

Rendimiento de grano de poblaciones de maíz Tuxpeño adaptado a Valles Altos de México*

Grain yield of Tuxpeño corn populations adapted to High Valleys de México

Norma Santiago-López¹, J. Jesús García-Zavala^{1§}, Apolinar Mejía-Contreras¹, Armando Espinoza-Banda², Ulises Santiago-López³, Gilberto Esquivel-Esquivel⁴ y José D. Molina-Galán^{1†}

¹Campus Montecillo-Colegio de Postgraduados. Carretera México Texcoco, km 36.5. Montecillos, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, km 2, S/N. Torreón, Coahuila, México. CP. 27000. ³C. E. San Luis- INIFAP. Carretera San Luis-Matehuala, km 14.5. Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP. 78431. ⁴C. E. Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. CP. 56250. Coatlínchán, Texcoco, Estado de México, México. [§]Autor para correspondencia: zavala@colpos.mx.

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico de maíz (*Zea mays* L.) Tuxpeño adaptado a Valles Altos. Se evaluaron cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño en sus versiones de ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete (adaptado): P1(C1), P1(C7); P2(C1), P2(C7); P3(C1), P3(C7), y P4(C1), P4(C7); cuatro cruces de los compuestos Chalqueño 1, 2, 3, y 4 por P4 (C10), tres cruces de las poblaciones P1, P2, y P3 por P4 (C10); y tres testigos: H-S2, Promesa y San José. La evaluación se hizo en el ciclo primavera-verano de 2013, en terrenos del Colegio de Postgraduados y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Texcoco, Estado de México, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental tuvo 26 matas de dos plantas cada 50 cm en dos surcos de 6 m separados a 0.8 m. Se midió el rendimiento de grano de los materiales y otras características agronómicas. Los resultados indicaron que las poblaciones exóticas adaptadas rindieron hasta 6 t ha⁻¹, superando significativamente a las variedades originales, aunque tuvieron ciclo vegetativo tardío y fueron de menor altura. Los componentes del rendimiento tuvieron incrementos significativos en las poblaciones; las cruces de Tuxpeño*Chalqueño rindieron de 13 a 14 t ha⁻¹, superando

Abstract

This work aimed to evaluate the agronomic behavior of maize (*Zea mays* L.) Tuxpeño adapted to High valleys. Four populations of Tuxpeño corn were evaluated in their versions of cycle one (misfit) and cycle seven (adapted): P1(C1), P1(C7); P2(C1), P2(C7); P3(C1), P3(C7), and P4(C1), P4(C7); four crosses of Chalqueño compounds 1, 2, 3, and 4 by P4 (C10), three crosses of populations P1, P2, and P3 by P4 (C10); and three witnesses: H-S2, Promesa and San Jose. The evaluation was done in the spring-summer cycle of 2013, in fields of the College of Postgraduates and the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research, Texcoco, State of Mexico, under a randomized complete block design with three replicates. The experimental plot had 26 mats of two plants each 50 cm in two rows of 6 m separated to 0.8 m. The grain yield of the materials and other agronomic characteristics were measured. The results indicated that exotic adapted populations yielded up to 6 t ha⁻¹, significantly exceeding the original varieties, although they had a late vegetative cycle and were of lower height. Performance components had significant increases in populations; the crosses of Tuxpeño*Chalqueño yielded from 13 to 14 t ha⁻¹, surpassing the commercial hybrids,

* Recibido: enero de 2017
Aceptado: marzo de 2017

a los híbridos comerciales, San José y H-S2. Lo anterior, evidencia la existencia de heterosis en las cruzas y que el maíz exótico tropical adaptado en Valles Altos constituye un recurso útil para el mejoramiento genético.

Palabras claves: *Zea mays* L., adaptación, cruzas, maíz tropical, selección.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor distribución y producción en el mundo (Poehlman, 2003), también es el cultivo con mayor demanda y consumo *per cápita* a nivel mundial (Sleper y Poehlman, 2006), ya que ocupa el primer lugar en la producción agrícola internacional (Turrent *et al.*, 2012). En México, el maíz es el cereal básico en la alimentación de la población y es en esta especie donde se tiene la mayor diversidad genética para diferentes ambientes y usos. Con respecto a sus usos, 69% del maíz producido es destinado al consumo humano, 20% al sector pecuario; 10% para su industrialización, y 1% para la producción de semillas (Ortega y Ochoa, 2003).

Aunque en México se cuenta con una amplia diversidad de maíz (Sánchez *et al.*, 2000), el uso de tal diversidad en programas de mejoramiento genético se ha limitado a unas cuantas poblaciones locales en cada región agrícola (Molina, 1990; Castillo, 1993). El estado de México ocupa el tercer lugar a nivel nacional como productor de maíz (Ortega y Ochoa, 2003), donde 98.5% de las siembras se realizan principalmente en el ciclo primavera-verano y el 1.5% restante se efectúan durante el ciclo otoño-invierno.

En el estado se tiene un rendimiento promedio de 2.7 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2013). Con base en la magnitud de este rendimiento promedio, la producción por unidad de superficie es baja (Soto y Mijares, 2007) y se requiere incrementarla, pero la superficie para el cultivo cada vez es menor y la demanda sigue en aumento (Virgen *et al.*, 2016). La alternativa para incrementar la productividad de las variedades locales de maíz de Valles Altos es el mejoramiento genético, ya que en esta región actualmente se utiliza un alto porcentaje de maíces criollos y la tecnología de producción es deficiente.

Los maíces criollos locales, que han sido cultivados durante varias generaciones, siguen siendo utilizados actualmente por los productores, por cualidades como su

San Jose and H-S2. This shows the existence of heterosis in the crosses and that tropical exotic corn adapted in High Valleys is a useful resource for genetic improvement.

Keywords: *Zea mays* L., adaptation, crosses, selection, tropical maize.

Introduction

The maize (*Zea mays* L.) is one of the world's most widely distributed and productive crops (Poehlman, 2003). It is also the world's largest crop and *per capita* consumption (Sleper and Poehlman, 2006) which ranks first in international agricultural production (Turrent *et al.*, 2012). In Mexico, maize is the basic cereal in the food of the population and it is in this species that has the greatest genetic diversity for different environments and uses. Regarding their uses, 69% of the maize produced is destined for human consumption, 20% to the livestock sector; 10% for its industrialization, and 1% for seed production (Ortega and Ochoa, 2003).

Although Mexico has a wide variety of maize (Sánchez *et al.*, 2000), the use of such diversity in breeding programs has been limited to a few local populations in each agricultural region (Molina, 1990; Castillo, 1993). The state of Mexico occupies the third place as a producer of maize (Ortega and Ochoa, 2003), where 98.5% of the crops are made mainly in the spring-summer cycle and the remaining 1.5% are carried out during the Autumn-Winter.

The state has 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 (Soto and Mijares, 2007) and it is necessary to increase it, but the area for the crop is becoming smaller and the demand continues to increase (Virgen *et al.*, 2016). The alternative to increase the productivity of the local varieties of High Valleys maize is the genetic improvement, since in this region a high percentage of native maize is currently used and the production technology is deficient.

The local creole maize, which has been cultivated for several generations, is still used today by producers, for qualities such as adaptation, production and consumption characteristics and, in most cases, by tradition.

adaptación, características de producción y consumo. Sin embargo, dichos materiales son susceptibles de mejorarse genéticamente, principalmente por selección e hibridación o por la introducción de alelos exóticos útiles para rendimiento, tolerancia a la sequía, resistencia a las plagas de poscosecha o mayor contenido de nutrientes (Bergvinson *et al.*, 2007).

La introducción de material genético exótico a diversos ambientes, además de ampliar la base genética de los materiales locales con nuevos alelos útiles, constituye una alternativa para incrementar la variabilidad genética y la productividad del maíz (García *et al.*, 2002) en los programas de mejoramiento. Esto podría hacer realidad las metas que impone la tecnología moderna de usar nuevas variedades mejoradas del agrado de productores, consumidores y la industria y de los agricultores que no cuentan con los recursos económicos para adquirir semilla híbrida o mejorada cada año (Hallauer *et al.*, 2010).

El germoplasma exótico generalmente no se utiliza *per se*, siendo los problemas de adaptación la principal objeción para utilizarlo en los programas locales de mejoramiento; estos problemas de adaptación se ven reflejados en una alta susceptibilidad a enfermedades, alteración del ciclo vegetativo y disminución o nula producción de descendencia (Molina, 1990). Por lo tanto, antes de cruzar el maíz exótico con materiales locales o de usarlo *per se*, se sugiere mejorarlo por selección a bajas presiones por varios ciclos para adaptarlo y aumentar la frecuencia de sus alelos favorables al rendimiento y adaptación. Así, en diversos trabajos en Valles Altos (Navas y Cervantes, 1991; Molina, 1993; Pérez-Colmenares *et al.*, 2000, Gómez-Espejo *et al.*, 2015) se ha demostrado las bondades del potencial del germoplasma tropical adaptado por selección como estrategia para incrementar la diversidad genética y la productividad del maíz local.

Uno de los primeros trabajos de adaptación de maíz exótico se hizo en Estados Unidos (Troyer y Brown, 1972), donde, con fines de selección para rendimiento y adaptación de material exótico, se obtuvieron poblaciones con adaptación a la faja maicera de EE.UU. después de 10 años de recombinar razas mexicanas con líneas locales. En México se ha propuesto y se ha logrado la adaptación a clima templado de variedades provenientes de clima tropical y subtropical, mediante la selección masal visual estratificada desarrollada por Molina en 1983 (Pérez *et al.*, 2000; 2002; 2007).

Debido a que el rendimiento es una medida de la capacidad reproductiva de las plantas (Hallauer *et al.*, 2010), se infiere que el grado de adaptación del maíz exótico está relacionado

However, such materials are susceptible to genetic improvement, mainly by selection and hybridization or by the introduction of exotic alleles useful for yield, drought tolerance, resistance to post-harvest pests or higher nutrient content (Bergvinson *et al.*, 2007).

The introduction of exotic genetic material to diverse environments, in addition to expanding the genetic base of local materials with new useful alleles, constitutes an alternative to increase genetic variability and maize productivity (García *et al.*, 2002) in breeding programs. This could realize the goals of modern technology of using new improved varieties favored by producers, consumers and industry, but mainly of farmers who do not have the economic resources to buy hybrid or improved each year (Hallauer *et al.*, 2010).

The exotic germplasm is generally not used *per se*, with adaptation problems being the main objection for use in local breeding programs; these problems of adaptation are mainly reflected in a high susceptibility to diseases, alteration of the vegetative cycle and decrease or no production of offspring (Molina, 1990). Therefore, before crossing exotic maize with local materials or using it *per se*, it is suggested to improve it by selection at low pressures for several cycles to adapt it and increase the frequency of its favorable alleles for yield and adaptation. Thus, the benefits of the tropical germplasm adapted by selection have been demonstrated in several studies in High valleys (Navas and Cervantes, 1991; Molina, 1993; Pérez-Colmenares *et al.*, 2000, Gómez-Espejo *et al.*, 2015) has demonstrated the benefits of the potential of tropical germplasm adapted by selection as a strategy to increase genetic diversity and productivity of local maize.

One of the first works of adaptation of exotic maize was made in the United States (Troyer and Brown, 1972), where, for the purpose of selection for performance and adaptation of exotic material, populations were obtained with adaptation to the US maize belt after 10 years of recombining Mexican races with local lines. In Mexico, temperate climate adaptation of tropical and subtropical climates has been proposed and achieved through the stratified visual mass selection developed by Molina in 1983 (Pérez *et al.*, 2000; 2002; 2007).

Because yield is a measure of the reproductive capacity of plants (Hallauer *et al.*, 2010), it is inferred that the degree of adaptation of exotic maize is related to its ability to

con su capacidad de producir una descendencia basta y robusta en la zona donde éste se introdujo. En relación con esto, la evaluación en varios ambientes de los genotipos exóticos seleccionados para adaptación es indispensable en los programas genotécnicos, pues su respuesta relativa con frecuencia cambia de un ambiente a otro. Al respecto, desde el punto de vista agronómico, Lin y Binns (1994) indican que la adaptabilidad es la capacidad de las plantas de producir un buen rendimiento en una región diferente a la de su lugar de origen y a la cual se han introducido. Entonces, un cultivar se considera bien adaptado o con cierto grado de adaptación a una región si su rendimiento es alto en relación con el resto de los cultivares locales o los desadaptados introducidos.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el rendimiento y comportamiento agronómico de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño seleccionado para adaptación a Valles Altos, de tres cruzas entre algunas poblaciones, y de cuatro cruzas de una población con variedades de la raza local Chalqueño. La hipótesis planteada fue que las poblaciones seleccionadas superan en rendimiento y comportamiento agronómico a sus respectivas versiones originales e interaccionan de manera significativa favorable para rendimiento al ser cruzadas con maíz Chalqueño local.

Materiales y métodos

El material genético evaluado consistió de cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño en sus versiones de ciclo uno (desadaptado) y ciclo siete (adaptado): P1(C1), P1(C7); P2(C1), P2(C7); P3(C1), P3(C7), y P4(C1), P4(C7), de cuatro cruzas de los compuestos Chalqueño 1, 2, 3, y 4 por P4 (C10); de tres cruzas de las poblaciones P1, P2, y P3 por P4 (C10); y de los testigos comerciales H-S2, Promesa y San José. La selección de las cuatro poblaciones de maíz Tuxpeño se llevó a cabo en Montecillo, Texoco, Estado de México. La evaluación de los materiales genéticos se llevó a cabo bajo condiciones de temporal durante el ciclo primavera-verano de 2013, en los campos agrícolas experimentales del Colegio de Postgraduados (CP) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicados ambos en el municipio de Texcoco, Estado de México, cuyo clima es templado, con temperatura media anual de 15 °C y precipitación pluvial anual de 645 mm, a una altitud de 2 240 m.

produce a sufficient and robust offspring in the area where It was introduced. In this respect, the evaluation of exotic genotypes selected for adaptation in several settings is indispensable in genotechnical programs, since their relative response often changes from one environment to another. In this regard, from the agronomic point of view, Lin and Binns (1994) indicate that adaptability is the ability of plants to produce a good yield in a region different from that of their place of origin and to which they have been introduced. Thus, a cultivar is considered to be well adapted or with some degree of adaptation to a region if its yield is high relative to the rest of the local cultivars or the maladjusted introduced.

The present work had the objective of evaluating the yield and agronomic behavior of four Tuxpeño maize populations selected for adaptation to High V alleys, three crosses between some populations, and four crosses of a population with varieties of the local race Chalqueño. The hypothesis was that the selected populations surpassed in their performance and agronomic behavior to their respective original versions and interact in a significant way favorable to yield when being crossed with local corn Chalqueño.

Materials and methods

The genetic material evaluated consisted of four populations of Tuxpeño maize in their versions of cycle one (misfit) and cycle seven (adapted): P1(C1), P1(C7); P2(C1), P2(C7); P3(C1), P3(C7), and P4(C1), P4(C7), four crosses of Chalqueño compounds 1, 2, 3, and 4 by P4 (C10); of three crosses of populations P1, P2, and P3 by P4 (C10); and the commercial witnesses H-S2, Promesa and San Jose. The selection of the four populations of Tuxpeño corn was carried out in Montecillo, Texoco, State of Mexico. The evaluation of the genetic material was carried out under temporary conditions during the spring-summer cycle of 2013, in the experimental agricultural fields of the College of Postgraduates (CP) and the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Researches (INIFAP). Both located in the municipality of Texcoco, State of Mexico, whose climate is temperate, with annual average temperature of 15 °C and annual rainfall of 645 mm, at an altitude of 2 240 m.

El diseño experimental en la evaluación de los materiales fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra de las variedades se realizó manualmente depositando dos semillas por mata cada 50 cm, en parcelas experimentales de dos surcos de 6 m de longitud con separación de 0.8 m entre surcos. Esto dio un total de 26 matas y 52 plantas en una parcela de 4.8 m², equivalente a una densidad de 60 000 plantas ha⁻¹. Al momento de la siembra se dio un riego de germinación en ambas localidades y en el resto del ciclo de cultivo la humedad provino de la lluvia.

Las variables estudiadas fueron: rendimiento de grano (REN, kg ha⁻¹), días a floración masculina (FM) y femenina (FF), registrados como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que 50% de las plantas de cada parcela se encontraba en anthesis y presencia de estigmas expuestos, altura de planta (AP, cm) y mazorca (AM, cm), las cuales se midieron desde la base de la planta hasta el ápice de la panoja o mazorca, diámetro de mazorca (DM, cm), número de hileras por mazorca (NH), granos por hilera (GH), y longitud de mazorca (LM, cm). También se calculó el índice de prolificidad (IP %), en cada parcela dividiendo las mazorcas cosechadas sobre el número de plantas. Con excepción de FM, FF y REN, las variables se midieron en una muestra aleatoria de 10 plantas por parcela, y se registró el promedio por planta o por mazorca. El REN kg ha⁻¹ se estimó con relación a la superficie de la unidad experimental con respecto a 1 ha.

El análisis de varianza combinado de los datos de las variables de las dos localidades se hizo primero considerando el total de materiales genéticos (genotipos), luego esta fuente de variación se partió en seis grupos de materiales: compuestos de C1, compuestos de C7, cruza de Tuxpeño*Chalqueño, cruza de tuxpeños, testigos, y entre grupos de materiales. La comparación de medias de las variables se efectuó mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Todos los análisis se hicieron mediante el paquete estadístico SAS versión 9 (SAS Institute, 2003).

Resultados y discusión

El análisis de varianza combinado de los datos (Cuadro 1) detectó diferencias altamente significativas y significativas entre ambientes para el rendimiento (REN) y sus componentes longitud (LM) y diámetro de mazorca (DM) e índice de prolificidad (IP); también hubo significancia entre ambientes para las variables agronómicas días a floración femenina (FF),

The experimental design in the evaluation of the materials was of complete random blocks with three replicates. The sowing of the varieties was done manually by depositing two seeds per bush every 50 cm, in experimental plots of two rows of 6 m in length with 0.8 m spacing between rows. This gave a total of 26 trees and 52 plants in a plot of 4.8 m², equivalent to a density of 60 000 plants ha⁻¹. At the time of sowing germination was given in both localities and in the rest of the crop cycle the humidity came from the rain.

The variables studied were: grain yield (REN, kg ha⁻¹), days at male (FM) and female (FF) flowering, recorded as the number of days since sowing until 50% of the plants of each plot was found in anthesis and presence of exposed stigmas, respectively; height of plant (AP, cm) and cob (AM, cm), which were measured from the base of the plant to the apex of the panicle or cob, respectively; diameter of cob (DM, cm), number of rows per ear (NH), grains per row (GH), and ear length (LM, cm). The prolificacy index (IP) % was also calculated on each plot by dividing the harvested ears on the number of plants. With the exception of FM, FF and REN, the variables were measured in a random sample of 10 plants or 10 cobs of each plot, and averaged per plant or ear. The REN kg ha⁻¹ was estimated by the ratio of the surface area of the experimental unit to that of one hectare.

The analysis of combined variance of the data of the variables of the two localities was done first considering the total of genetic material (genotypes), then this source of variation was divided into six groups of materials: compounds of C1, compounds of C7, crosses of Tuxpeño*Chalqueño, crosses of Tuxpeños, witnesses, and between groups of materials. The comparison of means of the variables was performed by the Tukey test ($\alpha=0.05$). All analyzes were done using the statistical package SAS version 9 (SAS Institute, 2003).

Results and discussion

The analysis of combined variance of the data (Table 1) detected highly significant and significant differences between environments for yield (REN) and components length (LM) and ear diameter (DM) and prolificacy index (IP); there was also significance between environments for the agronomic variables days to female flowering (FF), male (FM) and height of cob (AM). The variables

masculina (FM) y altura de mazorca (AM). Las variables altura de planta (AP) y número de hileras por mazorca (NH) y granos por hilera (GH) resultaron no significativas. Lo anterior indica que el rendimiento global promedio de los materiales genéticos fue de manera diferente en cada ambiente, de manera similar ocurrió con los promedios del ciclo vegetativo y la altura de mazorca de los genotipos; debido a las diferencias ambientales entre las localidades de prueba, tales como el tipo de suelo, la precipitación, y a la respuesta diferencial promedio de los genotipos a tales efectos ambientales.

plant height (AP) and number of rows per ear (NH) and grains per row (GH) were not significant. The above result indicates that the average overall yield of all genetic materials behaved differently in each environment, and that the vegetative cycle averages and cob height of the genotypes were also different in each environment. The above due to environmental differences between test locations, such as soil type, precipitation, and the average differential response of genotypes to such environmental effects.

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado del rendimiento, componentes del rendimiento y variables agronómicas de 18 variedades de maíz exótico y local. Montecillo, México.

Table 1. Combined variance analysis of yield, yield components and agronomic variables of 18 varieties of exotic and local maize. Montecillo, Mexico.

FV	GL	REN (t ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	DM (cm)	NH (núm.)	GH (núm.)	IP (%)
AMB	1	21.2**	5334.1**	5292**	111.79	18805.7**	3445.37*	244.5*	1.12	14.81	5.96**
REP (AMB)	4	0.9	29.1*	33.3*	1046.42*	846.09*	113.25	16.62	0.06	1.54	0.13
GEN	17	110.4**	120.1**	129.2**	5576.3**	2322.13**	4503.6**	474.92**	9.47**	44.61**	0.13
C1	3	0.6	6.78	4.15	3544.65*	1233.36*	364.63	69.95	2.72*	20.72	0.35
C7	3	7.7*	2	19.2	507.51	232.73	397.17*	13.06	0.44	8.44	0.12
CCH	3	29.5**	17.7	23.2	412.25	618.99	223.93*	13.83*	1.93	3.67	0.09
CP	2	4.3	12	12	206.62	251.64	28.22	2.89	0.72	2.72	0.09
TES	2	11.4	48.2	63.3	279.69	343.61	693.39*	5.17	0.72	12.72*	0.02
GRP	4	433.1**	446.2**	476.7**	20108.2**	8007.6**	18040.1**	1941.7**	35.7**	157.2**	0.08
GEN*AMB	17	4.2**	13	13.3*	561.72*	553.26**	1870.29**	137.07**	1.04	23.36**	0.11
Error	68	786.6	7.46	7.36	205.83	142.94	231.23	23.14	0.59	3.82	0.11
CV		10.9	2.87	2.78	6.26	10.37	11.62	10.93	5.12	6.48	24.06

FV= fuentes de variación; GL= grados de libertad; AMB= ambientes; REP (AMB)= repeticiones dentro de ambientes; GEN= genotipos; C1= compuestos de Tuxpeño de ciclo 1; C7= compuestos de Tuxpeño de ciclo 7; CCH= cruza de Tuxpeño*Chalqueño; CP= cruza de poblaciones de Tuxpeño; TES= testigos; GRP= grupos de genotipos; GEN*AMB= interacción genotipo por ambiente; CV= coeficiente de variación; *, **= significativo al 0.05 y al 0.01 de probabilidad respectivamente; REN= rendimiento de grano, FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de la mazorca; NH= número de hileras por mazorca; GH= granos por hilera; IP= índice de prolificidad.

La partición de los materiales en grupos de genotipos detectó significancia para REN y LM únicamente entre los ciclos avanzados (ciclo 7) de las poblaciones de Tuxpeño y entre las cruza de los compuestos de Chalqueño por la población 4 C10, lo cual indica que hubo diferencias entre los genotipos de Tuxpeño adaptado por un lado, y entre las cruza de material local adaptado por material tropical exótico adaptado por el otro (Cuadro 1). Por otro lado, hubo significancia entre los ciclos iniciales (ciclo 1) de las poblaciones de Tuxpeño únicamente para las variables AP y AM, indicando con ello que los materiales tropicales exóticos desadaptados presentaron variabilidad en el porte

The partition of the materials into groups of genotypes detected significance for REN and LM only between the advanced cycles (cycle 7) of the populations of Tuxpeño and between the crosses of the compounds of Chalqueño by the population 4, C10, which indicates that there were differences between Tuxpeño genotypes adapted on the one hand, and between crosses of local material adapted by exotic tropical material adapted by the other (Table 1). On the other hand, there was a significance between the initial cycles (cycle 1) of the Tuxpeño populations only for the AP and AM variables, indicating that the exotic tropical mismatched materials presented variability in plant size.

de planta. La partición correspondiente a los grupos (GRP) de materiales detectó diferencias altamente significativas entre los materiales genéticos para todas las variables, excepto para IP, lo que constata que existieron diferencias fenotípicas y genotípicas entre las variedades evaluadas.

La interacción genotipo por ambiente resultó significativa y altamente significativa para la mayoría de las variables, pero principalmente para las de rendimiento y algunas de sus variables componentes, resaltando LM, DM y GH, indicando con ello que algún genotipo o varios de ellos tuvieron una respuesta diferente en su comportamiento agronómico a través del proceso de selección y de la interacción con los ambientes de prueba. Esto como resultado de las diferencias genéticas intrínsecas entre los materiales y de los efectos ambientales diferentes a los que fueron sometidos en cada ciclo de selección.

En la comparación de medias entre genotipos (Cuadro 2) se observa que los genotipos que presentaron rendimientos menores fueron los ciclos iniciales de las cuatro poblaciones de Tuxpeño, cuyos rendimientos variaron de 1.5 a 2.21 t ha⁻¹ sin diferencias significativas entre ellos, lo que se atribuye como respuesta de su alta inadaptación a los ambientes de prueba. Por otro lado, los ciclos avanzados de las poblaciones de Tuxpeño tuvieron un rendimiento intermedio en comparación con los testigos comerciales, el cual varió de 5.53 a 7.91 t ha⁻¹, siendo este último valor significativamente diferente y correspondió a la población uno ciclo siete, y aunque estos ciclos avanzados no igualaron a ninguno de los testigos, sí superaron a los rendimientos promedios de maíz en el Valle de México. Estos resultados confirman que mediante la selección masal visual es posible adaptar maíz tropical Tuxpeño a los Valles Altos de México, pues de acuerdo con el criterio de Hallauer *et al.* (2010) y Lin y Binns (1994) puede considerarse que las poblaciones del ciclo 7 de Tuxpeño tienen ya un grado de adaptación a las condiciones climáticas templadas de Valles Altos, pues su rendimiento es alto en relación con el resto de los ciclos desadaptados.

Por otro lado, las cruzas de Chalqueño (CCH) con la población cuatro ciclos 10 (Pob. 4 C10), y las cruzas de las poblaciones 1, 2, y 3 por la Pob. 4 C10 tuvieron algunos rendimientos más altos. Así, las cruzas de los compuestos Chalqueño 2 y 3 por Pob. 4 C10 tuvieron el rendimiento más alto (14.89 y 13.32 t ha⁻¹), superando el rendimiento de todos los testigos y demás cruzas, lo que evidencia la importancia del material exótico adaptado al cruzarse con maíz local de Valles Altos.

The corresponding partition groups (GRP) materials found highly significant differences between genetic materials for all variables, except for IP, which finds that there were phenotypic and genotypic differences between the varieties tested.

The genotype interaction by environment was significant and highly significant for most variables, but mainly for the performance variables and some of their component variables, highlighting LM, DM and GH, indicating that some genotype or several of them had a response different in their agronomic behavior through the selection process and the interaction with the test environments. This is a result of the intrinsic genetic differences between the materials and the environmental effects different from those that were submitted in each selection cycle.

The comparison of means between genotypes (Table 2) shows that genotypes with lower yields were the initial cycles of the four Tuxpeño populations, whose yields ranged from 1.5 to 2.21 t ha⁻¹, with no significant differences between them is attributed as a response to their high maladaptation to test environments. On the other hand, the advanced cycles of the populations of Tuxpeño had an intermediate yield in comparison with the commercial controls, which varied from 5.53 to 7.91 t ha⁻¹, the latter being significantly different and corresponding to the population one cycle seven. And although these advanced cycles did not match any of the witnesses, they did exceed the average yields of maize in the Valley of Mexico. These results confirm that through visual mass selection it is possible to adapt Tuxpeño tropical maize to the High Valleys of México, since according to the criteria of Hallauer *et al.* (2010) and Lin and Binns (1994) can be considered that Tuxpeño cycle 7 populations already have a degree of adaptation to the temperate climatic conditions of High Valleys, since their performance is high in relation to the rest of the disadapted cycles.

On the other hand, the crosses of Chalqueño (CCH) with the population four cycle 10 (Pop. 4 C10), and the crosses of the populations 1, 2, and 3 by the Pob. 4 C10 had some of the highest yields. Thus, the crosses of compounds Chalqueño 2 and 3 by Pob. 4 C10 had the highest yield (14.89 and 13.32 t ha⁻¹, respectively), surpassing or equalizing the yield of all the controls and other crosses, which shows the importance of the adapted exotic material when crossing local High Valleys maize.

Cuadro 2. Comparación de medias de 18 genotipos de maíz para diez variables agronómicas. Análisis combinado. Montecillo, México.**Table 2. Comparison of means of 18 maize genotypes for ten agronomic variables. Combined analysis. Montecillo, Mexico.**

GEN	REN (t ha ⁻¹)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)	AM (cm)	LM (cm)	DM (cm)	NH (núm.)	GH (núm.)	IP (%)
Población 1 C1	1.5g	100.1a	101ab	167.7h	75.8f	8.2e	3.9b	13.8fgh	26.3ef	1.4a
Población 1 C7	7.91e	99ab	101.3ab	204.1f	99.4def	14.6abc	4.5a	14.3defg	30abcde	1.5a
Población 2 C1	1.98g	98.5ab	100.8ab	171.7gh	78.1f	7.7e	2.8b	13.3gh	26.8ef	1.6a
Población 2 C7	5.75f	96.5abc	99abcd	205.4f	99.3def	12.7bcd	4.6a	14efgh	28.3cde	1.5a
Población 3 C1	2.21g	98.3ab	102.5a	219.6def	104.5de	8.2e	2.4b	12.5h	24f	1.1a
Población 3 C7	5.66f	101a	103.3aa	223.7cdef	109.5cde	13.4abc	4.3a	14.3defg	30abcde	1.5a
Población 4 C1	1.64g	100a	102.6a	198.1fg	98.2ef	9.5de	3.1b	14efgh	28.5bcde	1.2a
Población 4 C7	5.53f	98.1ab	100.6ab	215.4ef	110.7bcde	12.4cd	4.3a	14.6cdefg	27.6def	1.2a
Comp. Chalq 1*pob 4 C10	11.01cd	92.3cd	94cde	248.5abcd	123.4abcd	15.7ab	4.9a	16.1abc	33.1a	1.3a
Comp. Chalq 3*pob 4 C10	13.32ab	95.3abc	97.6abcd	259.6ab	143.2a	14.9abc	5a	17a	32.6a	1.3a
Comp. Chalq 4*pob 4 C10	9.98d	91.6cd	93.3def	249.9abc	133.8abc	14.4abc	4.9a	16abc	31.8abc	1.1a
Comp. Chalq 2*pob 4 C10	14.89a	91.8cd	94cde	239.4bcde	121.1abcde	15.5abc	5.2a	15.6abcd	33.6a	1.3a
Pob 1*pob 4	9.74de	93.6bc	96.3bcd	247.1abcd	131.7abc	14.3abc	4.7a	15.5abcd	31.1abcd	1.2a
Pob 2*pob 4	11.18cd	96.3abc	99.1abc	236.2bcde	122.8abcde	14.5abc	4.8a	15bcdef	32.5ab	1.3a
Pob 3*pob 4	9.67de	95.8abc	97.8abcd	245.5abcd	135.3ab	14.1abc	4.7a	15.6abcd	32abc	1.5a
H-S2	12.36bc	91.1cde	94cde	271a	134.5abc	15.1abc	5.1a	16.6a	33.1a	1.3a
Promesa	9.87d	85.83e	88f	264.4ab	120.7abcde	14abc	5a	16.5ab	30.3abcde	1.2a
San José	12.14bc	86.8de	88.8ef	257.3ab	133abc	16.2a	5.1a	16abc	31.1abcd	1.3a
DMS (0.05)	1.85	5.71	5.67	30.03	25.03	3.1	1	1.61	4.09	0.68

GEN= genotipos; REN= rendimiento de grano; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NH= número de hileras por mazorca; GH= granos por hilera; IP= índice de prolificidad.

Con respecto a las cruces entre poblaciones de Tuxpeño, las tres cruces evaluadas igualaron estadísticamente al testigo Promesa, que rindió 9.87 t ha⁻¹, pero en particular la cruz Pob 2*Pob 4 C10 tuvo un rendimiento de 11.18 t ha⁻¹, superando o igualando estadísticamente a todos los testigos y a algunas de las cruces de Chalqueño por Tuxpeño. Estos resultados son interesantes, pues se constata la presencia de un excelente comportamiento de la cruz intervartietal Chalqueño por Tuxpeño adaptado, y de la cruz intravarietal Tuxpeño población 2 ciclo siete por Tuxpeño población 4 ciclo diez. Lo anterior puede atribuirse a la existencia de heterosis en las cruces, la cual ocurre cuando el híbrido supera a sus progenitores en características fenológicas de crecimiento y rendimiento (Ramírez *et al.*, 2007). El

With respect to the crosses between populations of Tuxpeño, the three crosses evaluated statistically equated the witness Promesa, which yielded 9.87 t ha⁻¹, but in particular the cross Pob. 2*Pop. 4 C10 had a yield of 11.18 t ha⁻¹, surpassing or statistically equaling all the witnesses and some of the crosses of Chalqueño by Tuxpeño. These results are interesting, since the presence of an excellent behavior of the intervartietal cross by Tuxpeño adapted by Tuxpeño and of the intra-variety cross Tuxpeño population 2 cycle seven by Tuxpeño population 4 cycle ten is verified. This can be attributed to the existence of heterosis in the crosses, which occurs when the hybrid overcomes its parents in phenological characteristics of growth and yield (Ramírez *et al.*, 2007). The high performance of the advanced cycles

alto rendimiento de los ciclos avanzados de Tuxpeño se vio influenciado principalmente por los incrementos que tuvieron las variables de sus componentes, LM, DM, NH y GH durante el proceso de selección. Por otro lado, se redujeron significativamente las características AP y AM, lo cual en maíz Tuxpeño en particular se considera favorable desde el punto de vista agronómico, ya que en su región de origen esta variedad presenta un porte de planta muy alto, en algunos casos alcanzando más de dos metros de altura.

De acuerdo con estos resultados y con lo señalado por Lin y Binns (1994), se puede establecer que las poblaciones de Tuxpeño de este trabajo seleccionadas en la región de Valles Altos tienen un alto grado de adaptación a condiciones de clima templado, pues desde el punto de vista agronómico, se puede definir que un cultivar exótico está adaptado cuando su rendimiento promedio es superior, o al menos igual o cercano, al del resto de los cultivares locales de la región. Al respecto, disponer de germoplasma exótico en los Valles Altos de México, diferente al de la región, sería ventajoso, pues dichos genotipos pueden usarse de manera *per se* completando su ciclo en el periodo y bajo las mismas condiciones que los materiales locales e híbridos comerciales, obteniéndose rendimientos considerables con respecto a la media de producción en la región. Además, estos materiales exóticos pueden ampliar la base genética de las variedades locales al aportar nuevos alelos favorables para incrementar su productividad (Holland, 2004).

Con respecto a floración masculina y femenina de las poblaciones de Tuxpeño de ciclo adaptado, no presentaron diferencias significativas con respecto a las poblaciones originales, ya que ambas presentaron floraciones de 96 a 100 días. Por otro lado, las cruzas de poblaciones de Tuxpeño por Tuxpeño, y las cruzas de compuestos de Chalqueño por Tuxpeño presentaron de 90 a 96 días de floración masculina y femenina e igualaron a los híbridos comerciales, que pueden catalogarse como intermedias, de acuerdo con la clasificación de Pérez *et al.* (2007). Esto es importante porque estas variedades y cruzas pueden ser aptas para siembras de punta de riego o buen temporal en Valles Altos. Al comparar la altura de planta y de mazorca, las cruzas de Tuxpeño con poblaciones locales y los híbridos comerciales fueron los materiales que presentaron los valores promedio superiores, de 120 y 236.2 cm, superando significativamente los valores de estas variables en las poblaciones originales (C1) y adaptadas 40%, ya que las poblaciones originales presentaron menor porte de planta.

of Tuxpeño was mainly influenced by the increases in the variables of its components, LM, DM, NH and GH during the selection process. On the other hand, the characteristics AP and AM were significantly reduced, which in Tuxpeño corn in particular is considered favorable from the agronomic point of view, since in its region of origin this variety presents a very high plant load, in some cases reaching more than two meters in height.

In agreement with these results and with the indicated by Lin and Binns (1994), it is possible to establish that the populations of Tuxpeño of this work selected in the region of High Valleys have a high degree of adaptation to conditions of temperate climate, since from the agronomic point of view, it can be defined that an exotic cultivar is adapted when its average yield is superior, or at least equal or close, to the rest of the local cultivars of the region. In this respect, having exotic germplasm in the High Valleys of Mexico, different from the region, would be advantageous, since these genotypes can be used *per se*, completing their cycle in the period and under the same conditions as local materials and commercial hybrids, obtaining considerable yields with respect to the average of production in the region. In addition, these exotic materials can broaden the genetic base of local varieties by providing new favorable alleles to increase their productivity (Holland, 2004).

With respect to the variables male and female flowering of Tuxpeño populations of adapted cycle, these did not present significant differences with respect to the original populations, since both presented blooms of 96 to 100 days, respectively. On the other hand, the crosses of Tuxpeño populations by Tuxpeño, and the crosses of Chalqueño compounds by Tuxpeño presented from 90 to 96 days of male and female flowering and even matched the commercial hybrids, so they can be classified as intermediate, according to the classification proposed by Pérez *et al.* (2007). This is important because these varieties and crosses may be suitable for irrigation or good temporary plantings in High Valleys. When comparing plant height and ear height, Tuxpeño crosses with local populations and commercial hybrids were the materials with the highest average values of 120 and 236.2 cm, respectively, significantly exceeding the values of these variables in the original populations (C1) and adapted 40%, since the original populations presented smaller plant size.

Con respecto al ciclo de cultivo, las poblaciones adaptadas de Tuxpeño redujeron los días a floración masculina y femenina e incrementaron la altura de planta por ciclo de selección, pero sin igualar a los testigos locales, por lo que son más precoces que el material local evaluado. Por otro lado, las cruces de compuestos*poblaciones, de poblaciones*poblaciones, y los testigos tuvieron mazorcas grandes con valores de los componentes del rendimiento altos: longitud de mazorca (LM) de 140.6 a 162.1 cm, diámetro de mazorca (DM) de 4.3 a 5.2 cm, número de hileras (NH) de 15.0 a 17 cm, y granos por hilera (GH) de 30.3 a 33.6. Las cruces de los compuestos Chalqueño 2 y 3 por Pob. 4 C10 tuvieron los valores más altos para DM con 5.2 cm, NH de 17 y GH de 33.6. Estos resultados indican para los compuestos de Chalqueño x Tuxpeño que en sus cruces hubo interacciones positivas para rendimiento entre los genes de Tuxpeño adaptado con los de Chalqueño, lo que podría ser útil en el mejoramiento genético por ser estas cruces competitivas con los híbridos comerciales testigo utilizados.

En la comparación de las poblaciones adaptadas (C7) con las poblaciones originales (C1) se detectaron diferencias entre los materiales para las variables LM, NH y GH, donde en general las poblaciones adaptadas presentaron mazorcas más grandes, con longitud de 12.4 a 13.4 cm y diámetros de mazorca similares a los de los híbridos comerciales, con promedios de 4.3 a 5.2 cm, superiores a los valores de las poblaciones originales, con número de hileras y granos por hilera que oscilaron entre 14 hileras y 30 granos.

Los resultados anteriores indican que las poblaciones de Tuxpeño ciclo 7 (adaptadas) tienen ya una mayor frecuencia de genes favorables para rendimiento y sus componentes que las variedades originales de las cuales se derivaron, esto por efecto de la selección masal practicada en las poblaciones durante varios años. Estos resultados, además, reflejan en cierto modo el grado de adaptación logrado por las plantas de cada compuesto en cada ciclo de selección, principalmente para rendimiento, pues este fue el criterio de selección y de interés. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Morales *et al.* (2007), quienes indican que el rendimiento de grano y sus variables componentes son las más importantes para definir la diferencia entre la variabilidad genética y fenotípica entre materiales genéticos adaptados y exóticos originales. Finalmente, en relación con la variable índice de prolificidad (IP), no se detectaron diferencias entre los materiales, lo que se atribuye a que los compuestos de ciclo uno de las poblaciones de Tuxpeño (desadaptado) tienen ya varios ciclos de incremento de semilla en Montecillo, razón

With respect to the cultivation cycle, the adapted populations of Tuxpeño reduced the days to male and female flowering and increased plant height per cycle of selection, but not equal to the local controls, reason why they are more precocious than the local material evaluated. On the other hand, crosses of compounds*poblaciones, populations*poblaciones, and controls had large ears with values of high yield components: ear length (LM) of 140.6 to 162.1 cm, ear diameter (DM) of 4.3 to 5.2 cm, number of rows (NH) of 15.0 to 17 cm, and grains per row (GH) of 30.3 to 33.6. The crosses of the compounds Chalqueño 2 and 3 by Pob. 4 C10 had the highest values for DM with 5.2 cm, NH of 17 and GH of 33.6. These results indicate for the compounds of Chalqueño*Tuxpeño that in their crosses there were positive interactions for yield between the Tuxpeño genes adapted with those of Chalqueño, which could be useful in the genetic improvement because these crosses are competitive with the commercial hybrids control used.

In comparing the adapted populations (C7) with the original populations (C1) differences between materials for variables LM, NH and GH, where generally adapted populations showed larger cobs, with length 12.4 to 13.4 cm were detected and cob diameters similar to those of commercial hybrids, with averages of 4.3 to 5.2 cm, higher than the values of the original populations, with number of rows and grains per row ranging from 14 rows to 30 grains.

The above results indicate that the populations of Tuxpeño cycle 7 (adapted) already have a higher frequency of genes favorable to yield and its components than the original varieties from which they were derived, due to the effect of the mass selection practiced in the populations during several years. These results also reflect in a certain way the degree of adaptation achieved by the plants of each compound in each selection cycle, mainly for yield, since this was the criterion of selection and interest. These results agree with Morales *et al.* (2007), who indicate that grain yield and its component variables are the most important to define the difference between genetic and phenotypic variability between original and adapted genetic materials. Finally, in relation to the variable prolificacy index (IP), no differences were detected between the materials, which is attributed to the cycle compounds one of the populations of Tuxpeño (maladjusted) already have several cycles of seed increase in Montecillo, which is why they have some adaptation, although not complete, and their plants produce ears; in addition, all materials had 1 to 2 ears per plant.

por la cual tienen cierta adaptación, aunque no completa, y sus plantas producen mazorcas; además, todos los materiales tuvieron de 1 a 2 mazorcas por planta.

Conclusiones

Los resultados de la presente investigación indicaron que las poblaciones exóticas de maíz Tuxpeño adaptadas por selección a las condiciones de los Valles Altos de México incrementaron su rendimiento de grano significativamente por ciclo de selección con respecto a los ciclos originales, esto debido principalmente al incremento que tuvieron algunas variables componentes del rendimiento, tales como el diámetro de mazorca (DM), número de hileras (NH) y granos por hilera (GH).

Las cruza de maíz Chalqueño con la Población 4 ciclo 10 de Tuxpeño, y la cruza entre las poblaciones de Tuxpeño 2 ciclo 7 y 4 ciclo 10 tuvieron algunos rendimientos altos, superando a los demás materiales y en algunos casos igualando el rendimiento de los testigos, constatando que existieron buenos comportamientos de algunas cruza intervarietales Chalqueño local por Tuxpeño adaptado, y de la cruza intravarietal Tuxpeño población 2 ciclo 7 por Tuxpeño población 4 ciclo 10. Los resultados se pueden atribuir a la existencia de heterosis en las cruza de poblaciones locales por poblaciones adaptadas.

Se comprueba que la selección masal en maíz tropical Tuxpeño para adaptación a condiciones templadas de Valles Altos en México fue efectiva en incrementar la frecuencia de alelos favorables para rendimiento y adaptación en las poblaciones seleccionadas. El contar con maíz exótico adaptado en Valles Altos constituye un recurso para el mejoramiento genético del maíz local y para los productores, porque el germoplasma tropical adaptado podría usarse de manera *per se* o combinado con maíz Chalqueño local para aprovechar su heterosis en rendimiento.

Literatura citada

- Bergvinson, D. J.; Ramírez, A.; Flores, D. y García, L. S. 2007. Mejoramiento de maíces criollos por integración de alelos. México, D.F. CIMMYT 2008. Boletín: impulso a la producción de maíz en el Estado de México. 5(2):24-26.
- Castillo, F. 1993. La variabilidad genética y el mejoramiento de los cultivos. Ciencia. 44:69-79.

Conclusions

The results of the present investigation indicated that the exotic populations of Tuxpeño maize adapted by selection to the conditions of the High Valleys of Mexico increased their yield of grain significantly by cycle of selection with respect to the original cycles, this mainly due to the increase that they had (DM), number of rows (NH) and grains per row (GH).

The crosses of Chalqueño maize with Tuxpeño Population 4 cycle 10, and the cross between the populations of Tuxpeño 2 cycle 7 and 4 cycle 10 had some of the highest yields, surpassing the yield of the other materials and in some cases equating the yield of the witnesses, confirming that there were good behaviors of some interchannel crosses between local Chalqueño by adapted Tuxpeño, and of the intra-varietal cross Tuxpeño population 2 cycle 7 by Tuxpeño population 4 cycle 10. The results obtained can be attributed to the existence of heterosis in the crosses of local populations by adapted populations.

It was verified that the Tuxpeño tropical maize selection for adaptation to temperate conditions of High Valleys in Mexico was effective in increasing the frequency of favorable alleles for yield and adaptation in the selected populations. The use of exotic maize adapted in High Valleys is a useful resource for the genetic improvement of local maize and especially for producers, since the adapted tropical germplasm could be used *per se* or combined with local Chalqueño maize to take advantage of its heterosis in yield.

End of the English version



- García, J. J.; López, R. J.; Molina, G. T. y Cervantes, S. 2002. Selección masal visual estratificada y de familias de medios hermanos en una cruza intervarietal F2 de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 25:387.
- Gómez, E. A. L.; Molina, G. J. D.; García, Z. J. J.; Mendoza, C. Ma. del C. y de la Rosa, L. A. 2015. Poblaciones exóticas originales y adaptadas de maíz. I: variedades locales de clima templado x variedades tropicales. Rev. Fitotec. Mex. 38(1):57- 66.
- Hallauer, A. R.; Carena, J. M. and Miranda, F. J. B. 2010. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press. USA. 663 p.
- Holland, J. B. 2004. Breeding: incorporation of exotic germplasm. *In: encyclopedia of plant and crop science*. Dekker, M. (Eds). New York, USA. 222-224 pp.

- Lin, C. S. and Binns, M. R. 1994. Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. *Plant Breed. Rev.* 12:271-297.
- Molina, G. J. D. 1990. Uso potencial de plasma germinal exótico de maíz. *In: Resumen XIII Congreso Nacional de Fitogenética.* Cd. Juárez Chihuahua, México. 344 p.
- Molina, G. J. D. 1993. Comentarios a la plática. La variabilidad genética y el mejoramiento de los cultivos. *In: Ciencia. Revista de la Academia de la Investigación Científica.* México. Núm. Especial. 81-83. pp
- Morales, R. M. M.; Parra, R. J.; Sánchez, G. J.; Ramírez, D. L.; De la Cruz, Mena, M. L. S.; Hurtado, P. S. y Chuela, B. M. 2007. Relaciones fenotípicas y heterosis entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(3):285-294.
- Navas, A. A. A. y Cervantes, S. T. 1991 Selección para rendimiento y adaptación a Valles Altos en cruza interracial tropical de maíz de México. *Agrociencia.* 2(4):97-113.
- Ortega, R. C. y Ochoa, B. R. 2003. El maíz: un legado de México para el mundo. *Claridades Agropecuarias.* 3-16 pp.
- Pérez, C. A. A.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2000. Adaptación a clima templado de una variedad de maíz tropical mediante selección masal visual estratificada. *Agrociencia.* 34:533-542.
- Pérez, C. A. A.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2002. Adaptación a clima templado de razas tropicales y subtropicales de maíz de México por selección masal visual. Rendimiento, altura de planta y precocidad. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4):435-441.
- Pérez, C. A. A.; Molina, G. J. D.; Martínez, G. A.; García, M. P. y Reyes, L. D. 2007. Selección masal para la adaptación a clima templado de razas tropicales y sub-tropicales de maíz de México. *Bioagro.* (19(3):133-141.
- Poehlman, J. M. y Allen, S. D. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Traducido por Guzmán, O. M. 2a (Ed.) Ed. LIMUSA. México, D. F. 509 p.
- Ramírez, D. J. L.; Chuela B. M.; Vidal, M. V. A.; Ron, P. J. y Caballero, H. F. 2007. Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. *Rev. Fitotec. Mex.* 30:453-461.
- 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 2003. SAS/IML Software: usage and reference. Version 9.1 Ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59.
- Soto, R. y Mijares, P. 2007. Proyectos de investigación y transferencia de tecnología de maíz en el Estado de México. <http://sedagrotecnologia.wordpress.com/2007/11/13/proyectos-de-investigacion-y-tansferencia-de-tecnologia-de-maizen-el-estado-de-mexico/>.
- Sleper, D. A. and Poehlman, J. M. 2006. *Breeding field crops.* Fifth Edition. Blackwell Publishing. Ames, Io. EE. UU. 424 p.
- Turrent, F. A.; Wise, T. A. y Garvey, E. 2012. Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz en México. *Mexican Rural Development Research Report.* Reporte. 24-36 pp.
- Troyer, A. F. and Brown, W. L. 1972. Selection for early flowering in corn. *Crop Sci.* 12:301-304.
- 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.