text{Yield} = (\text{PC} * \text{MS} * \text{PG} * \text{FC}) / 8\ 600$$

Donde: PC= peso de campo de las mazorcas (kg) cosechadas de cada parcela; MS= porcentaje de materia seca, obtenido mediante la diferencia de 100 menos el porcentaje de humedad obtenido del aparato Stenlite; PG= porcentaje de grano, que es el promedio de la relación entre el peso de grano y el peso de mazorca desprovista de brácteas (de cinco mazorcas), multiplicado por 100; FC= factor de conversión, que se obtiene al dividir 10 000 m² entre el tamaño de la parcela útil en m²; 8 600= constante para estimar el rendimiento con una humedad comercial de 14%.

Se hizo una prueba de comparación de medias (Tukey $p=0.05$) para cada una de las variables; ambos procedimientos se realizaron mediante el paquete SAS (SAS Institute, 2002).

Resultados y discusión

El análisis combinado de varianza (Cuadro 1) detectó alta significancia ($p\leq 0.01$) entre ambientes (A), entre genotipos (G), y en la interacción (AG) para todas las variables, lo que significa que las condiciones y efectos ambientales fueron diferentes en esta evaluación. Los valores del coeficiente de variación oscilaron de 1% (FM) a 9% (REND), lo cual indica un control aceptable (<20%) de la variabilidad experimental. Estos resultados sugieren que existe variación genética entre las cruza lo cual es útil en un programa de mejoramiento de maíz QPM por hibridación.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis combinado para diversas variables de cruza simples de maíz en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014.

Table 3. Mean squares and statistical significance of the combined analysis for several variables of simple crosses of maize in two environments. Cycle spring-summer 2014.

FV	GL	REND	FM	AP	AM	LM	HM	GH	GM
Ambiente (A)	1	135342623**	2015**	52125**	3255**	173**	36**	68**	92130**
Genotipo (G)	19	10192329**	26**	979**	278**	12.3**	5**	38.5**	13352**
A*G	19	4372056**	9.1**	592.1**	97**	5.6**	1.7**	20.1**	7543**
Error	76	211790	0.74	91.4	5.4	0.7	0.43	1.65	1488
Media		5875	83	227	100	16	15	31	476
CV (%)		9	1	4	2	5	4	4	8

**= significancia estadística al 0.01 de probabilidad; *= significancia estadística al 0.05 de probabilidad; FV= factor de variación; GL= grados de libertad; REND= rendimiento de grano; FM= floración masculina; 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; CV= coeficiente de variación.

Con respecto a la respuesta de las cruza simples en promedio por ambientes, el rendimiento en Cuautitlán presentó una media de 7 000 kg ha⁻¹, siendo superior ($p\leq 0.05$) al de Santa

Where: PC= field weight of the harvested cobs (kg) of each plot; MS= dry matter percentage, obtained by the difference of 100 minus the percentage of moisture obtained from the Stenlite apparatus; PG= grain percentage, which is the ratio average of the grain weight to the cob weight without bracts (five cobs), multiplied by 100; FC= conversion factor, which is obtained by dividing 10 000 m² between the size of the useful plot in m²; 8 600= constant to estimate the yield with a commercial humidity of 14%.

A comparison test of means (Tukey $p=0.05$) was made for each variable; both procedures were performed using the SAS package (SAS Institute, 2002).

Results and discussion

The combined analysis of variance (Table 1) detected high significance ($p\leq 0.01$) between environments (A), between genotypes (G), and in interaction (AG) for all variables, which means that environmental conditions and effects were different in this evaluation. The coefficient of variation ranged from 1% (FM) to 9% (REND), indicating an acceptable control (<20%) of the experimental variability. These results suggest that there is genetic variation between crosses which is useful in a breeding program for QPM maize by hybridization.

Regarding to the response of the simple crosses in average by environments, the yield in Cuautitlán presented an average of 7 000 kg ha⁻¹, being superior ($p\leq 0.05$) to that of Santa Lucia,

Lucía, cuya media fue de 4 800 kg ha⁻¹. El rendimiento de grano en Santa Lucía se redujo 30% debido a la ocurrencia de dos granizadas que provocaron daño al área foliar fotosintéticamente activa. Además, hubo una diferencia de 100 mm de precipitación entre ambas localidades, siendo esta a favor de Cuautitlán.

El rendimiento máximo en promedio de las dos localidades correspondió a la craza LAEQ5 CML354 (8 780 kg ha⁻¹), mientras que el rendimiento menor fue para la craza LAEQ1 CML352, con 3 160 kg ha⁻¹ (Figura 2). En Cuautitlán, las cruzas con rendimiento promedio mayor fueron LAEQ5 CML354, LAEQ4CML173 y LAEQ3 CML173, cuyo valor fue de 9 340 kg ha⁻¹, siendo este un rendimiento muy similar (9.3 t ha⁻¹) al obtenido por Torres *et al.* (2011) en una evaluación de híbridos trilineales. Por lo anterior, a estas cruzas más rendidoras en Cuautitlán se les reconoce como materiales altamente promisorios para propósitos de fitomejoramiento, al aprovecharlas como hembras en la formación de híbridos trilineales. En Santa Lucía las cruzas con rendimiento promedio mayor también fueron LAEQ5 CML354, LAQ4 CML173 y LAEQ3 CML173 con rendimientos próximos a 8 000 kg ha⁻¹. Los rendimientos obtenidos en Cuautitlán demuestran el valor que potencialmente expresan estas cruzas en el ciclo primavera-verano, debido a que en este ambiente no existieron condiciones ambientales desfavorables que afectaran al cultivo, en ese caso haciendo referencia a la presencia de granizo en dos ocasiones en Santa Lucía.

El 50% de las cruzas simples presentaron un rendimiento promedio experimental superior al de los testigos y al promedio general (5 875 kg ha⁻¹), por lo que estas cruzas se consideran de buena productividad, debido a que produjeron rendimientos semejantes a los de híbridos comerciales, como el H40, H44, H52, H66, H70 (híbridos desarrollados por INIFAP, registradas ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) en 1999, 1998, 2006, 2009 y 2010, respectivamente) y BUHO (desarrollado por Asgrow y registrada ante el CNVV en el año 2006), los cuales tienen rendimientos que van de 5.5 a 8.9 t ha⁻¹ (Rivas *et al.*, 2011).

Por otro lado, se observó un rendimiento similar entre las cruzas que se ubicaron en los primeros grupos de significancia de cada localidad, debido a que en su formación intervinieron los mismos progenitores macho (líneas élite CML173 y CML354), participando cada uno cuatro veces en las mejores cruzas según su rendimiento). También se observó, que los híbridos trilineales testigo presentaron valores inferiores a la media general, y por lo tanto la mitad

whose average was 4800 kg ha⁻¹. The grain yield in Santa Lucía was reduced 30% due to the occurrence of two hailstones that caused damage to the photosynthetically active leaf area. In addition, there was a difference of 100 mm of precipitation between both localities, being this in favor of Cuautitlán.

The maximum yield in average of the two localities corresponded to the crossing LAEQ5 CML354 (8 780 kg ha⁻¹), while the smaller yield was for the cross LAEQ1 CML352, with 3 160 kg ha⁻¹ (Figure 2). In Cuautitlán, the crosses with the highest average yield were LAEQ5 CML354, LAEQ4CML173 and LAEQ3 CML173, whose yield was 9 340 kg ha⁻¹, being a very similar yield (9.3 t ha⁻¹) to that obtained by Torres *et al.* (2011) in an evaluation of trilineal hybrids. For the aforementioned, these more yielding crosses in Cuautitlán are recognized as highly promising materials for plant breeding purposes, when used as females in the formation of trilineal hybrids. In Santa Lucía the crosses with higher average yield were also LAEQ5 CML354, LAQ4 CML173 and LAEQ3 CML173 with yields close to 8 000 kg ha⁻¹. The yields obtained in Cuautitlán demonstrate the potential value of these crosses in the spring-summer cycle, because in this environment there were no unfavorable environmental conditions that affected the crop, like the presence of hail on two occasions in Santa Lucía.

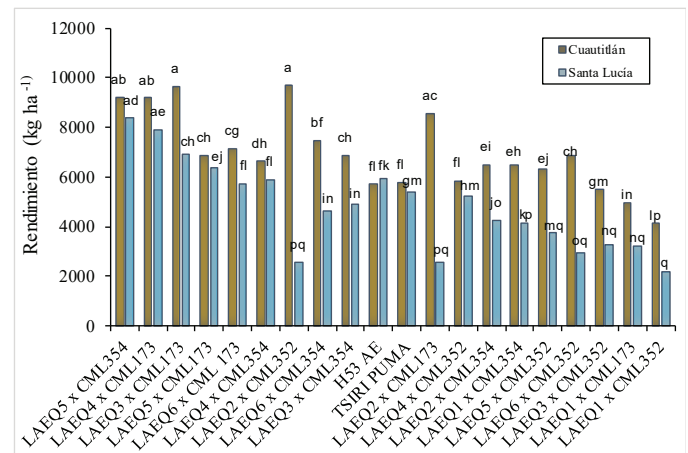


Figura 2. Rendimiento de grano de cruzas simples de maíz y dos híbridos trilineales, en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014. Medias con la misma letra dentro de cada barra son iguales estadísticamente (Tukey $p=0.05$, DMS= 1 150).

Figure 2. Grain yield of single maize crosses and two trilineal hybrids, in two environments. Cycle spring-summer 2014. Averages with the same letter inside each bar are statistically equal (Tukey $p=0.05$, DMS= 1 150).

de las cruzas simples fueron superiores a los mismos, lo que pone de manifiesto otra vez la importancia del material evaluado en programas de mejoramiento de maíz QPM por hibridación.

La floración masculina presentó diferencia estadística entre ambientes, siendo los genotipos más tardíos por ocho días (87 días) en Cuautitlán con respecto a los genotipos en Santa Lucía (79 días). En Cuautitlán, la floración masculina comenzó a los 81 días en algunas cruzas, y las más tardías iniciaron una semana después; el híbrido trilineal TSIRI PUMA fue el genotipo más precoz (80 días). Las cruzas que tuvieron a la línea élite CML173 como macho fueron las más tardías, de 87 a 90 días, y se encontró que 55% de las cruzas simples presentaron floración tardía (Figura 3). Lo anterior se explica en el hecho que la línea CML173 es de origen subtropical y por lo tanto tardía (Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2010).

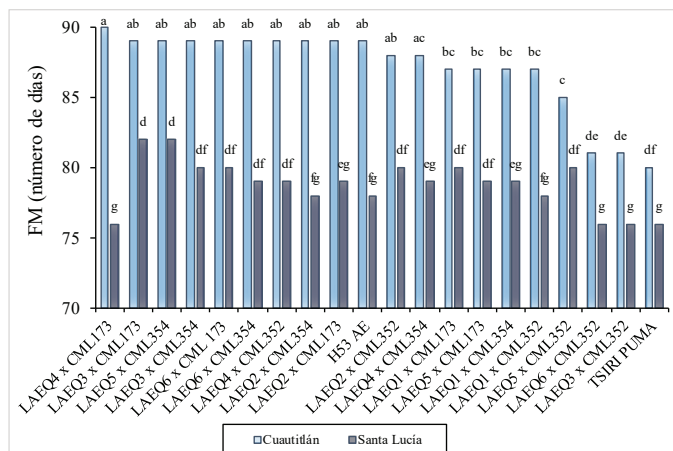


Figura 3. Floración masculina (FM) de cruzas simples de maíz y dos híbridos trilineales, en dos ambientes de evaluación. Ciclo primavera-verano 2014. Medias con la misma letra dentro de cada barra son iguales estadísticamente (Tukey $p=0.05$, DMS= 2.3).

Figure 3. Male flowering (FM) of simple maize crosses and two trilineal hybrids, in two evaluation environments. Cycle spring-summer 2014. Averages with the same letter inside each bar are statistically equal (Tukey $p=0.05$, DMS= 2.3).

En Santa Lucía, la floración masculina de los materiales ocurrió entre los 76 y 82 días. El híbrido TSIRI PUMA y las cruzas LAEQ6 CML352 y LAEQ3 CML352, presentaron mayor precocidad (76 días), mientras que algunas cruzas comenzaron su floración a partir del día 78. En otro estudio

50% of the single crosses had an average experimental yield superior to that of the controls and to the general average (5 875 kg ha⁻¹), being the reason why these crosses are considered of good productivity, because they produced yields similar to those of commercial hybrids such as H40, H44, H52, H66, H70 (hybrids developed by INIFAP, registered with the National Catalog of Varieties of Plants (CNVV) in 1999, 1998, 2006, 2009 and 2010 respectively) and BUHO (developed by Asgrow and registered with the CNVV in 2006), which have yields ranging from 5.5 to 8.9 t ha⁻¹ (Rivas *et al.*, 2011).

On the other hand, a similar yield was observed between the crosses that were located in the first groups of significance of each locality, because in their formation the same male progenitors (elite lines CML173 and CML354) intervened, each participating four times in the best crosses according to their yield). It was also observed that the control trilineal hybrids presented lower values than the general average, and therefore half of the single crosses were superior to them, which again shows the importance of the evaluated material in QPM maize breeding programs by hybridization.

Male flowering presented a statistical difference between environments, with the genotypes being the later ones for eight days (87 days) in Cuautitlán with respect to the genotypes in Santa Lucía (79 days). In Cuautitlán, male flowering began at 81 days in some crosses, and the later ones started a week later; the TSIRI PUMA trilineal hybrid was the earliest genotype (80 days). The crosses that had the elite line CML173 as male were the later, from 87 to 90 days, and it was found that 55% of the simple crosses presented late bloom (Figure 3). This is explained by the fact that the line CML173 is of subtropical origin and therefore late (Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2010).

In Santa Lucía, male flowering of the materials occurred between 76 and 82 days. The hybrid TSIRI PUMA and the crosses LAEQ6 CML352 and LAEQ3 CML352 showed higher precocity (76 days), while some crosses began their flowering after day 78. In another similar study with different materials, including fertile androsterile hybrids, presented 78 days to male flowering (Tadeo *et al.*, 2015), so some of the materials evaluated in this study are considered to be of acceptable precocity, for irrigation tip and good temporal sowing, understanding that irrigation tip sowing is that in which the soil has moisture once it has been watered, subsequently sowing and water needs throughout the development of the plant are covered with rainfall. The most

similar con diversos materiales, entre ellos híbridos androestériles y fértiles, presentaron 78 días a floración masculina. (Tadeo *et al.*, 2015.), por lo que algunos de los materiales evaluados en este estudio se consideran de precocidad aceptable, para siembras de punta de riego y buen temporal, en entendido que la siembra de punta de riego es aquella en la cual el suelo presenta humedad una vez que se ha regado, posteriormente se realiza la siembra y las necesidades hídricas a lo largo del desarrollo de la planta son cubiertas con la precipitación pluvial. La cruza simple más tardía fue LAEQ3 CML173, cuya anthesis ocurrió a los 82 días. En ambas localidades, 17% de las cruza fueron precoces, el resto se consideran como genotipos tardíos.

En este trabajo, las líneas utilizadas como progenitor macho poseen de 30 a 40% de germoplasma templado y de 60 a 70% de germoplasma tropical. Al respecto, Lafitte (2001) menciona que la mayoría de los cultivares tropicales son sensibles al fotoperíodo y que la extensión de esta sensibilidad varía de uno a 12 días de atraso en la anthesis. Lo anterior ayuda a explicar la diferencia en el número de días de anthesis entre ambientes (de 4 a 11 días), aunado a la diferencia de precipitación entre ambas localidades y al daño a las plantas por el granizo en Santa Lucía de Prías.

La altura de planta presentó diferencia estadística entre ambientes, siendo los genotipos más bajos en Cuautitlán (207 cm) que en Santa Lucía (249 cm). Resultados similares se encontraron en Tadeo *et al.* (2014b), donde también los genotipos en el ambiente de Santa Lucía fueron más altos. En relación con esto, si se pretende hacer uso de estos híbridos de cruza simple dentro de un programa de hibridación, la altura de planta es una variable muy importante, debido a que la altura influye en las actividades de desespigamiento y de polinización; así, las plantas con menor altura se manipulan con mayor facilidad al momento del desespigue, lo cual permite realizar la actividad en menor tiempo en comparación con plantas de mayor altura (Virgen *et al.*, 2014).

La altura promedio de planta en Cuautitlán varió de 163 a 230 cm, siendo estos valores inferiores a los presentados en Santa Lucía debido a que dentro de la parcela existieron áreas con anegación. En Santa Lucía, la altura promedio varió de 200 a 280 cm. Por otro lado, 56% de las cruza simples presentaron diferencias entre ambientes de 29 hasta 88 cm, lo que permitiría seleccionar aquellas con altura de interés.

recent single cross was LAEQ3 CML173, whose anthesis occurred at 82 days. In both localities, 17% of the crosses were early, the rest are considered as late genotypes.

In this paper, the lines used as male progenitor have 30 to 40% of temperate germplasm and 60 to 70% of tropical germplasm. In this regard, Lafitte (2001) mentions that most of the tropical cultivars are sensitive to photoperiod and that the extent of this sensitivity varies from one to 12 days of anthesis delay. This helps to explain the difference in the number of days of anthesis between environments (from 4 to 11 days), together with the difference of precipitation between the two localities and the damage to the plants caused by hail in Santa Lucía de Prías.

The plant height presented a statistical difference between environments, being the genotypes shorter in Cuautitlán (207 cm) than in Santa Lucía (249 cm). Similar results were found in Tadeo *et al.* (2014b), where also the genotypes in the environment of Santa Lucía were higher. In relation to this, if it is intended to make use of these simple crosses hybrids within a hybridization program, plant height is a very important variable, because the height influences the activities of spiking and pollination; thus, plants with lower height are more easily manipulated at the time of taking out the spikes, which allows to perform the activity in a shorter time in comparison with plants of higher height (Virgen *et al.*, 2014).

The average plant height in Cuautitlán varied from 163 to 230 cm, being these values lower than those presented in Santa Lucía because there were areas with flooding within the plot. In Santa Lucía, the average height varied from 200 to 280 cm. On the other hand, 56% of the simple crosses presented differences between environments of 29 to 88 cm, which would allow to select those with height of interest. Regarding the witnesses, the hybrid H53 AE had heights of 192 to 280 cm, and their difference between environments was of 88 cm, whereas the hybrid TSIRI PUMA showed heights of 198 to 239, with a difference between environments of 41 cm.

It should be noted that two crosses whose male progenitor was the elite line CML173, as well as three crosses with the line LAEQ2 as female progenitor, were crosses that expressed lower difference of height between environments. For example, the LAEQ2 cross CML173 expressed in Cuautitlán 224 cm and in Santa Lucía 234 cm, while the LAEQ2 cross CML173 showed heights of 222 to 250 cm between environments. This would allow to select consistent crosses with its average plant height value across environments.

Respecto a los testigos, el híbrido H53 AE tuvo alturas de 192 a 280 cm, y su diferencia entre ambientes fue de 88 cm, mientras que el híbrido TSIRI PUMA mostró alturas de 198 a 239, con una diferencia entre ambientes de 41 cm.

Cabe destacar que dos cruzas cuyo progenitor macho fue la línea élite CML173, así como tres cruzas con la línea LAEQ2 como progenitor hembra, fueron cruzas que expresaron diferencia de altura de planta menor entre ambientes. Por ejemplo, la craza LAEQ2 CML173 expresó en Cuautitlán 224 cm y en Santa Lucía 234 cm, mientras que la craza LAEQ3 CML173 mostró alturas de 222 a 250 cm entre ambientes. Esto podría permitir seleccionar cruzas consistentes en su valor promedio de altura de planta a través de ambientes.

El coeficiente de correlación fenotípica entre el rendimiento de grano y variables agronómicas y componentes del rendimiento permitió identificar una asociación positiva entre longitud de mazorca (LM), granos por hilera (GH) y diámetro de mazorca (DM) con rendimiento (REND) ($p \leq 0.01$) (Cuadro 2). Los coeficientes de correlación mayores y significativos en las cruzas evaluadas fueron: FM-FF (0.99), FM-LM (0.76), LM-GH (0.76), LM-REND (0.74), GM-REND (0.67), DM-FM (0.67), DM-FF (0.68), DM-REND (0.73), GM-GH (0.8). Estas correlaciones son importantes dado que estos caracteres influyen directamente en el rendimiento del maíz y se utilizan frecuentemente por investigadores y campesinos para seleccionar genotipos de su interés.

Conclusiones

Las cruzas simples de maíz de calidad de proteína (QPM) mejores en promedio entre localidades fueron LAEQ5 CML354, LAEQ4 CML173 y LAEQ3 CML173, con rendimientos mayores a 8 t ha⁻¹, superando a los testigos comerciales en 43 a 57%. Esto las posiciona para participar en la conformación de híbridos trilineales QPM superiores, al combinarlas con una tercera línea que genere un buen híbrido.

Por su participación en las cruzas mejores, las líneas experimentales androestériles QPM sobresalientes fueron LAEQ3, LAEQ4, y LAEQ5, ya que cada una participó dos veces dentro de las 9 cruzas de mayor rendimiento. Las líneas élite QPM mejores fueron CML 173 y CML 354.

The phenotypic correlation coefficient between grain yield and agronomic variables and yield components allowed to identify a positive association between cob length (LM), grains per row (GH) and cob diameter (DM) with yield (REND) ($p \leq 0.01$) (Table 2). The highest and most significant correlation coefficients were: FM-FF (0.99), FM-LM (0.76), LM-GH (0.76), LM-REND (0.74), GM-REND (0.67), DM-FM (0.67), DM-FF (0.68), DM-REND (0.73), GM-GH (0.8). These correlations are important since these traits directly influence maize yield and are frequently used by researchers and peasants to select genotypes of their interest.

Cuadro 2. Correlación de Pearson entre diversas variables de cruzas simples de maíz en dos ambientes. Ciclo primavera-verano 2014.

Table 2. Pearson correlation between several variables of simple maize crosses in two environments. Cycle spring-summer 2014.

	FM	FF	LM	GH	DM	GM	REND
FM		0.99**	0.76**	0.35*	0.67**	0.45**	0.63**
FF			0.61**	0.34*	0.68**	0.45**	0.63**
LM				0.76**	0.66**	0.63**	0.74**
GH					0.53**	0.8**	0.67**
DM						0.61**	0.73**
GM							0.62**

**= significancia estadística al 0.01 de probabilidad; *= significancia estadística al 0.05 de probabilidad; REND= rendimiento de grano; FM= floración masculina; FF= floración femenina; LM= longitud de mazorca; GH= granos por hilera; DM= diámetro de mazorca; GM= granos por mazorca.

Conclusions

The best simple crosses of quality protein maize (QPM) among localities were LAEQ5 CML354, LAEQ4 CML173 and LAEQ3 CML173, with yields greater than 8 t ha⁻¹, surpassing the commercial controls in 43 to 57%. This positions them to participate in the formation of superior trilineal QPM hybrids, combining them with a third line that generates a good hybrid.

By their participation in the best crosses, the outstanding QPM androesterile experimental lines were LAEQ3, LAEQ4, and LAEQ5, since each participated twice in the 9 highest performance crosses. The best QPM elite lines were CML 173 and CML 354.

El 83% de los genotipos resultaron tardíos en esta investigación, comenzando anthesis a partir de los 82 días; sin embargo, esta floración se cataloga como intermedia dentro de los valores para esta variable en los Valles Altos, lo que permitirá su uso en la conformación de híbridos trilineales para usarse en siembras de punta de riego o buen temporal. También se identificaron genotipos con altura de planta aceptable para producción de semilla. Por otro lado, las características que estuvieron altamente relacionadas con el rendimiento de las cruza simples de maíz QPM de este estudio fueron los días a floración y la longitud y el diámetro de mazorca.

83% of the genotypes were late in this research, beginning anthesis after 82 days; however, this flowering is classified as intermediate within the values for this variable in Valles Altos, which will allow its use in the conformation of trilineal hybrids to be used in irrigated or good temporal sowing. Genotypes with acceptable plant height for seed production were also identified. On the other hand, the characteristics that were highly related to the yield of the QPM maize simple crosses of this study were the days to flowering and the cob's length and diameter.

End of the English version



Agradecimientos

Este trabajo es parte del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT: IT201215, UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Carretera Cuautitlán - Teoloyucan, km 2.5. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. CP. 54714. AP. 25. Tel. 01 55 56231971.

Literatura citada

- Espinosa, C. A.; Sierra, M. M.; Gómez, M. N.; Reyes, M. C.; Caballero, F.; Tadeo, R. M.; Palafox, C. A.; Cano, O.; Rodríguez, M. F.; Betanzos, M. E. and Coutiño, E. B. 2003. Seed production and andro- sterility in normal and quality protein maize. *In*: book of abstracts: Hallauer, A. International Symposium on Plant Breeding. CIMMYT. 17-22 august 2003. Mexico City, Mexico. 238-239 pp.
- Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Caballero, H. F.; Coutiño, E. B.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F.; García, B. A.; Cano, C. y Betanzos, M. E. 2005. Los maíces de calidad proteínica y la producción de semillas en México. *Ciencia y desarrollo en internet*. CONACYT. México. 10 p.
- Lafitte, H. R. 2001. Fisiología del maíz tropical. *In*: el maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Paliwal, R. (Ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 94-106 pp.
- Mertz, E. T.; Bates, L. S. and Nelson, O. F. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increase lysine content of maize endosperm". *Science*. 145-279.
- Mertz, T. 1994. Thirty years of opaque 2 maize. *In*: Quality protein maize. 1964-1994. Proceedings of the Symposium on Quality Protein Maize. Larkins, B. A. and Mertz, E. T. (Eds). EMBRAPA/ CNPMS, Sete Lagoas MG, Brazil. 1-10 pp.
- Rivas, V. P.; Virgen, V. J.; Rojas, M. I.; Cano, S. A. y Ayala, E. V. 2011. Evaluación de pudrición de mazorca de híbridos de maíz en Valles Altos. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(6):845-854.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- SAS Institute. 2002. Statistical Analysis System User's Guide. SAS Institute. Cary. USA. 956 p.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Vázquez, C. G.; Rodríguez, M. F. y Espinosa, C. A. 2010. Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agron. Mesoam.* 21:21-29.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Cano, R. O.; Rodríguez, M. F.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Gómez, M. N.; Córdova, O. H.; Vergara, Á. N. y Avelaño S. R. 2004. H-553C, híbrido de maíz de calidad proteínica para el trópico húmedo de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):117-119.
- Stamp, P.; Chowchong, S.; Menzi, M.; Weingartner, U. and Kaeser, O. 2000. Increase in the yield of cytoplasmic male sterile maize revisited. *Crop Sci.* 40:1586-1587.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Sierra, M. M.; Gómez, M. N.; Valdivia, B. R. y Virgen, V. J. 2014a. Rendimiento de híbridos androestériles y fértiles de maíz en dos localidades en Valles Altos de México. México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(5):883-891.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Valdivia, B. R. y Andrés, M. P. 2014 b. Productividad de grano de cuatro híbridos trilineales de maíz en versión androestéril y fértil. *Agron. Mesoam.* 25(1):45-52.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Guzmán, M. R.; Turrent, F. A.; Zaragoza, E. J. y Virgen, V. J. 2015 a. Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 26(1):65-72.
- Torres, F. J. L.; Morales, R. E. J.; González, H. A.; Laguna, C. A. y Córdova, O. H. 2011. Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del Centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(6):829-844.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; García, Z. J. J.; Lobato, O. R.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M. y Valdivia, B. R. 2015 b. Productividad de híbridos androestériles y fértiles de maíz en cuatro ambientes de evaluación. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(8):1857-1866.

- Vasal, S. K. 2001. High quality protein corn. *In: speciality corns*. Hallauer, A. R. (Ed). Second edition. CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA. 93-137 pp.
- Vasal, S. K.; Villegas, E.; Bjarnason, M.; Gelaw, B. and Goerts, P. 1980. Genetic modifiers and breeding strategies in developing hard endosperm opaque-2 materials. *In: improvement of quality traits of maize for grain and silage use*. Pollmer, W. G. and R. H. Phipps (Eds.). Martinus Mijhoff Publishers. Holland. 37-73 p.
- Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Ávila, P. M. A.; Espinosa, C. A.; Arellano, V. J. L. y Gámez, V. A. J. 2016. Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 27(1):191-206.
- Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Ávila, P. M. A.; Espinosa, C. A.; Arellano, V. J. L.; y Gámez, V. A. J. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agron. Mesoam.* 25(2):323-335.