



PATRÓN VARIETAL Y RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍCES LOCALES DEL VALLE DE TEHUACÁN, PUEBLA

VARIETAL PATTERN AND GRAIN YIELD OF LOCAL MAIZE FROM THE TEHUACAN VALLEY, PUEBLA

Pedro A. López*, Enrique Ortiz-Torres, Abel Gil-Muñoz, Juan de Dios Guerrero-Rodríguez,
Oswaldo R. Taboada-Gaytán, Higinio López-Sánchez y J. Arahón Hernández-Guzmán

Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, San Pedro Cholula, Puebla, México.

*Autor de correspondencia (palopez@colpos.mx)

RESUMEN

El Valle de Tehuacán, en el estado de Puebla, México, es reconocido como centro de domesticación y diversidad de varias especies cultivadas, entre ellas el maíz (*Zea mays* L.); sin embargo, sólo un trabajo ha reportado el potencial elotero de las poblaciones locales de maíz de esa región y no hay estudios sobre el patrón varietal y su rendimiento de grano. El objetivo de este estudio fue identificar el patrón varietal de poblaciones locales del Valle de Tehuacán, para seleccionar las sobresalientes en rendimiento de grano y formar la base genética para un proceso de mejoramiento genético local. En el ciclo PV 2009 se ensayaron, bajo riego, 95 poblaciones locales de maíz, tres testigos raciales y dos testigos comerciales (híbridos), mediante el diseño látice simple 10 × 10, en tres localidades con suelos que presentan valores altos de pH y bajos niveles nutrimentales. Las variables registradas fueron rendimiento de grano, variables fenológicas, agronómicas y características de grano, mazorca y olote, a las cuales se les aplicó un análisis estadístico combinado. Las poblaciones locales de maíz mostraron mejor adaptación que los testigos. El patrón varietal del Valle de Tehuacán estuvo conformado con maíces de grano blanco (60 %), azul (35.8 %) y rojo (4.2 %). El 95 % de las poblaciones locales fueron precoces, con 82 a 96 días a floración femenina (DFF), un testigo comercial se ubicó en el estrato ultraprecoz (menos de 82 DFF) y otro en el precoz. Los maíces precoces rindieron más que los ultraprecoces y existieron diferencias estadísticas entre poblaciones en 85 % de las variables. Las poblaciones locales superaron ampliamente en rendimiento de grano a los testigos comerciales. En éstas, mediante la aplicación de dos modelos, se seleccionaron las 10 mejores con base en su rendimiento promedio y menor interacción con el ambiente. El patrón varietal de las poblaciones locales de maíz del Valle de Tehuacán está integrado por poblaciones precoces de grano blanco, azul y rojo, en las que se definió su base genética para un proceso de mejoramiento genético local.

Palabras clave: *Zea mays* L., patrón varietal, poblaciones locales de maíz, rendimiento de grano, Valle de Tehuacán.

SUMMARY

The Tehuacán Valley, in Puebla state, Mexico, is recognized as a center of domestication and diversity for several cultivated species, including maize (*Zea mays* L.); however, only one research has reported the potential of local maize populations for tender cob production at this region, and there are no studies related to their varietal pattern and grain yield. The goal of this study was to identify the varietal pattern of local maize populations in the Tehuacán Valley, to select outstanding populations in grain yield to form the genetic basis for a local plant breeding process. In the PV 2009 cycle, 95 local maize populations, three racial and two commercial (hybrids) controls were evaluated, under irrigation, with a simple 10 × 10 lattice design, at three

localities with soils that presented high pH values and low nutritional levels. Grain yield and phenological, agronomical, grain and tender cob traits were recorded and analyzed with a statistical combined analysis. Local maize populations showed better adaptation than controls. The varietal pattern from Tehuacán Valley was conformed with white (60 %), blue (35.8 %), and red (4.2 %) corn kernels. Local populations were 95 % early, with 82 to 96 days to female flowering (DFF), a commercial control performed as ultra-early (less than 82 DFF), and another performed as early. Early maize were more yielding than ultra-early ones, and there were statistical differences among populations for 85 % of the variables. Local populations far exceeded in grain yield to the commercial controls. In these varieties, by means of two models, 10 outstanding maize populations were selected on the basis of their average grain yield and low interaction with the environment. The varietal pattern of local maize populations of Tehuacán Valley is integrated by early populations of white, blue and red color grain, in which a genetic basis was defined for a local plant breeding process.

Index words: *Zea mays* L., grain yield, local maize populations, Tehuacán Valley, varietal pattern.

INTRODUCCIÓN

El hombre inició sus actividades como agricultor hace aproximadamente 10,000 a 12,000 años (Duvick, 2002), lo que implica que gracias a la capacidad de observación y de persistencia por parte de los primeros, y actuales agricultores, se han obtenido grandes avances en la agricultura, que, como consecuencia de la evolución bajo domesticación, ha generado la agrobiodiversidad de la cual depende nuestra alimentación (Mastretta-Yanes *et al*, 2019). La diversidad y acervo genético del maíz son un ejemplo de lo anterior, ya que en los numerosos nichos ecológicos existentes en el territorio mexicano se encuentran poblaciones nativas o locales que igualan, e incluso superan, a las variedades comerciales mejoradas en campos experimentales e introducidas (Muñoz, 2005), como las variedades de polinización abierta e híbridos.

En el estado de Puebla, las condiciones orográficas y la diversidad de climas han propiciado la existencia de un gran número de nichos ecológicos o microrregiones que favorecen la adaptación de diversas especies vegetales,

algunas de ellas endémicas (López *et al.*, 2011). Además, algunas regiones del estado son consideradas como centros de domesticación de algunas de las especies vegetales cultivadas más importantes en la actualidad, entre las que se encuentra el maíz, como lo demuestran los hallazgos arqueológicos reportados por McNeish (1964) en el Valle de Tehuacán. Puebla es uno de los principales estados productores de maíz grano a nivel nacional, cosechándose en 2017 una superficie de 525,108 ha de este cultivo, lo que representa el 7 % de la superficie cosechada de este cereal a nivel nacional. En el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 08 de Tehuacán, la superficie sembrada con maíz grano fue de 41,979 ha y representa el 8 % de la superficie estatal sembrada con este cultivo, con rendimientos de 1.35 t ha⁻¹ (SIAP, 2018). En este Distrito predominan los climas de tipo BS (seco estepario); sin embargo, en algunos municipios y juntas auxiliares se identifican climas de transición y semicálidos (INAFED, 2018) lo que, aunado a la disponibilidad de riego en esas zonas, permiten el cultivo del maíz a lo largo de todo el año.

Lo anterior ha propiciado que este Distrito sea considerado como el principal productor de elote en el estado de Puebla (SIAP, 2018). Es conveniente resaltar que la producción de elote y de grano en esta región se realiza mediante la siembra de semilla de poblaciones locales de maíz, plenamente adaptadas a las condiciones de clima y suelo imperantes en la región. Debido a lo anterior, la producción de elote es el principal destino del cultivo de maíz en el Valle de Tehuacán; sin embargo, cuando el precio de este producto baja en el mercado, los agricultores dejan que el cultivo madure y lo cosechan como grano, aunque también acostumbran a sembrar maíz específicamente para producción de grano, para el consumo familiar. Lo anterior permite señalar que las poblaciones locales o nativas de maíz en el Valle de Tehuacán pueden considerarse de doble propósito, para producción de elote y de grano. Además, estas poblaciones están plenamente adaptadas a las condiciones de suelo calcáreo, con niveles altos de pH, tolerando deficiencias de macro y micronutrientes como el hierro, principalmente.

Aunque se han reportado estudios sobre la diversidad y el potencial de rendimiento de poblaciones locales de maíz en algunas microrregiones del estado de Puebla, como en Molcaxac (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010), en el altiplano (Flores-Pérez *et al.*, 2015), en los valles altos del centro-oriente (Hortelano *et al.*, 2012), en la región de Serdán-Libres (Muñoz-Tlahuiz *et al.*, 2013), en el trópico húmedo (López-Morales *et al.*, 2014), en la Sierra Nororiental (Contreras-Molina *et al.*, 2016) y en la región oeste de valles altos (Alvarado-Beltrán *et al.*, 2019), no hay reportes de trabajos orientados hacia el estudio del patrón de variación de las poblaciones locales de maíz y su potencial de rendimiento

de grano y características agronómicas favorables en el Valle de Tehuacán, pues el estudio de Ortiz-Torres *et al.* (2013) sólo estuvo orientado al potencial elotero de estos maíces. La mejor adaptación de las poblaciones locales de maíces nativos en los nichos ecológicos ya ha sido demostrada por diversos autores, resaltando la importancia de llevar a cabo el proceso de mejoramiento a nivel local, en el que los modelos de resistencia a factores adversos (Muñoz, 1996; Muñoz, 2005) son una herramienta útil para este fin. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue identificar el patrón varietal de maíces locales del Valle de Tehuacán, para seleccionar poblaciones sobresalientes en producción de grano y formar una base genética para un proceso de mejoramiento local orientado a la obtención de poblaciones mejoradas para rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colecta y material vegetal

Entre los meses de enero a mayo de 2009 se realizó una colecta de semilla de poblaciones locales de maíz en los municipios de Ajalpan, Atlix, San Gabriel Chilac, San José Miahuatlán, Tehuacán y Zinacatepec, en el estado de Puebla, reuniendo un total de 95 accesiones, procedentes de 10 localidades (Cuadro 1). Además de las 95 accesiones, en el material vegetal se incluyeron tres testigos raciales representantes de las razas Bolita, Celaya y Pepitilla, los cuales son reportados con presencia en la región, además de los híbridos comerciales A7573 y AS900, ambos producidos por la empresa Asgrow® y distribuidos en la región por casas comerciales, completando así un total de 100 genotipos para su evaluación en campo.

Ubicación y conducción de los experimentos

Los experimentos se establecieron en tres sitios (Cuadro 1), el primero en San Pablo Tepetzingo el 22 de junio, el segundo en Ajalpan el 9 de julio y el tercero en San Gabriel Chilac el 8 de agosto. El clima en Tepetzingo y Ajalpan es BS1 (h')w"(w)(i)g (García, 1981), mientras que en San Gabriel Chilac el clima es BS0 (h') (hw")(w)(e)g. Se realizó un muestreo de suelo en los sitios experimentales, encontrándose valores de pH de 8.43, 8.71 y 8.53 en Tepetzingo, Ajalpan y San Gabriel Chilac, respectivamente. Los suelos de los tres sitios coincidieron con bajo contenido de materia orgánica, muy bajos niveles de nitrógeno, bajo contenido de fósforo y altos valores para la capacidad de intercambio catiónico.

La siembra se realizó con pala, colocando tres semillas por mata cada 50 cm, con distancia entre surcos de 0.80 m y se aclaró a dos plantas por mata cuando las plantas tenían cuatro hojas desdobladas, para contar con una densidad de 50 mil plantas ha⁻¹. La fertilización se realizó

Cuadro 1. Sitios de procedencia de las accesiones de maíces locales colectados en el Valle de Tehuacán, Pue., 2009.

Municipio	Localidad	NPC	Altitud (msnm)	Coordenadas geográficas	
				LN	LO
Ajalpan	Ajalpan*	13	1220	18° 22' 44"	97° 15' 34"
Altepexi	Altepexi	10	1243	18° 22' 11"	97° 17' 55"
San Gabriel Chilac	San Gabriel Chilac*	7	1270	18° 19' 56"	97° 20' 50"
San Gabriel Chilac	Colonia Vista Hermosa	1	1270	18° 20' 54"	97° 20' 17"
San José Miahuatlán	San José Miahuatlán	8	1123	18° 17' 25"	97° 17' 22"
San José Miahuatlán	San Pedro Tetitlán	2	1170	18° 15' 32"	97° 19' 22"
Tehuacán	San Diego Chalma	8	1463	18° 26' 26"	97° 21' 58"
Tehuacán	San Marcos Necoxtla	7	1420	18° 23' 49"	97° 21' 34"
Tehuacán	San Pablo Tepetzingo*	14	1400	18° 25' 12"	97° 27' 18"
Tehuacán	Santa Cruz Acapa	6	1260	18° 24' 17"	97° 19' 33"
Tehuacán	Santa María Coapan	2	1623	18° 25' 59"	97° 24' 11"
Zinacatepec	San Sebastián Zinacatepec	17	1140	18° 20' 06"	97° 14' 50"

NPC: número de poblaciones colectadas (95); LN: latitud norte; LO: longitud Oeste; *: sitios de establecimiento y evaluación de ensayos.

con la fórmula 180N-60P-00K, en dos aplicaciones: un tercio del N y todo el P en la primera labor y el resto del N en la segunda labor. Las fuentes fueron urea y fosfato diamónico. Los experimentos se condujeron bajo riego durante todo el ciclo de cultivo, de acuerdo con las prácticas culturales tradicionales de los productores locales. Las cosechas en cada sitio experimental se realizaron después de que todos los materiales evaluados alcanzaron la madurez fisiológica.

Diseño y unidad experimental

Los 100 genotipos se evaluaron bajo un diseño experimental látice simple 10 × 10 (Martínez, 1989; Cochran y Cox, 1957). La unidad experimental fue dos surcos, con 0.8 m de ancho y 5 m de longitud.

Variables registradas

Con base en la unidad experimental, en cada material se registró el número de días transcurridos desde la siembra hasta el 50 % de floración masculina (espigas en antesis) (DFM) y femenina (jilotes con estigmas expuestos) (DFF); la asincronía floral (ASFLO) se calculó como la diferencia de DFF y DFM. Antes de la cosecha se calificó el aspecto de planta (CPTA), de acame (CAC) y de mazorca (CMZ), en una escala de 1 a 5, asignando el menor valor al mejor aspecto y el mayor valor al peor. Se marcaron cinco plantas con competencia completa en cada unidad experimental, para medir, en cm, altura de planta (ALTPL) y altura al

nudo de inserción de la mazorca (ALTMZ) y se contó el número de hojas arriba de la mazorca (NHARRMZ). En la cosecha, se tomó una muestra de cinco mazorcas por unidad experimental para medir, en cm, la longitud (LONGMZ) y diámetro de mazorca (DIAMMZ) y el diámetro de olote (DOL) y se contó el número de hileras por mazorca (NHILERAS) y de granos por hilera (NGHILERAS). También se estimó el factor de desgrane (FDESG) al dividir el peso seco del grano de las cinco mazorcas entre el peso seco de las mismas. Adicionalmente se midieron, en cm, el largo (LARGR), grosor (GRGR) y ancho (ANGR) de grano; la profundidad de grano (PROFGR) se estimó al restar al DIAMMZ el DOL. Finalmente, se calculó el rendimiento de grano (RTOHA), expresado en t ha⁻¹, haciendo los ajustes correspondientes por el número de plantas cosechadas por parcela, el factor de desgrane y el contenido de humedad.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza individual de cada uno de los tres ensayos, para verificar la mayor eficiencia del modelo estadístico de látice sobre el de bloques completos al azar (datos no presentados), aplicando el procedimiento PROC LATTICE. Con base en el modelo de látice se realizó un análisis de varianza univariado combinado (Martínez, 1989), mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2004) y se calcularon las medias para cada variable cuando se encontraron diferencias estadísticas entre las poblaciones. Con los días a floración femenina se definió el patrón varietal (Muñoz, 2005; Gil, 2006). La

selección de las variedades sobresalientes se realizó siguiendo la metodología de selección en los nichos ecológicos (Muñoz, 1987) y aplicando los modelos 1 y 2 de resistencia a sequía propuestos por Muñoz (1996). Con el modelo 2 se definió el patrón varietal y la importancia relativa de los estratos o componentes de precocidad y de color de grano y el modelo 1 se aplicó para seleccionar, dentro de cada componente, a los genotipos con mayor expresión de rendimiento de grano y con menor interacción al cambiar de ambiente de evaluación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ambientes de producción

De acuerdo con los resultados de los análisis de suelo, las condiciones edáficas de los sitios donde se ensayaron los maíces son limitantes para este cultivo. Los niveles altos de pH registrados ocasionan estrés en las plantas, debido a que el maíz es sensible ante niveles altos de sales y de alcalinidad en los suelos (Farooq *et al.*, 2015) y en general, los cereales son más afectados por la alcalinidad en etapas vegetativas o en las etapas reproductivas iniciales (Arzani, 2008), por lo que la evaluación de los maíces bajo estas condiciones en el Valle de Tehuacán fue importante para seleccionar a las poblaciones con mayor adaptación.

Definición del patrón varietal

La riqueza de maíces locales en el Valle de Tehuacán es una muestra representativa de la gran diversidad de maíz existente en México (Kato *et al.*, 2009), la cual se refleja en el patrón varietal de los maíces locales. Muñoz (1996) señala que el patrón varietal de una especie en un nicho ecológico es el conjunto de poblaciones con el que cuentan los productores para hacer frente a las condiciones ambientales de su región. En este estudio se observó que el 60 % de los maíces locales fueron de grano blanco, 35.8 % fueron de color azul y 4.2 % de color rojo; en otras regiones productoras de maíz en el estado de Puebla se han encontrado resultados similares (López *et al.*, 1996; Gil *et al.*, 2004; Hortelano *et al.*, 2012; López-Morales *et al.*, 2014), predominando los maíces de grano de color blanco, debido a la preferencia por este color en el mercado, por lo que es necesario y urgente revalorar los maíces pigmentados para su correcta conservación y aprovechamiento, tanto *in situ* como *ex situ*. Llama la atención que no se encontraron poblaciones nativas con color de grano amarillo, por lo que será necesario llevar a cabo una nueva colecta de germoplasma enfocada a captar muestras de este tipo de maíces.

La floración femenina de las poblaciones locales presentó una variación de 72 a 96 días (Figura 1), encontrándose

poblaciones locales precoces (94.7 %) y ultraprecoces (5.3 %), de acuerdo con la clasificación de niveles de precocidad propuesta por Gil *et al.* (2004) y retomada por López-Morales *et al.* (2014). Un testigo comercial (AS900) y dos poblaciones nativas de grano rojo, una de grano blanco y una de grano azul se ubicaron dentro del estrato ultraprecoz, mientras que los tres testigos raciales (Bolita, Celaya y Pepitilla) y uno comercial (AS7573) fueron precoces. Al relacionar al color del grano con los dos niveles de precocidad (Figura 1) se encontró que dentro del estrato ultraprecoz sólo uno de los maíces nativos fue de grano blanco y cuatro fueron de grano pigmentado; esta relación de precocidad y grano pigmentado ya ha sido reportada en otros estudios con maíces nativos (López y Muñoz, 1984; Cervantes y Mejía, 1984; López *et al.*, 1996; Herrera *et al.*, 2004). En el estrato precoz, 56 poblaciones fueron de grano blanco (62.2 %) y 34 de grano pigmentado: 32 azules (35.5 %) y dos rojos (2.2 %).

En la Figura 1 se aprecia la relación entre el rendimiento de grano, la precocidad y el color de grano de los maíces locales, observándose que los maíces ultraprecoces (con menos de 82 días a floración femenina) presentaron los rendimientos más bajos, aunque los testigos raciales y comerciales fueron los de menor rendimiento. Barrales *et al.* (1984), López y Muñoz (1984) y López *et al.* (1996) ya habían señalado este tipo de relaciones entre los maíces nativos del altiplano de México.

Al realizar el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticas entre poblaciones en el 85 % de las variables, mientras que las diferencias estadísticas entre localidades se encontraron en el 90 % de las variables y la interacción Población × Localidad resultó significativa para el 60 % de las variables (Cuadro 2). Estos resultados demuestran la existencia de variación para rendimiento y características agronómicas entre las poblaciones evaluadas, como ya ha sido establecido por otros autores (Hortelano *et al.*, 2008; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Hortelano *et al.*, 2012; Alvarado-Beltrán *et al.*, 2019), siendo la variación un requisito indispensable para llevar a cabo un programa de mejoramiento genético (Márquez, 1988; Falconer y MacKay, 1996; Hallauer *et al.*, 2010). También es de resaltar la importancia del ambiente y de la interacción del genotipo por el ambiente en la expresión de las características de rendimiento y de interés agronómico en maíz.

Selección de las variedades sobresalientes

Las variedades sobresalientes se graficaron por su rendimiento promedio en cada localidad (Figura 2), para seleccionar con base en una menor interacción de las poblaciones con los ambientes de prueba (Muñoz, 1996),

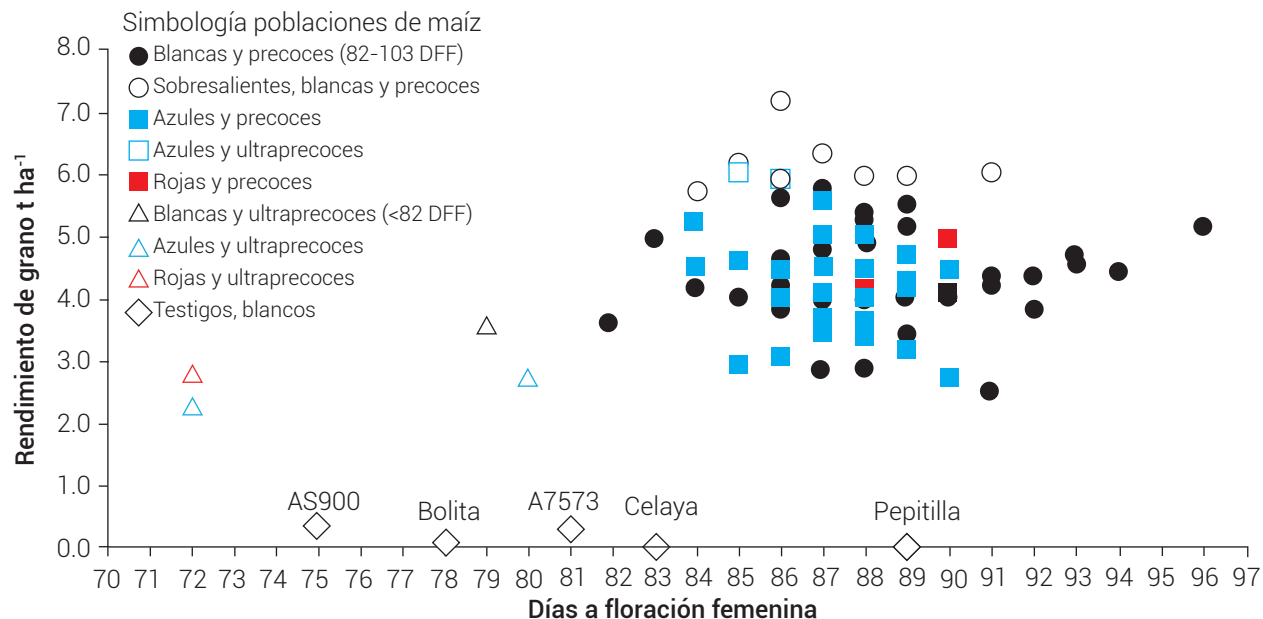


Figura 1. Relación de rendimiento de grano con la precocidad y color de grano de maíces locales en el Valle de Tehuacán, Pue., 2009.

observándose la superioridad en rendimiento de grano de las poblaciones locales sobre el testigo comercial con mejor comportamiento (A7573), lo cual denota la mejor adaptación de las poblaciones locales a las condiciones de clima y suelo en la región de estudio. Diversas investigaciones (Gil *et al.*, 2004; Muñoz, 2005; Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010) reportan que en los nichos ecológicos las variedades locales o nativas de maíz igualan e incluso superan a las variedades mejoradas introducidas.

De acuerdo con la Figura 2, los rendimientos de grano de las 10 poblaciones locales sobresalientes rebasaron las 4.0 t ha⁻¹, superando el rendimiento promedio estatal general reportado para siembras de temporal y de riego, que es de 1.350 t ha⁻¹ (SIAP, 2018); en este caso los experimentos se condujeron bajo condiciones de riego. Entre las 10 mejores poblaciones locales, con base en rendimiento de grano, se encontraron dos de grano azul (CP585A y CP581A) y el resto de grano blanco (Figura 2), lo que demuestra que dentro de los componentes del patrón varietal, con base en color del grano, existen poblaciones con rendimiento sobresaliente, aunque todas ellas pertenecen al estrato precoz; las poblaciones ultraprecoces y de color de grano rojo fueron de menor rendimiento. La relación inversa existente entre precocidad y rendimiento puede ser equilibrada con una mayor cantidad de plantas por unidad de superficie para las poblaciones ultraprecoces.

La selección por rendimiento, bajo las condiciones ambientales del Valle de Tehuacán, puede permitir el

mejoramiento de ésta y otras características de carácter poligénico presentes en las poblaciones locales de maíz en la región, como ha sido establecido por otros autores (Hallauer *et al.*, 2010; Ali *et al.*, 2015).

La Figura 2 muestra que las 10 poblaciones sobresalientes están por encima del rendimiento promedio del conjunto de poblaciones evaluadas y que el mejor híbrido comercial no alcanzó a igualar el rendimiento promedio por experimento. Sobresalen en la Figura 2 la población CP605B por su rendimiento y por su comportamiento sobresaliente en los tres ambientes de prueba, y la población CP573B por su mejor rendimiento promedio y su poca interacción con los ambientes de prueba, aunque tuvo una reducción más marcada en su rendimiento en la localidad menos favorable. Ambas poblaciones son de color de grano blanco.

De manera general, los maíces de grano blanco suelen ser de mayor rendimiento que los maíces de grano pigmentado, aunque es posible encontrar dentro del patrón varietal del Valle de Tehuacán maíces con alto rendimiento y buenas características agronómicas con diferente color de grano. Los maíces locales demostraron su mejor comportamiento en rendimiento de grano y en características agronómicas bajo las condiciones limitantes de los suelos, lo cual sugiere continuar con estudios sobre los mecanismos de adaptación de estas poblaciones ante la alcalinidad, que es uno de las mayores limitantes abióticas que causan estrés y reducen la productividad de los cultivos en el mundo (Arzani, 2008).

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza combinado a través de localidades en la evaluación de maíces locales en el Valle de Tehuacán, Pue., 2009.

Variable	Cuadros medios			R cuadrada	C.V.	Promedio
	Población	Localidad	Población×Localidad			
DFM	83.42 **	772.29 **	9.39 ns	0.88	3.6	81.32
DFF	82.39 **	298.62 **	8.63 ns	0.89	3.2	86.74
ASFLOR	7.72 *	211.53 **	5.35 ns	0.70	41.1	5.41
ALTPL	6142.21 **	103,520.25 **	518.65 ns	0.91	7.7	286.94
ALTMZ	4907.45 **	51,921.66 **	377.07 ns	0.91	10.7	177.01
NHARRMZ	0.41 **	10.50 **	0.11 ns	0.79	8.0	4.57
CPTA	2.28 **	0.73 ns	0.40 ns	0.84	27.1	2.11
CAC	0.54 *	22.60 **	0.40 ns	0.71	37.9	1.63
CMZ	1.01 **	8.15 **	0.40 **	0.79	19.6	2.72
LONGMZ	6.23 ns	1.60 ns	5.09 **	0.78	11.8	13.69
DIAMMZ	0.53 **	3.81 **	0.27 **	0.85	6.9	5.14
DOL	0.28 **	0.92 **	0.13 **	0.83	8.7	3.02
NHILERAS	7.75 **	9.38 **	3.28 **	0.84	9.0	14.27
PROMGRHIL	38.92 ns	164.35 **	29.54 **	0.80	12.9	30.18
FDESG	0.01 ns	0.01 *	0.01 **	0.81	5.8	0.83
LARGR	0.03 **	0.05 **	0.02 **	0.82	7.3	1.34
GRGR	0.00 **	0.01 **	0.00 **	0.74	8.0	0.38
ANGR	0.01 **	0.02 *	0.01 **	0.76	6.3	0.95
PROFGR	0.19 **	1.57 **	0.12 **	0.79	12.4	2.12
RTOHA	8.57 **	41.53 **	2.89 *	0.79	34.8	4220.58

DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; ASFLOR: asincronía floral; ALTPL: altura de planta; ALTMZ: altura al nudo de inserción de la mazorca; NHARRMZ: número de hojas arriba de la mazorca; CPTA: aspecto de planta; CAC: aspecto de acame; CMZ: aspecto de mazorca; LONGMZ: longitud de mazorca; DIAMMZ: diámetro de mazorca; DOL: diámetro de olote; NHILERAS: número de hileras por mazorca; NHILERAS: número de granos por hilera; FDESG: factor de desgrane; LARGR: largo de grano; GRGR: grosor de grano; ANGR: ancho de grano; PROFGR: profundidad de grano; RTOHA: rendimiento de grano; C.V: coeficiente de variación. * : $p \leq 0.05$; ** : $p \leq 0.01$; ns : no significativo.

CONCLUSIONES

Se identificó una amplia variación en rendimiento y características fenológicas y agronómicas entre las poblaciones locales de maíz en el Valle de Tehuacán, Puebla; la variación también está relacionada con la coloración del grano, dominando los maíces de grano blanco, pero con importancia también de los de grano pigmentado, principalmente azules. Las poblaciones locales sobresalientes superaron ampliamente en rendimiento de grano a los híbridos introducidos y las 10 variedades sobresalientes por rendimiento de grano y características agronómicas fueron CP573B, CP605B, CP533B, CP540B, CP595B, CP585A, CP599B, CP598B, CP581A y CP594B, las cuales constituirán la base genética para iniciar un programa de mejoramiento genético local en el Valle de Tehuacán, Puebla.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Colegio de Postgraduados y a los Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno del estado de Puebla, por el financiamiento del proyecto PUE-2007-01-76993 "Conservación de la diversidad genética y mejoramiento genético de poblaciones locales de maíz (*Zea mays* L.) en las principales regiones productoras del estado de Puebla".

Un sincero y eterno agradecimiento al Dr. Abel Muñoz Orozco (qepd), por sus enseñanzas y apoyo en la formación académica de los autores.

BIBLIOGRAFIA

Ali F., N. Kanwal, M. Ahsan, Q. Ali and N. K. Niazi (2015) Crop improvement through conventional and non-conventional breeding approaches for grain yield and quality traits in *Zea mays*. *Life*

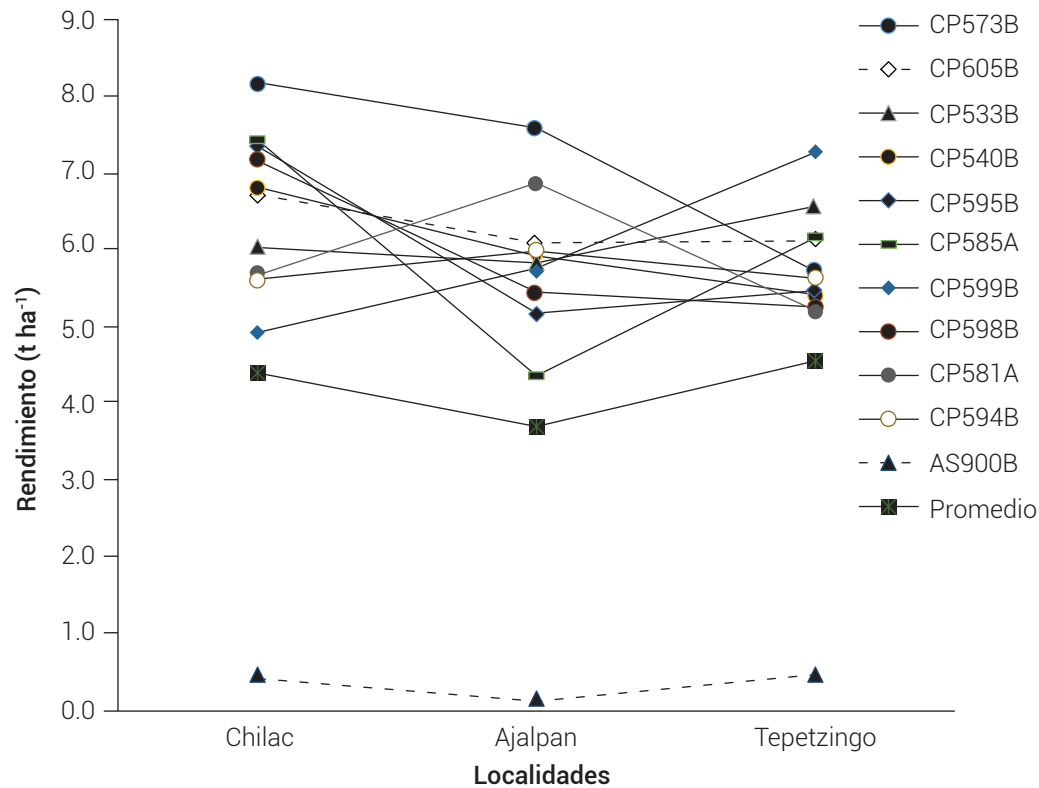


Figura 2. Comportamiento de las variedades locales de maíz sobresalientes por rendimiento de grano en la región de Tehuacán, Puebla, 2009.

Science Journal 12: 38-50, https://pdfs.semanticscholar.org/d85c/cf73b8a674180e622df74ae4193c38e05e25.pdf?_ga=2.111378372.179339824.1583371650-904245032.1583371650

- Alvarado-Beltrán G., H. López-Sánchez, A. Santacruz-Varela, A. Muñoz-Orozco, E. Valadez-Moctezuma, M. A. Gutiérrez-Espinosa, ... y O. R. Taboada-Gaytán (2019) Morphological variability of native maize (*Zea mays* L.) of the west highland of Puebla and east highland of Tlaxcala, Mexico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de CUYO* 51: 217-234, <http://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCFA/article/view/2691>
- Ángeles-Gaspar E., E. Ortiz-Torres, P. A. López y G. López-Romero (2010) Caracterización y rendimiento de maíces nativos de Molcaxac, Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 287-296, <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/33-4/2a.pdf>
- Arzani A. (2008) Improving salinity tolerance in crop plants: a biotechnological view. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 44:373-383, <https://doi.org/10.1007/s11627-008-9157-7>
- Barrales D. S., A. Muñoz O. y D. R. Sotres (1984) Relaciones termoplumiométricas en familias de maíz bajo condiciones de temporal. *Agrociencia* 58:127-139.
- Cervantes S. T. y H. Mejía A (1984) Maíces nativos del Plan Puebla: recolección de plasma germinal y evaluación del grupo tardío. *Revista Chapingo* 9: 64-71.
- Cochran W. G. and G. M. Cox (1957) *Experimental Designs*. Second Edition. Wiley Classics Library Edition. USA. 617 p.
- Contreras-Molina O., A. Gil-Muñoz, P. A. López, D. Reyes-López y J. de D. Guerrero-Rodríguez (2016) Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Esp. 17: 3633-3647, <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149506019.pdf>
- Duvick D. N. (2002) Theory, empiricism and intuition in professional plant breeding. In: Cleveland D. A. and D. Soleri (eds). *Farmers, scientists, and plant breeding: integrating knowledge and practice*. CAB International, Wallingford, UK. pp. 189-212.
- Falconer R. S. and T. F. C. MacKay (1996) *Introduction to Quantitative*

Genetics. Longman, Essex, England. 480 p.

- Farooq M., M. Hussain, A. Wakeel and K. H. M. Siddique (2015) Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. *A review. Agronomy for Sustainable Development* 35: 461-481, <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0287-0>
- Flores-Pérez L., P. A. López, A. Gil-Muñoz, A. Santacruz-Varela y J. L. Chávez-Servia (2015) Variación intra-racial de maíces nativos del altiplano de Puebla, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de CUYO* 47: 1-17, <http://revista.fca.uncu.edu.ar/images/stories/pdfs/2015-01/L%C3%B3pez.pdf>
- García E. (1981) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. 246 p.
- Gil M. A. (2006) *Introducción al Fitomejoramiento en Cultivos Anuales*. Colegio de Postgraduados Campus Puebla y Altres Costa-Amic. Cholula, Puebla, México. 82 p.
- Gil M. A., P. A. López, A. Muñoz O. e H. López S. (2004) Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el Estado de Puebla, México: diversidad y utilización. In: Chávez-Servia J. L., J. Tuxilly y D. I. Jarvis (Eds.) *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. pp. 18-25. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Manejo_de_la_diversidad_de_los_cultivos_en_los_agroecosistemas_tradicionales_1068.pdf
- Hallauer A. R., M. J. Carena and J. B. Miranda Filho (2010) *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London. 663 p.
- Herrera C. B. E., F. Castillo G., J. J. Sánchez G., J. M. Hernández C., R. A. Ortega P. y M. M. Goodman (2004) Diversidad del maíz Chalqueño. *Agrociencia* 38: 191-206, <https://www.colpos.mx/agrociencia/Bimestral/2004/mar-abr/art-7.pdf>
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., H. López S., P. A. López y S. Miranda C. (2012) Diversidad fenotípica de maíces nativos del Altiplano Centro-Oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 97-109,

- <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.2.97>
- Hortelano S. R. R., A. Gil M., A. Santacruz V., S. Miranda C. y L. Córdova T. (2008)** Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. *Agricultura Técnica en México* 34: 189-200, <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n2/v34n2a6.pdf>
- INAFED, Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal y Gobierno del Estado de Puebla (2018)** Enciclopedia de los estados de México. Los municipios del estado de Puebla. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/>. (Septiembre 2018).
- Kato T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos y R. A. Bye (2009)** Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.
- López P. A., L. Villarreal R., A. Gil M., C. Ramírez H., J. A. Hernández G., S. Vargas L., ... y O. R. Taboada G. (2011)** Diversidad de los recursos genéticos. *In: Handall S. A., B. Cantú M., O. A. Villarreal E. B., P. A. López, L. López R., A. Cruz A., F. Camacho R. (Eds.). La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado.* México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. pp. 195-242. <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/BiodiversidadenPuebla.pdf>
- López P. A., H. López S. y A. Muñoz O. (1996)** Selección familiar en maíces criollos del Valle de Puebla. *In: G. O. Edmeades, M. Bänzinger, H. R. Mickelson and C. B. Peña-Valdivia (Eds) Proceedings of a Symposium: Developing Drought and Low-Nitrogen Tolerant Maize.* CIMMYT, March 25-29. El Batán, Texcoco, México. pp. 433-437, <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/747/64620.pdf>
- López-Morales F., O. R. Taboada-Gaytán, A. Gil-Muñoz, P. A. López y D. Reyes-López (2014)** Morphological diversity of native maize in the humid tropics of Puebla, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17: 19-31, <http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1601/852>
- López H. A. y A. Muñoz O. (1984)** Relación de la coloración del grano con la precocidad y la producción en maíces de valles altos. *Revista Chapingo* 43: 31-37.
- Márquez S. F. (1988)** Genotecnología Vegetal. Tomo II. Modelos, Teoría y Resultados. AGT Editor. México D.F. 665 p.
- Martínez G. A. (1989)** Manual de Diseño y Análisis de los Lácteos. Monografías y Manuales en Estadística y Cómputo. Vol. 8, Núm. 3. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 71 p.
- Mastretta-Yanes A., M. R. Bellon, F. Acevedo, C. Burgeff, D. Piñero y J. Sarukhán (2019)** Un programa para México de conservación y uso de la diversidad genética de las plantas domesticadas y sus parientes silvestres. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42: 321-334, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.321-334>
- McNeish R. S. (1964)** Ancient mesoamerican civilization. *Science* 143: 531-537. <https://science.sciencemag.org/content/143/3606/531>
- Muñoz O. A. (2005)** Centli-Maíz. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico, Glosario Centli-Maíz. Segunda Edición. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 210 p.
- Muñoz O. A. (1996)** Model 2 to Select for Drought Resistance. *In: Edmeades G. O., M. Bänzinger, H. R. Mickelson and C. B. Peña-Valdivia (Eds.) Proceedings of a Symposium: Developing Drought- and Low N- Tolerant Maize.* CIMMYT, March 25-29. El Batán, Texcoco, México. pp. 541-543. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/747/64620.pdf>
- Muñoz O. A. (1987)** Resistencia a factores adversos y mejoramiento de los patrones etnofitogenéticos de la Mixteca. *In: Muñoz O. A. y B. Dimas Ch. (Comps) Memoria del Seminario "Cómo aumentar la producción agropecuaria y forestal en la región Mixteca Oaxaqueña".* Tomo II. Tiltepec, Oaxaca, México. pp. 537-548.
- Muñoz-Tlahuiz F., J. de D. Guerrero-Rodríguez, P. A. López, A. Gil-Muñoz, H. López-Sánchez, E. Ortiz-Torres, ... y M. Valadez-Ramírez (2013)** Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4: 515-530, <file:///3205-4497-1-PB.pdf>
- Ortiz-Torres E, P. A. López, A. Gil-Muñoz, J. de D. Guerrero-Rodríguez, H. López-Sánchez, O. R. Taboada-Gaytán, ... y M. Valadez-Ramírez (2013)** Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 225-238, <https://r.rchsh.2012.02.006.pdf>
- SAS Institute Inc. (2004)** SAS User's Guide Statistics. Release 9.1. Edition. SAS Institute, Inc. Cary, North Carolina. USA. 5121 p.
- SIAP, Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (2018)** Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (Agosto 2018).