

## Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México\*

### Morphological characterization of native maize of North Eastern Mountain range of Puebla, Mexico

Obdulia Contreras-Molina<sup>1</sup>, Abel Gil-Muñoz<sup>1§</sup>, Pedro Antonio López<sup>1</sup>, Delfino Reyes-López<sup>2</sup> y Juan de Dios Guerrero-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados- Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla, Núm. 205. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. C. P. 72760. Tel: 01(222)285-1442 (con\_duly@yahoo.com.mx; palopez@colpos.mx; grjuan2000mx@yahoo.com). <sup>2</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla- Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Av. Universidad s/n, Junta Auxiliar de San Juan Acateno. Teziutlán, Puebla. C. P. 73695. Tel: 01(231)312-2933 (delfino\_reyes2001@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: gila@colpos.mx.

#### Resumen

En México, los estudios de diversidad morfológica de maíces nativos a nivel micro-regional han cobrado importancia recientemente. No obstante, aún existen regiones poco estudiadas, como la Sierra Nororiental en Puebla. Por ello, durante el año 2009, se hizo una investigación para determinar el nivel de diferenciación morfológica existente entre las poblaciones nativas de maíz ahí cultivadas y la relación de estas con las razas previamente reportadas. Así, se colectaron 76 muestras de maíz nativo, las cuales se ensayaron conjuntamente con tres testigos raciales ('Chalqueño', 'Cónico' y 'Tuxpeño') y dos variedades experimentales. La evaluación se condujo en dos localidades bajo un diseño látice simple 9\*9; se cuantificaron 38 variables, incluyendo atributos de planta, espiga y mazorca y caracteres fenológicos. Los análisis de varianza y multivariados revelaron la existencia de una amplia variabilidad morfológica, agrupable en seis conjuntos, diferenciados entre sí por precocidad y atributos de planta. Existió un conjunto de poblaciones nativas afines a las razas 'Chalqueño' y 'Cónico', pero también hubo otro grupo amplio de poblaciones con poca similitud hacia tales razas, sugiriendo la existencia de un proceso de diferenciación morfológica o de variantes raciales no reportadas previamente.

#### Abstract

In Mexico, studies of morphological diversity of native maize to micro-regional level have become important recently. However, there are still little studied regions, such as North Eastern Mountain range in Puebla. Therefore, in 2009, an investigation in southern Mountain range that was conducted to determine the existing level of morphological differentiation among populations of native corn grown there and keep the relationship with these races previously reported. Thus, 76 samples were collected native corn, which were tested along with three racial witnesses ('Chalqueño', 'Cónico' and 'Tuxpeño') and two experimental varieties. The evaluation was conducted in two locations under a simple lattice design 9\*9; 38 variables were measured, including attributes plant, stem and cob and phenological characters. The variance and multivariate analysis revealed the existence of a wide morphological variability, clusterable in six sets, basically differentiated from each other by precocity and plant attributes. There was a set of related to the races 'Chalqueño' and 'Conic' of native populations but there was also another large group of people with little similarity to such races, suggesting the existence of a process of morphological differentiation or racial variants not previously reported.

\* Recibido: julio de 2016  
Aceptado: octubre de 2016

**Palabras clave:** *Zea mays* L., diversidad genética, morfología, razas de maíz.

**Keywords:** *Zea mays* L., genetic diversity, maize races, morphology.

## Introducción

En México existe una amplia variabilidad en maíz. De acuerdo con Sánchez *et al.* (2000a), en el país hay aproximadamente 59 razas, las cuales representan cerca de 17% del total estimado en el continente americano (más de 300, según Sánchez *et al.*, 2000b). La diversidad de este cultivo también es perceptible a nivel de poblaciones dentro de una microrregión, como lo han evidenciado los trabajos de Muñoz (2003) y Gil *et al.* (2004) entre otros. El estudio de la diversidad del maíz a este nivel ha sido tema de interés en los últimos años; muestra de ello son las investigaciones de Herrera *et al.* (2004) en el oriente del estado de México; López-Romero *et al.* (2005), en Tehuantepec, Oax.; Mijangos-Cortés *et al.* (2006) en la Meseta Purépecha; González *et al.* (2006) en el Valle de Toluca o Diego-Flores *et al.* (2012) en la Mixteca Oaxaqueña. Ramos y Hernández (1972) sintetizaron la importancia de los estudios de variación morfológica en los maíces cultivados en la Mesa Central de México en los siguientes términos: a) representan un inventario preliminar de la variabilidad genética; b) son indicadores de los conjuntos genotípicos disponibles para los estudios de fitomejoramiento; c) permiten elucidar la dinámica del proceso de evolución bajo domesticación; y d) por la antigüedad del cultivo de maíz en la región.

Por su parte, Núñez-Colín y Escobedo-López (2015) indican que los trabajos de caracterización permiten, entre otros aspectos, precisar y cuantificar qué tan variable es un recurso fitogenético, aspecto clave para la gestión de programas de mejoramiento o de conservación *in situ* y *ex situ* de dicho recurso. En el estado de Puebla, los trabajos de caracterización han cubierto las principales regiones productoras de maíz en la entidad, como el Valle de Puebla (Hortelano *et al.*, 2008) y el Altiplano Centro-Oriente (Hortelano *et al.*, 2012), pero no han abarcado otras áreas que pueden ser interesantes en cuanto a diversidad, como la Sierra Nororiental. Esta región se ubica al norte y noreste del estado y agrupa a 28 municipios (INAFED y SEGOB, 2010) que son parte del área del Distrito de Desarrollo Rural de Teziutlán. Según la misma fuente, en la región se da la transición de los climas templados de la Sierra Norte a los cálidos del declive del Golfo.

## Introduction

In Mexico there is wide variability in corn. According to Sánchez *et al.* (2000a), the country has about 59 races, which represent about 17% of the estimated total in the American continent (more than 300, according to Sánchez *et al.*, 2000b). The diversity of this crop is also perceptible at the level of populations within a micro-region, as we have shown the work of Muñoz (2003) and Gil *et al.* (2004) among others. The study of maize diversity at this level has been a subject of interest in recent years; proof of this are the investigations of Herrera *et al.* (2004) in the eastern state of Mexico; López-Romero *et al.* (2005), in Tehuantepec, Oaxaca; Mijangos-Cortés *et al.* (2006) in the Purepecha Plateau; González *et al.* (2006) in the Toluca Valley or Diego-Flores *et al.* (2012) in the Oaxacan Mixteca. Ramos and Hernández (1972) synthesized the importance of studies of morphological variation in maize grown in the Central Bureau of Mexico in the following terms: a) represent a preliminary inventory of genetic variability; b) are indicators of genotypic sets available for plant breeding studies; c) allow elucidating the dynamics of evolution under domestication; and d) by the age of the maize crop in the region.

Meanwhile, Núñez-Colín and Escobedo-López (2015) indicate that characterization work permit, among other things, clarify and quantify how variable is plant genetic resource, a key look for management improvement programs for the conservation *in situ* and *ex situ* of that resource. In the state of Puebla, the characterization work has covered the major maize growing regions in the state, as the Valley of Puebla (Hortelano *et al.*, 2012) and the Plateau Central East (Hortelano *et al.*, 2012) but they have not covered other areas that can be interesting in terms of diversity, such as North Eastern Mountain range. This region is located north and northeast of the state and groups 28 municipalities (INAFED and SEGOB, 2010) which are part of the area of District Rural Development Teziutlán. According to the same source, in the transition region of temperate climates of the North Mountain range to the warm Gulf of decline it occurs.

En cuanto a producción de maíz, de acuerdo con cifras del SIAP (2014), entre los años 2004 y 2008, este Distrito concentró 9.8% (56 178 ha) de la superficie sembrada y aportó 8.27% (74 965 t) a la producción estatal. López-Olguín (1994) y Basurto *et al.* (2008) señalan que la economía de la región está basada en la agricultura tradicional y que en ella el maíz es el principal producto alimentario, cultivado tanto en milpas como en monocultivo y con el empleo exclusivo de semillas nativas. Esto último resalta la importancia de conducir un estudio de caracterización morfológica en la región.

En la literatura sólo existen dos reportes respecto a la variación de maíz presente en la Sierra Nororiental: el de Gil *et al.* (2004), quienes señalan que en 1997, en las microrregiones que denominaron ‘Ayotoxco’ y ‘Zaragoza’, se obtuvieron 198 y 194 accesiones, entre las que predominaron las de grano blanco (84 y 83%), seguidas por las amarillas (10 y 13%) y las de otros colores (6 y 4%), y en las que los estratos de precocidad identificados fueron el ultraprecoz en ‘Ayotoxco’ y el tardío (56%) e intermedio (44%) en ‘Zaragoza’, y el de López *et al.* (1998), quienes reportan que el rendimiento promedio de grano de los mejores criollos colectados en 1997 fue de 4775 kg ha<sup>-1</sup> en ‘Ayotoxco’ y de 4346 kg ha<sup>-1</sup> en ‘Zaragoza’.

A nivel de razas, del trabajo de Wellhausen *et al.* (1951) se infiere que en la región pueden localizarse las razas Arrocillo (en baja frecuencia), Cacahuacintle, Cónico y Chalqueño (en elevaciones mayores a 1500 msnm) y Tuxpeño (en las partes bajas). Dado que al momento no se han realizado investigaciones que permitan conocer el nivel de variabilidad morfológica presente entre los maíces nativos de la región sur de la Sierra Nororiental del estado de Puebla, ni la relación que guardan con las razas que se presume existen en la misma, fue que se propuso el presente trabajo. Su objetivo fue determinar el grado de diferenciación morfológica entre las poblaciones nativas de maíz cultivadas en la región sur de la Sierra Nororiental y precisar sus posibles relaciones con los tipos raciales reportados para la región.

## Materiales y métodos

Área del estudio: la investigación se centró en el área de clima templado, delimitada por las coordenadas geográficas 19° 36’ 24” y 20° 03’ 18” latitud norte y 97° 14’ 42” y 97° 35’ 42” longitud oeste e incluyó a siete municipios contiguos (Cuadro 1) que en conjunto concentran una extensión de 622.56 km<sup>2</sup>

As for maize production, according to figures from SIAP (2014), between 2004 and 2008, this District concentrated 9.8% (56 178 ha) of the area planted and contributed 8.27% (74 965 t) production state. López-Olguín (1994) and Basurto *et al.* (2008) point out that the economy of the region is based on traditional agriculture and that it corn is the main food product, both in cornfields cultivated as monoculture and the exclusive use of native seeds. The latter highlights the importance of conducting a study of morphological characterization in the region.

In the literature there are only two reports concerning the variation present in the corn Mountain range Northeast: the Gil *et al.* (2004), who point out that in 1997, in the micro-regions called ‘Ayotoxco’ and ‘Zaragoza’, obtained 198 and 194 accessions, including predominant white grain (84 and 83%), followed by yellow (10 and 13%) and other colors (6 and 4%), and in which the layers of earliness identified were the ultra premature in ‘Ayotoxco’ and late (56%) and intermediate (44%) ‘Zaragoza’, and López *et al.* (1998), who reported that the average grain yield of the best creole collected in 1997 was 4775 kg ha<sup>-1</sup> in ‘Ayotoxco’ and 4346 kg ha<sup>-1</sup> ‘Zaragoza’.

A level races, the work of Wellhausen *et al.* (1951) inferred that the region can will locate the Arrocillo races (low frequency), Cacahuacintle, Cónico and Chalqueño (at higher elevations to 1500 m) and Tuxpeño (in the lower parts). Because the time have not done research to determine the level of this morphological variability among native maize in the southern region of the Mountain range North Eastern state of Puebla, and how they relate to races presumed to exist in the same, was that the present work was proposed. Its aim was to determine the degree of morphological differentiation between native populations of maize grown in the southern Mountain Range Northeast region and define its possible relations with the racial types reported for the region.

## Materials and methods

Area of study: research focused on the area of temperate climate, bounded by geographical coordinates 19° 36’ 24” and 20° 03’ 18” north latitude and 97° 14’ 42” and 97° 35’ 42” west longitude and included seven contiguous municipalities (Table 1), which together account for an area of 622.56 km<sup>2</sup> (INAFED and SEGOB, 2010). Of this

(INAFED y SEGOB, 2010). De esta superficie, 44.5% se dedica a actividades del sector primario. De acuerdo con el SIAP (2014), en el área de estudio, entre los años 2004 y 2008, se sembraron en promedio 14 725 ha con maíz, cosechándose 11 101 ha, que generaron una producción de 18 105 t; el rendimiento promedio fue de 1.6 t ha<sup>-1</sup>

**Material genético:** durante 2008 se acopiaron muestras de maíz en diversas poblaciones de la región de estudio, principalmente en aquellas ubicadas a >1 900 msnm (climas templados), reuniendo así 76 muestras, provenientes de 30 localidades y siete municipios (Cuadro 1). Los 76 materiales se evaluaron conjuntamente con colectas tipo de las razas Cónico, Chalqueño y Tuxpeño (proporcionadas por el Banco de Germoplasma del CIMMYT) y dos poblaciones experimentales (sintético Zaragoza intermedio y sintético Zaragoza tardío).

area, 44.5% work in primary sector activities. According to the SIAP (2014) in the study area between 2004 and 2008, they were planted on average 14 725 ha with corn and harvested 11 101 ha, which generated a production of 18 105 t; the average yield was 1.6 t ha<sup>-1</sup>.

**Genetic material:** in 2008 corn samples were collected in different populations of the study region, mainly those located above 1 900 m asl (temperate climates) and collecting 76 samples from 30 locations and seven municipalities (Table 1). The 76 materials were jointly evaluated with collections type of races Conic, Chalqueño and Tuxpeño (provided by the Germplasm Bank CIMMYT) and two experimental populations (synthetic Zaragoza intermediate and synthetic Zaragoza late).

**Cuadro 1. Municipio, localidades de colecta y color de grano de las poblaciones nativas de maíz evaluadas. Sur de la Sierra Nororiental, Puebla, 2009.**

**Table 1. Municipality, locations and grain color collection of native maize populations evaluated. South North Eastern Mountain range, Puebla, 2009.**

Municipio	Localidades	Coordenadas mínimas <sup>†</sup>		Intervalo de altitud (m)	Color de grano			
		Latitud N	Longitud O		Bl	Am	Az	Ro
Atempan	7	19° 46' 49"	97° 25' 15"	1 940-2 260	9	5	2	1
Chignautla	6	19° 42' 40"	97° 23' 00"	1 980-2 380	9	3	2	1
Teteles	1	19° 52' 11"	97° 27' 08"	1 720		1	1	
Teziutlán	1	19° 49' 52"	97° 22' 06"	1 820	1	1		
Tlatlauquitepec	3	19° 41' 51"	97° 29' 12"	2 400-2 860	5	1	2	1
Xiutetelco	8	19° 41' 54"	97° 18' 57"	1 720-2 780	16	3		
Zaragoza	4	19° 42' 18"	97° 33' 04"	2 320-2 570	7	3	2	
Totales	30				47	17	9	3

<sup>†</sup>Corresponden a las coordenadas más bajas en las que se colectó en cada municipio. Datos tomados del Sistema de Consulta de Nombres Geográficos INEGI (2013). Bl= blanco; Am= amarillo; Az= azul; Ro= rojo.

**Evaluación experimental:** los 81 materiales se evaluaron bajo un diseño experimental látice simple 9\*9 (Cochran y Cox, 1990). La unidad experimental constó de dos surcos de cinco metros de largo y 0.8 m de ancho. La densidad de población fue de 55 mil plantas ha<sup>-1</sup>. Los experimentos se condujeron bajo condiciones de temporal. El manejo agronómico fue el seguido tradicionalmente por los agricultores, excepto por la dosis de fertilización, que fue la 150-60-00 (N-P-K), aplicando todo el fósforo y la tercera parte del nitrógeno en la siembra y el resto del nitrógeno en la segunda labor. Las fuentes empleadas fueron fosfato diamónico (18-46-00) y urea.

**Experimental evaluation:** the 81 materials were evaluated under a simple experimental design lattice 9\*9 (Cochran and Cox, 1990). The experimental unit consisted of two rows of five meters long and 0.80 m wide. The population density was 55 000 plants ha<sup>-1</sup>. The experiments were conducted under rainfed conditions. Agronomic management was traditionally followed by farmers, except for fertilization, which was 150-60-00 (NPK), applying all match and the third of the nitrogen at planting and the rest of the nitrogen in the second work. The sources used were diammonium phosphate (18-46-00) and urea.

Ubicación de los experimentos: Los trabajos se establecieron en las localidades de Talzintán, municipio de Chignautla (19° 47' 54" latitud norte y 97° 24' 57" longitud oeste y 2 198 msnm) y las Trancas, municipio de Zaragoza (19° 43' 50" latitud norte y 97° 34' 32" longitud oeste y 2 397 msnm) (INEGI, 1987). Las fechas de siembra respectivas fueron el 21 de marzo y el 18 de abril del 2009.

VARIABLES REGISTRADAS: con base en los trabajos de López-Romero *et al.* (2005) y Hortelano *et al.* (2008), en cada unidad experimental se registraron los días al 50% de floración masculina y femenina y la asincronía floral (floración femenina menos masculina). Adicionalmente, en cada parcela se marcaron cinco plantas con competencia completa, para medir altura de planta y al nudo de inserción de la mazorca (ambas en centímetros) y número de hojas abajo y arriba de la mazorca. Con los dos últimos pares de variables se calculó el índice de altura de mazorca entre altura de planta y el de hojas abajo entre hojas arriba de la mazorca. Concluida la floración, se colectaron las espigas de las cinco plantas marcadas, y se midió, en centímetros, la longitud total de la espiga, del segmento ramificado, de la rama central y la longitud máxima alcanzada por las ramas al formar un haz con las mismas. También se mensuró la longitud del pedúnculo, se contó el número de ramas primarias y se calcularon cinco índices con los datos de espiga y de altura de planta.

A la cosecha se colectaron las mazorcas de las cinco plantas marcadas, para tomar los datos de: peso de pedúnculo (g), longitud de mazorca (cm), diámetro de mazorca y olote (cm), número de hileras, y número de granos por hilera (contabilizados en dos hileras opuestas). De cada mazorca se eligieron 10 granos de la parte central, en los que se determinó la longitud, ancho y grosor (mm). Para obtener los valores promedio por grano, las cantidades anteriores se dividieron por diez, y con los datos resultantes se calculó el volumen promedio de grano ( $\text{cm}^3$ ), y las relaciones longitud de grano/grosor de grano, grosor de grano/ancho de grano y longitud de grano/ancho de grano. Otras dos variables también calculadas fueron prolificidad (mazorcas cosechadas/plantas cosechadas) y el índice altura de mazorca entre diámetro de mazorca.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO: se partió de un análisis de varianza combinado (Martínez, 1989) para precisar en cuáles de las 38 variables medidas hubo diferencias estadísticas. Posteriormente, para definir el conjunto a emplear en los análisis multivariados, se revisaron los resultados del análisis

Location of the experiments: The works were established in the towns of Talzintán, municipality of Chignautla (19° 47' 54" north latitude and 97° 24' 57" west longitude and 2 198 meters) and the Trancas, municipality of Zaragoza (19° 43' 50" north latitude and 97° 34' 32" west longitude and 23 97 meters) (INEGI, 1987). Respective planting dates were March 21 and April 18, 2009.

VARIABLES RECORDED: Based on the work of López-Romero *et al.* (2005) and Hortelano *et al.* (2008), in each experimental unit they were recorded daily 50% of male and female flowering and silking (silking less masculine). Additionally, in each plot five floors with full competition were marked for measuring plant height and node insertion of the cob (both in centimeters) and number of leaves below and above the cob. With the last two pairs of variables was calculated index cob height between plant height and leaf down between leaves above the cob. After the flowering, cobs of the five marked plants were collected, and measured in centimeters, the total length of the pin, the branched segment of the central branch and the maximum length reached by the branches to form a beam with same. The peduncle length also measured, the number of primary branches was counted and five indices were calculated with data spike and plant height.

At harvest the cobs of the five marked plants were collected, to take the data: weight of peduncle (g), cob length (cm), diameter cobs and cobs (cm), number of rows and number of grains per row (counted in two opposite rows). The each cob were selected 10 grains from of the central part, where the length, width and thickness (mm) was determined. For the average values for grain, the above amounts were divided by ten, with the resulting data the average grain volume (in cubic centimeters) was calculated, and relationships grain length/thickness of grain thickness of grain/width grain and grain length/width grain. Two other variables were also calculated prolificacy (harvested cobs/harvested plants) and cob height index between cob diameters.

Statistical analysis: was based on a combined analysis of variance (Martínez, 1989) to specify which of the 38 variables measured there were statistical differences. Subsequently, to define the set to be used in multivariate analyzes, the results of analysis of variance were reviewed and were discarded all those variables in which there was no statistical significance for the source of variation 'populations', thus leaving 24 variables. With these latest simple correlation analysis was

de varianza y se descartaron todas aquellas variables en las que no hubo significancia estadística para la fuente de variación ‘poblaciones’, quedando así 24 variables. Con estas últimas se condujo un análisis de correlación simple, se examinó la matriz de correlaciones resultante y se retuvieron en primera instancia todas aquellas variables que no hubieran tenido correlación alguna con otra; posteriormente, de cada par que tuvo una correlación alta ( $r \geq |0.7|$ ) se escogió la más informativa, seleccionándose así nueve para los análisis posteriores. Con la matriz de promedios de los 81 materiales evaluados se condujo un análisis de conglomerados (Mohammadi y Prassana, 2003) empleando la matriz de distancias euclidianas.

El dendrograma respectivo se obtuvo por el método de agrupamiento de Ward. Adicionalmente, para precisar el grado de asociación entre la matriz de distancias euclidianas previamente generada y la de distancias geográficas obtenida a partir de los datos de altitud y latitud de cada material, se realizó una prueba de Mantel (Sokal y Rohlf, 1995) utilizando el programa GenAlex 6.5 (Peakall y Smouse, 2006, 2012). Para comparar los grupos identificados en el dendrograma, se condujo un análisis de varianza multivariado, el cual se acompañó de un análisis de varianza (Mijangos-Cortés *et al.*, 2006; Hortelano *et al.*, 2012); las medias de los grupos se compararon con la prueba de Tukey (0.05). Finalmente, para precisar las variables originales de mayor importancia, se practicó un análisis de componentes principales (Pla, 1986) y con los valores de los tres primeros componentes se generó una gráfica tridimensional en la cual se ubicaron las poblaciones y se identificaron los grupos definidos en el análisis de conglomerados. Para todos los análisis se empleó el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1 para Windows (SAS Institute, 2004).

## Resultados y discusión

Composición de la colecta: de acuerdo con los datos del Cuadro 1, en la región predominaron las muestras de grano blanco (62%), seguidas por las de amarillo (22%) y las de granos azules o rojos (16%); no hubo muestras de tipo cacahuacintle. Estas proporciones son similares a las reportadas por Gil *et al.* (2004) para otras áreas de altitud similar en la entidad, como el Valle de Puebla, y las microrregiones ‘Zaragoza’, ‘Zacatlán’, ‘Mazapiltepec’ y ‘Libres’, así como con las presentadas por Hortelano *et al.* (2012) para el altiplano centro-oriente de Puebla. De

conducted, resulting correlation matrix was examined and retained in the first instance all those variables that had not had any correlation with another; then each pair that had a high correlation ( $r \geq |0.7|$ ) was chosen the most informative and nine selected for further analysis. With the matrix of averages of the 81 evaluated materials cluster analysis (Mohammadi and Prassana, 2003) was conducted using the matrix of euclidean distances.

The respective dendrogram was obtained by the method of grouping Ward. Additionally, to clarify the degree of association between the matrix of Euclidean distances previously generated and geographic distances obtained from the data of altitude and latitude of each material, a Mantel test was performed (Sokal and Rohlf, 1995) using the GenAlex 6.5 program (Peakall and Smouse, 2006, 2012). To compare the groups identified in the dendrogram a multivariate analysis of variance, which was accompanied by an analysis of variance was conducted (Mijangos-Cortés *et al.*, 2006; Hortelano *et al.*, 2012); the means of the groups were compared with the Tukey test (0.05). Finally, to clarify the original variables most important, was performed a principal component analysis (Pla, 1986) and the values of the first three components a three-dimensional graph in which the populations were located and defined groups identified was generated in cluster analysis. For all analyzes was used the Statistical Analysis System (SAS) software, version 9.1 for Windows (SAS Institute, 2004).

## Results and discussion

Composition of the collection: According to the data in Table 1, in the region predominated the samples white grain (62%), followed by yellow (22%) and blue or red (16%) grains; there were no signs of cacahuacintle type. These proportions are similar to those reported by Gil *et al.* (2004) for other areas of similar altitude in the state, as the Valley of Puebla, and the micro-regions ‘Zaragoza’, ‘Zacatlán’, ‘Mazapiltepec’ and ‘Free’ as well as those submitted by Hortelano *et al.* (2012) for the central-eastern highlands of Puebla. According to Hernandez (1985), the persistence of different colorations is explained by the need for suitable materials for various ecological conditions as well as vary the diet or meet beliefs and traditions. The abundance of white grain stocks that are attributable to materials with improved grain yields, particularly in areas of greatest environmental potential (Muñoz, 2003).

acuerdo con Hernández (1985), la persistencia de diferentes coloraciones se explica por la necesidad de contar con materiales aptos para diversas condiciones ecológicas, así como variar la dieta, creencias y tradiciones. La abundancia de las poblaciones de grano blanco es atribuible a que son materiales con mejores rendimientos de grano en áreas de mayor potencial ambiental (Muñoz, 2003).

Combined analysis of variance: the analysis for the 38 variables indicated that there was for the source of variation 'localities' significant differences 68% of the variables. In the case of 'populations' were found significant differences in 24 of the 38 variables (those set forth in Table 2). Finally, for interaction 'population's\*localities', there were only significant in 16 of the 38 variables evaluated.

**Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza combinado y coeficientes de variación de las variables evaluadas. Sur de la Sierra Nororiental, Puebla. 2009.**

**Table 2. Mean squares combined analysis of variance and coefficients of variation of the variables evaluated. South North Eastern Mountain range, Puebla. 2009.**

Variables <sup>††</sup>	Cuadros medios				CV(%)
	Locs	Pobls	Locs*Pobls	Error	
Días a floración masculina (días)	57.627 ns	984.087**	73.352**	40.125	4.68
Días a floración femenina (días)	1952.095**	897.48**	197.555**	73.542	5.84
Asincronía floral (días)	2680.521**	50.324**	60.289**	31.034	48.33
Altura de planta (cm)	269643.184**	3659.991**	1089.096**	625.311	11.04
Altura de mazorca (cm)	91158.544**	2372.166**	632.739 ns	497.884	15.79
Altura de mazorca/altura de planta	0.015*	0.006**	0.003*	0.002	7.06
Hojas abajo de la mazorca (núm.)	373.059**	4.151**	1.359 ns	1.094	16.97
Hojas arriba de la mazorca (núm.)	0.415 ns	1.52**	0.556**	0.331	11.14
Hojas abajo/hojas arriba	12.694**	0.07*	0.449*	0.032	15.11
Longitud total parte ramificada (cm)	3058.2**	1426.007**	313.462 ns	258.097	18.27
Longitud de la rama central (cm)	99993.329**	2087.055*	1373.979**	799.76	8.39
Longitud total cerrando ramas (cm)	83727.649**	1808.346**	1048.603**	647.661	10.06
Peso del pedúnculo (g)	8576.595**	478.717**	208.474 ns	219.556	72.12
Total de ramas (núm.)	0.732 ns	21.939**	7.851 ns	6.012	24.85
Longitud total parte ramificada/longitud total de la espiga	0.063**	0.007**	0.001 ns	0.001	18.37
Altura de planta/longitud total de la espiga	0.029**	0.015**	0.005 ns	0.004	4.17
(Altura de planta + longitud total de la espiga) /longitud total de la espiga	0.029**	0.015**	0.005 ns	0.004	12.6
Longitud de mazorca (cm)	65.369**	6.869**	3.423*	2.38	15.12
Diámetro del olote (cm)	1.739**	0.367**	0.187 ns	0.23	22.14
Hileras por mazorca (núm.)	10.919*	8.943**	2.757 ns	2.343	9.58
Longitud de grano (cm)	0.018 ns	0.041**	0.012**	0.005	5.88
Longitud de grano/ancho de grano	0.432**	0.127**	0.055 ns	0.042	11.63
Altura de mazorca/diámetro de mazorca	4612.487**	144.657**	32.873 ns	27.76	14.97
Mazorcas totales/plantas totales	19.799**	0.158**	0.367 ns	0.042	24.13

Locs= localidades; Pobls= poblaciones; Locs\*Pobls= localidades\*poblaciones; \* = significancia al 5%; \*\*= significancia al 1%; ns= no significativo; CV= coeficiente de variación. <sup>††</sup>Grados de libertad para localidades, poblaciones, poblaciones\*localidades y error: 1, 80, 80 y 160, respectivamente.

Análisis de varianza combinado: el análisis para las 38 variables indicó que para la fuente de variación ‘localidades’ hubo diferencias significativas 68% de las variables. Para el caso de ‘poblaciones’ se encontraron diferencias significativas en 24 de las 38 variables (las consignadas en el Cuadro 2). Finalmente, para la interacción ‘poblaciones\*localidades’, sólo hubo significancia en 16 de las 38 variables evaluadas. Como lo mencionan Hortelano *et al.* (2008), la existencia de diferencias estadísticas para la fuente ‘poblaciones’ indica la presencia de variabilidad genética para los atributos estudiados, expresada como diversidad fenotípica. Las diferencias detectadas para ‘localidades’ evidencian que el ambiente influyó en el nivel de variación de algunos caracteres, aunque el que la interacción haya resultado no significativa para 22 atributos indica que para estos el efecto ambiental fue constante a través de las poblaciones, siendo esto último un aspecto favorable, pues se ha recomendado que en trabajos de caracterización se empleen variables sujetas lo menos posible a efectos ambientales (Sánchez *et al.*, 1993).

Análisis de conglomerados: con los nueve caracteres seleccionados para los análisis multivariados (Cuadro 3) se construyó un dendrograma (Figura 1). En éste, a una altura de corte de 0.5 unidades, se identificaron seis grandes grupos. Ni el color de grano ni el lugar de colecta fueron factores determinantes en el patrón de agrupamiento, a diferencia de lo encontrado por López *et al.* (2005), Hortelano *et al.* (2008) o López-Morales *et al.* (2014) en otras áreas de Puebla. En este sentido, conviene señalar que al comparar las matrices de distancias euclidianas y de distancias geográficas mediante la prueba de Mantel, se obtuvo una correlación positiva y significativa ( $r = 0.24$ ;  $p < 0.05$ ), aunque menor a la obtenida por Gouesnard *et al.* (1998) en un estudio similar en Francia ( $r = 0.7$ ), o la encontrada por Labate *et al.* (2003) empleando distancias genéticas derivadas de un análisis de microsatélites ( $r = 0.54$ ). Lo anterior sugiere una ligera tendencia a que las poblaciones estudiadas sean más distintas morfológicamente a medida que aumenta su distancia geográfica.

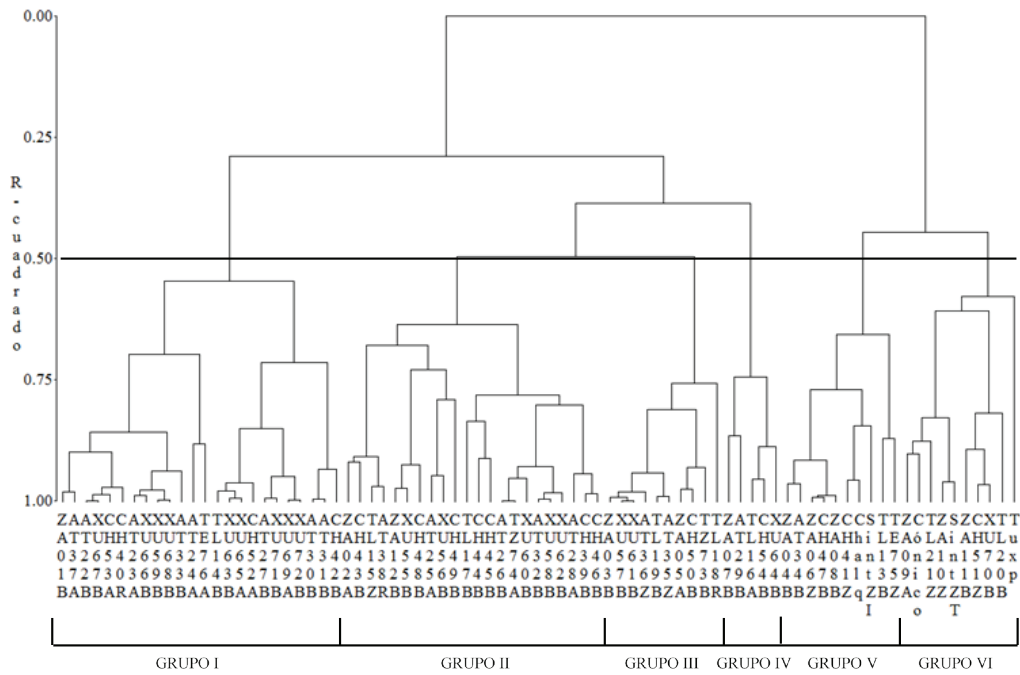
El grupo I quedó formado por 24 poblaciones nativas, predominantemente de grano blanco (16), más siete de grano amarillo y una de color rojo. Al grupo II lo integraron 22 materiales (todos nativos): 17 blancos, tres amarillos, un azul y un rojo. El grupo III quedó constituido por 10 poblaciones de la región, seis de grano blanco y cuatro pigmentadas (una amarilla, dos azules y una roja). El grupo IV se integró con sólo cinco poblaciones, cuatro de grano blanco y una de grano

As reported Hortelano *et al.* (2008), the existence of statistical differences for the source ‘populations’ indicates the presence of genetic variability for attributes studied, expressed as phenotypic diversity. The differences detected for ‘locations’ whereby the atmosphere influence the level of variation of some characters, although the interaction has resulted nonsignificant for 22 attributes indicates that for these environmental effect was consistent across populations, this being finally a favorable aspect because it has been recommended that characterization work subject variables are used as little as possible environmental effects (Sánchez *et al.*, 1993).

Cluster Analysis: with nine characters selected for the multivariate analyzes (Table 3) a dendrogram was constructed (Figure 1). Here, at a height of cut of 0.5 units, six major groups were identified. Neither grain of color no place of collection were determining factors in the grouping pattern, unlike what was found by López *et al.* (2005), Hortelano *et al.* (2008) and López-Morales *et al.* (2014) in other areas of Puebla. In this regard, it should be noted that when comparing matrices Euclidean distances and geographical distances through Mantel test, a positive and significant correlation ( $r = 0.24$ ;  $p < 0.05$ ), was obtained, although lower than that obtained by Gouesnard *et al.* (1998) in a similar study in France ( $r = 0.7$ ), or found by Labate *et al.* (2003) using genetic distances derived from a microsatellite analysis ( $r = 0.54$ ). This suggests a slight tendency for the populations studied more different morphologically as geographical distance increases.

The group I was composed of 24 native populations, predominantly white grain (16), plus seven yellow grain and red. The group II was composed 22 materials (mother tongue): 17 whites, three yellow, one blue and one red. The group III was composed of 10 populations in the region, six and four white grain pigmented (one yellow, two blue and one red). The group IV joined with only five populations four grain white and yellow grain. The group V materials included ten, eight of them native (five white and three blue) as well as witness racial Chalqueño and synthetic intermediate Zaragoza. Finally, the group VI brought together ten populations, native seven (three white, three blue and yellow), two racial witnesses (Conic and Tuxpeño) and the late synthetic Zaragoza. It follows that only 20% of native corns kept similarity with some of the collections type of races (particularly Chalqueño and Conic).





**Figura 1. Dendrograma de 76 maíces nativos de Teziutlán y cinco testigos. Región sur de la Sierra Nororiental, Puebla, 2009.**  
**Figure 1. Dendrogram of 76 native maize of Teziutlán and five witnesses. South of the North Eastern Mountain range, Puebla, 2009.**

**Cuadro 3. Promedios de nueve variables para seis grupos identificados en 76 maíces nativos, tres testigos raciales y dos comerciales. Sur de la Sierra Nororiental, Puebla, 2009.**

**Table 3. Average of nine variables identified six groups in 76 native maize, three racial witnesses and two commercial. South of the North Eastern Mountain range, Puebla, 2009.**

Grupo	PPED	DFE	ASIN	HAR	HIL	APLES	LANG	AMAP	HAHA
I	18.59 bc	148.9 b	9.97 b	5.36 a	17.66 a	1.52 a	1.86 ab	0.63 bc	1.23 ab
II	22.76 b	154.15 ab	10.83 b	5.28 a	15.5 b	1.52 a	1.68 cd	0.64 b	1.29 a
III	21.21 b	156.25 ab	11.35 b	5.8 a	15.38 b	1.52 a	1.63 d	0.6 c	1.04 c
IV	48.75 a	161.45 a	12.7 ab	5.75 a	14.9 b	1.53 a	1.45 e	0.68 a	1.27 a
V	15.35 bc	128.5 c	15.8 a	4.53 b	15.85 b	1.46 b	1.98 a	0.61b c	1.13 bc
VI	10.57 c	117.54 d	11.25 b	3.93 b	14.75 b	1.39 c	1.80 bc	0.56 d	1.09 c
Testigos									
Cónico	14.23	117.25	17.25	4.5	13.75	1.36	1.6	0.53	0.98
Chalq	10.65	144.75	14.5	5	15	1.43	1.84	0.57	1
SZI	14.8	134.5	21	4.75	15.5	1.42	2.01	0.56	0.88
SZT	14.13	127.25	12.25	4.5	13.25	1.39	1.8	0.59	1.05
Tuxpeño	6.85	181.5	9.5	4	14	1.31	1.53	0.61	1.22

PPED= peso del pedúnculo; DFE= días al 50% de floración femenina; ASIN=Asincronía floral; HAR= hojas arriba de la mazorca; HIL= hileras por mazorca; APLES= altura de planta+longitud total de la espiga/longitud total de la espiga; LANG= longitud de grano/anchura de grano; AMAP= altura de mazorca/altura de planta; HAHA= hojas abajo/hojas arriba de la mazorca; Chalq= Chalqueño; SZI= sintético Zaragoza intermedio; SZT= sintético Zaragoza tardío.

amarillo. El grupo V incluyó diez materiales, ocho de ellos nativos (cinco blancos y tres azules) así como al testigo racial Chalqueño y al sintético Zaragoza intermedio. Finalmente, el grupo VI agrupó a diez poblaciones, siete nativas (tres blancas, tres azules y una amarilla), dos testigos raciales (Cónico y Tuxpeño) y al sintético Zaragoza tardío. De ello se infiere que sólo 20% de los maíces nativos guardó similitud con alguna de las colectas tipo de las razas (particularmente Chalqueño y Cónico).

El análisis de varianza multivariado reveló que al menos uno de los vectores de medias correspondientes a los seis grupos previamente identificados fue estadísticamente diferente ( $p < 0.0001$  para los estadísticos Traza Hotelling-Lawley, Traza de Pillai, Lambda de Wilks y Raíz Máxima de Roy). De acuerdo con Johnson (2000), cuando esto ocurre, es factible realizar análisis estadísticos sobre las variables por separado. Así, al analizar las características morfológicas de los grupos formados (Cuadro 3) se encontró que las poblaciones asociadas al grupo I fueron de ciclo intermedio (148 días al 50% de floración femenina), la asincronía floral fue la menor entre los maíces nativos y sus mazorcas fueron las de mayor número de hileras de todos los grupos.

El grupo II se caracterizó por incluir poblaciones tardías y medianamente asincrónicas; un rasgo distintivo fue que tuvo la mayor proporción de hojas debajo de la mazorca con respecto a las ubicadas arriba de ésta. El grupo III también estuvo formado por poblaciones tardías, con asincronía intermedia; sus plantas tuvieron aproximadamente el mismo número de hojas abajo y arriba de la mazorca, y los granos de sus mazorcas tendieron a ser más anchos que largos. El grupo IV concentró a los materiales más tardíos (161 días al 50% de floración femenina), con mayor número de hojas abajo que arriba de la mazorca, con las mazorcas ubicadas a mayor altura en la planta y con los pedúnculos más pesados; sus granos fueron más anchos que largos. Se deduce que las poblaciones de este último grupo tuvieron, en general, un mayor crecimiento, como consecuencia de lo tardío de su ciclo, asociación que ya ha sido reportada previamente en maíces nativos (López *et al.*, 2005).

De los seis grupos identificados, los últimos dos (grupos V y VI) fueron los que incluyeron a los testigos raciales. El grupo V fue de los más precoces, no obstante lo anterior, fue el que presentó el mayor desfase entre las floraciones masculina y femenina (Cuadro 3). En este grupo quedó incluida la colecta tipo de la raza Chalqueño, con la que guardó similitud en variables tales como número de hojas arriba de

The multivariate analysis of variance revealed that at least one of the vectors corresponding to the six previously identified group's means was statistically different ( $p < 0.0001$  for statistical Traza Hotelling-Lawley, Pillai's Trace, Wilks' Lambda and Maximum Root Roy). According to Johnson (2000), when this occurs, it is feasible to perform statistical analyzes on variables separately.

Thus, in analyzing the morphological characteristics of the formed groups (Table 3) found that populations associated with the group I were intermediate cycle (148 days to 50% silking), the floral asynchrony was the lowest among native corns and their cobs were the most number of rows of all groups. The group II was characterized by late and moderately include asynchronous populations; a distinctive feature was that had the highest proportion of leaf below the cob regarding located above it. The group III was also formed by late populations with intermediate asynchrony; its plants had approximately the same number of leaves above and below the cob, beans and their cobs tended to be wider than long.

The group IV concentrated in the later material (161 days to 50% silking), with more leaves down to above the cob, with the cobs located higher up on the ground and with the heaviest stems; grains were wider than long. It follows that the populations of the latter group were generally higher growth as a result of the lateness of its cycle, an association that has been previously reported in native maize (López *et al.*, 2005).

Of the six groups identified, the last two (groups V and VI) were those that included racial witnesses. The V group was the early, notwithstanding the above, was the one who had the highest gap between male and female blooms (Table 3). This group was included the type collection of Chalqueño race, with which he kept similarity in variables such as number of leaves above the cob, number of rows on the cob, and the various indices contained in Table 3. The group VI it included the early native populations (with an average of 117 days to 50% silking), with virtually the same number of leaves below and above the cob, but with one of the lowest values of leaves above the cob. The materials assigned to this group also had the lowest insertion of cob height to the total height and lighter stalks. All these attributes suggest that these corns were short-statured and lower growth compared to the rest. The group VI included the racial witness 'Conic', with which it resembled enough, particularly in terms of precocity

la mazorca, número de hileras de la mazorca, y los diversos índices contenidos en el Cuadro 3. El grupo VI incluyó a las poblaciones nativas más precoces (con un promedio de 117 días al 50% de floración femenina), con prácticamente el mismo número de hojas abajo y arriba de la mazorca, aunque con uno de los menores valores de hojas arriba de la mazorca. Los materiales adscritos a este grupo también tuvieron la menor altura de inserción de mazorca respecto a la altura total y los pedúnculos más livianos. Todos estos atributos apuntan a que estos maíces fueron de porte bajo y de menor crecimiento comparados con el resto. El grupo VI incluyó al testigo racial 'Cónico', con el cual se asemejó bastante, particularmente en términos de precocidad (Cuadro 3). Cabe mencionar, que si bien 'Tuxpeño' quedó incluido en este grupo, se mantuvo notablemente distanciado de los demás materiales (Figura 1), situación que confirmaron los valores promedio de las diferentes características relevantes para el análisis multivariado (Cuadro 3).

De la información antes expuesta se infiere que el agrupamiento de poblaciones se debió principalmente a su precocidad y a las características de planta. Es de resaltar la presencia de al menos tres estratos de precocidad que, de acuerdo con la clasificación propuesta por Gil *et al.* (2004), corresponden a intermedio (grupo VI, con 117.5 días al 50% de floración femenina), tardío (grupo V, con 128.5 días) y ultratardío (grupos restantes, con más de 148.9 días). Autores como López y Muñoz (1984) y Muñoz (2003) han reportado que en los maíces del altiplano mexicano existe una cierta relación entre coloración de grano y precocidad: blancos, más tardíos; amarillos, intermedios; azules, precoces. Tal relación no fue evidente en el presente estudio, quizá debido a la baja frecuencia que tuvieron los maíces pigmentados con respecto a los de grano blanco. Otro aspecto notable fue que los extremos de precocidad (grupos VI y IV) se encontraron en frecuencias bajas (9.2 y 6.6% en los dos casos), evidenciando que la selección impuesta por el agricultor y/o las condiciones ambientales ha tendido a favorecer los materiales de ciclo intermedio a tardío, en detrimento de los más precoces y los ultratardíos.

**Análisis de componentes principales:** Los resultados de este análisis mostraron que con los tres primeros componentes principales (CP) se explicó 69.6% de la variación observada (Figura 2). El primer CP presentó asociación con los índices (altura de planta+longitud total de la espiga)/ longitud total de la espiga, y altura de mazorca/altura de planta, así como con días a floración femenina y número de hojas arriba de la mazorca (vectores propios: 0.426, 0.414, 0.434 y 0.414).

(Table 3). It is worth mentioning that while 'Tuxpeño' was included in this group, remained significantly distanced from other materials (Figure 1), a situation that confirmed the average values of the different relevant characteristics for multivariate analysis (Table 3).

From the information presented above it follows that the clustering of populations was mainly due to its earliness and plant characteristics. It is worth noting the presence of at least three layers of precocity that, according to the classification proposed by Gil *et al.* (2004) correspond to intermediate (group VI, with 117.5 days to 50% silking), late (group V, with 128.5 days) and ultra-late (remaining groups, with more than 148.9 days).

Authors like López and Muñoz (1984) and Muñoz (2003) have reported that in the corns of the Mexican plateau there is a certain relationship between grain color and precocity: white, more later; yellow, intermediate; blue, early. Such a relationship was not evident in the present study, perhaps because of the low frequency pigmented maize had regarding white grain. Another notable aspect was that the ends of precocity (groups VI and IV) were found in (9.2 and 6.6% in both cases) low frequencies, showing that the selection imposed by the farmer and/or environmental conditions has tended to favor intermediate materials cycle late, to the detriment of the early and ultra-late.

**Principal component analysis:** the results of this analysis showed that the first three principal components (CP) is explained 69.6% of the variation observed (Figure 2). The first CP presented association with indices (plant height + total length of the pin)/total length of the cob, cob height/ plant height, as well as days to silking and number of leaves above the cob (eigenvectors: 0.426, 0.414, 0.434 and 0.414).

The second CP was determined by variables associated with cob: number of rows and index of grain length/width grain (eigenvectors: 0.642 and 0.589); the third CP related to floral asynchrony and index number of leaves of the plant (eigenvectors: 0.588 and -0 to 563). At least five of these variables (days to silking, number of rows and indexes cob height/plant height, grain length/width grain and leaves down/leaves above) have been reported as important in other studies diversity in maize (Hortelano *et al.*, 2008; Hortelano *et al.*, 2012 and López-Morales *et al.*, 2014) and have been identified as relevant for assessing the present diversity among populations of this species at regional level (Herrera *et al.*, 2000).

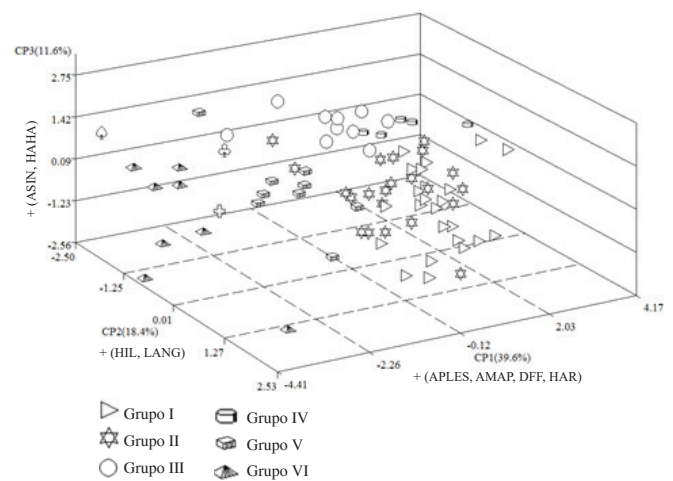
El segundo CP estuvo determinado por variables asociadas a la mazorca: número de hileras e índice de longitud de grano/ ancho de grano (vectores propios: 0.642 y 0.589); el tercer CP se relacionó con asincronía floral y el índice de número de hojas de la planta (vectores propios: 0.588 y -0.563). Al menos cinco de estas variables (días a floración femenina, número de hileras y los índices altura de mazorca/altura de planta, longitud de grano/ancho de grano y hojas abajo/hojas arriba) ya han sido reportadas como importantes en otros estudios de diversidad en maíz (Hortelano *et al.*, 2008; Hortelano *et al.*, 2012 y López-Morales *et al.*, 2014) y se han señalado como relevantes para valorar la diversidad presente entre poblaciones de esta especie a nivel regional (Herrera *et al.*, 2000).

En la Figura 2 se muestra la dispersión de las 81 poblaciones de maíz sobre el plano determinado por los tres primeros CP. Los materiales con valores más altos para el CP1 tuvieron plantas más altas, más tardías y con mayor número de hojas arriba de la mazorca. Los materiales con valores mayores para el CP2 presentaron un mayor número de hileras y granos más largos que anchos. Finalmente, las poblaciones con mayores magnitudes para el CP3 mostraron mayor asincronía floral y menor cantidad de hojas debajo de la mazorca.

Al sobreponer en la Figura 2 los grupos precisados en el análisis de conglomerados (Figura 1) se confirmó la importancia de la precocidad y de las características de planta (índices ‘altura de mazorca/altura de planta’, ‘altura total/longitud de la espiga’ y número de hojas arriba de la mazorca) en la definición de grupos, complementadas con algunos atributos de la mazorca (número de hileras y relación ‘longitud/ancho de grano’).

Al revisar la relación de los grupos con los testigos raciales, se observó que los Grupos III y V fueron los más próximos a Chalqueño, en tanto que el VI se aproximó a Cónico. Ninguno se asoció con Tuxpeño. Con ello se confirma lo detectado en el análisis de conglomerados en cuanto a que parte de los materiales evaluados muestran características afines a las dos primeras razas, y se corrobora lo reportado por Wellhausen *et al.* (1951), en el sentido de que en el área de estudio, a elevaciones mayores a 1 500 msnm era factible encontrar -entre otras razas- a Chalqueño y Cónico, pero no a Tuxpeño, que es una raza más propia de partes bajas. No obstante lo anterior, fue notorio que un número importante de poblaciones nativas se mantuvo alejado de los testigos raciales (Figura 2). A fin de precisar si estos materiales

In Figure 2 the dispersion of 81 maize populations on determined by the first three plane CP shown. The materials with higher values for CP1 had higher, more lately and more leaves above the cob plants. The materials with higher values for CP2 had a greater number of rows and longer than wide grains. Finally, populations with higher magnitudes for CP3 showed more floral asynchrony and fewer leaves below the cob. By overlaying in Figure 2 the groups specified in the cluster analysis (Figure 1) the importance of precocity and the characteristics of plant (indices ‘cob height/plant height’, ‘total height/length confirmed the tang’ and number of leaves above the cob) in the definition of groups, supplemented with some attributes of cob (number of rows and relationship ‘length/width grain’).



**Figura 2. Dispersión de las 76 poblaciones nativas de maíz y cinco testigos con base en los tres primeros componentes principales (CP) y su relación con variables originales importantes.**

**Figure 2. Dispersion of the 76 native populations of corn and five witnesses based on the first three principal components (CP) and its relationship to important original variables.**

In reviewing the list of witnesses' racial groups, it was observed that the groups III and V were the closest to Chalqueño, while the VI approached to Conic. None was associated with Tuxpeño. This is confirmed in the detected cluster analysis in that part of the evaluated materials show similar characteristics to the first two races, and is corroborated reported by Wellhausen *et al.* (1951), in the sense that in the study area, at elevations above 1 500 meters it was possible to find among other races-to Chalqueño and Conic but not Tuxpeño, which is a more typical of lower parts

guardaban alguna relación con la raza 'Arrocillo', se compararon los datos de mazorca y grano proporcionados por Wellhausen *et al.* (1951) -pues en ese trabajo no se reportaron datos para planta- con los obtenidos para los grupos más alejados.

Los valores de longitud, diámetro e hileras de la mazorca de 'Arrocillo' son 9.8 cm, 2.7 cm y 15.4; los obtenidos por los grupos I, II y IV fueron: 9.54, 10.81 y 12.16 cm (longitud); 4.07, 4.11 y 3.96 (diámetro); 17.66, 15.5 y 14.9 (hileras). Las medidas de ancho, espesor y longitud de grano de 'Arrocillo' son: 5.5, 2.5 y 8.8 mm; las de los grupos I, II y IV fueron: 6.4, 7.6 y 10.2 mm (ancho); 4.5, 4.1 y 4.1 mm (espesor); 11.7, 11.5 y 11.1 mm (longitud). Se observó que ninguno de los grupos presentó valores afines a los de 'Arrocillo', pues las mazorcas de aquellos fueron notablemente más gruesas, en algunos casos más largas o con mayor número de hileras, y sus granos resultaron más anchos, gruesos y largos.

La presencia de poblaciones de maíz poco relacionadas con los testigos raciales también se ha señalado en otros trabajos en el estado de Puebla, como los de Hortelano *et al.* (2008) y Hortelano *et al.* (2012), quienes sugieren la existencia de un proceso de diferenciación de las poblaciones nativas con respecto a las razas reportadas en cada región.

Entre los mecanismos que podrían explicar tal proceso figuran el reciclaje de semillas, el flujo de semillas y el de polen (Berthaud y Gepts, 2004), los cuales tienen un fuerte impacto en la evolución y mantenimiento de los maíces nativos. Como lo señalan Hernández y Alanís (1970), otro factor determinante en la generación de diversidad es la selección bajo domesticación, realizada por el ser humano durante miles de años para generar tipos de maíz adecuados a usos especiales y adaptados a regiones y ambientes particulares.

Esos factores también explican el continuo de variación observado en la expresión en características como precocidad y algunos atributos de planta y mazorca (Figura 2), el cual tuvo en sus extremos a los grupos VI y IV, y en medio de ambos, a los demás. Comportamientos similares fueron reportados por Cervantes y Mejía (1984); Herrera *et al.* (2004), Hortelano *et al.* (2008) y Hortelano *et al.* (2012).

race. Notwithstanding the foregoing, it was obvious that a significant number of native populations stayed away from racial witnesses (Figure 2). To determine whether these materials bore any relation to the 'Arrocillo' race, were compared the cobs and grain data provided by Wellhausen *et al.* (1951) -for work in that no data were reported for planting with those obtained for the most distant groups.

The values of length, diameter and rows cob 'Arrocillo' are 9.8 cm, 2.7 cm and 15.4; those obtained by Groups I, II and IV were 9.54, 10.81 and 12.16 cm (length); 4.07, 4.11 and 3.96 (diameter); 17.66, 15.5 and 14.9 (rows). The measures width, thickness and length of grain 'Arrocillo' are: 5.5, 2.5 and 8.8 mm; the groups I, II and IV were: 6.4, 7.6 and 10.2 mm (width); 4.5, 4.1 and 4.1 mm (thickness); 11.7, 11.5 and 11.1 mm (length). It was observed that none of the groups had similar values to those of 'Arrocillo' because cobs those were noticeably thicker in some longer or greater number of rows cases, and grains were more wide, thick and long.

The presence of some maize populations related to racial witnesses has also been noted in other works in the state of Puebla, such as Hortelano *et al.* (2008) and Hortelano *et al.* (2012), who suggest the existence of a process of differentiation of native populations with respect to the races reported in each region.

Among the mechanisms that might explain this process include recycling seed, seed flow and pollen (Berthaud and Gepts, 2004), which have a strong impact on the evolution and maintenance of native corns. As noted Hernández and Alanís (1970), another determining factor in generating diversity is the selection under domestication by humans for thousands of year to generate suitable types of corn for special uses and tailored to particular regions and environments.

These factors also explain the continuous variation observed in the expression on characteristics such as earliness and some attributes plant and cob (Figure 2), which had at its ends to groups VI and IV, and in the midst of both, others. Similar behaviors were reported by Cervantes and Mejía (1984); Herrera *et al.* (2004), Hortelano *et al.* (2008) and Hortelano *et al.* (2012).

## Conclusiones

Entre los maíces nativos de la región sur de la Sierra Nororiental de Puebla existe una amplia variabilidad morfológica, la cual se reflejó en la conformación de seis conjuntos diferenciables entre sí. Al interior de estos grupos se identificaron poblaciones nativas afines a las razas 'Chalqueño' y 'Cónico', aunque también se detectaron poblaciones con poca similitud hacia tales razas, sugiriendo con ello la presencia de mecanismos de diferenciación morfológica o bien, la existencia de variantes raciales no reportadas con anterioridad.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero brindado por el Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla a través del proyecto "Diversidad genética, conservación y fitomejoramiento de poblaciones locales de maíz en las principales regiones productoras de Puebla", clave 76993, del cual forma parte el presente estudio. También se agradece el apoyo de todos los agricultores que participaron en las diferentes fases de la investigación.

## Literatura citada

- Basurto, F.; Evangelista, V.; Mendoza, M. y Aguilar, A. 2008. Biodiversidad y seguridad alimentaria en el norte de Puebla, México. In: seguridad alimentaria en Puebla: prioridad para el desarrollo. Reyes, A. E. y Paredes, S. J. A. (Coords.). Colegio de Postgraduados Campus Puebla, Secretaría de Desarrollo Rural del Gobierno del estado de Puebla, Altres-Costa Amic. 256-270 pp.
- Berthaud, J. and Gepts, P. 2004. Assessment of effects on genetic diversity. In: maize and biodiversity: the effects of transgenic maize in Mexico. Secretariat of the Commission for Environmental Cooperation of North America. 53 p.
- Cervantes, S. T. y Mejía, H. A. 1984. Maíces nativos del área del Plan Puebla. Recolección de plasma germinal y evaluación del grupo tardío. Rev. Chapingo. 43-44:64-71.
- Cochran, W. G. and Cox, G. M. 1990. Diseños experimentales. Editorial Trillas. Segunda Edición. México, D. F., México. 661 p.
- Diego, F. P.; Chávez, S. J. L.; Carrillo, R. J. C. y Castillo, G. F. 2012. Variabilidad en poblaciones de maíz nativo de la región Mixteca Baja Oaxaqueña, México. Revista FCA Uncuyo. 44(1):157-171.

## Conclusions

Among the native maize in the southern region of North Eastern Mountain range of Puebla there is a wide morphological variability, which was reflected in shaping six differentiable matching sets. Within these groups allied to the races 'Chalqueño' and 'Conic' native populations they were identified, although populations with little similarity to such races were also detected, thus suggesting the presence of mechanisms of morphological or differentiation, the existence of variants racial previously unreported.

*End of the English version*



- Gil, M. A.; López, P. A.; Muñoz, O. A. y López, S. H. 2004. Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. In: manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Chávez-Servia, J. L.; Tuxill, J. y Jarvis, D. I. (Eds.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Cali, Colombia. 18-25 pp.
- González, H. A.; Sahagún, C. J.; Pérez, L. D. de J.; Domínguez, L. A.; Serrato, C. R.; Landeros, F. V. y Dorantes, C. E. 2006. Diversidad fenotípica del maíz cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. Rev. Fitotec. Mex. 29(3):255-261.
- Gouesnard, B.; Dallard, J.; Panouillé, A. and Boyat, A. 1997. Classification of French maize populations based on morphological traits. Agronomie, EDP Sci. 17(9-10):491-498.
- Hernández, X. E. 1985. Maize and man in the greater southwest. Econ. Bot. 39(4):416-430.
- Hernández, X. E. y Alanís, F. G. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México. Agrociencia. 5(1):3-30.
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F.; Sánchez, G. J. J.; Ortega, P. R. y Goodman, M. M. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza chalqueño. Rev. Fitotec. Mex. 23(2):335-354.
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F.; Sánchez, G. J. J.; Hernández, C. J. M.; Ortega, P. R. A. & Goodman, M. M. 2004. Diversidad del maíz Chalqueño. Agrociencia. 38(2):191-206.
- Hortelano, S. R. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; Miranda, C. S. y Córdova, T. L. 2008. Diversidad morfológica de maíces nativos del Valle de Puebla. Agricultura Técnica en México. 34(2):189-200.
- Hortelano, S. R. R.; Gil, M. A.; Santacruz, V. A.; López, S. H.; López, P. A. y Miranda, C. S. 2012. Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. Rev. Fitotec. Mex. 35(2):97-109.
- Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED)-Secretaría de Gobernación. 2010. Enciclopedia de los estados de México. Los municipios del estado de Puebla. [http://www.e-local.gob.mx/wb2/elocal/emmm\\_puebla](http://www.e-local.gob.mx/wb2/elocal/emmm_puebla).

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1987. Síntesis geográfica, nomenclátor y anexo cartográfico del estado de Puebla. INEGI. México, D. F. México. 56 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2013. Nombres geográficos. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/nomgeo/default.aspx>.
- Johnson, D. E. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thomson Editores, S. A. de C. V. México, D. F. México. 566 p.
- Labate, J. A.; Lamkey, K. R.; Mitchell, S. E.; Kresovich, S.; Sullivan, H. and Smith, J. S. C. 2003. Molecular and historical aspects of corn belt dent diversity. *Crop Sci.* 43(1):80-91
- López, P. A.; López, S. H. y Muñoz, O. A. 1998. Selección de maíces criollos en nichos ecológicos del Estado de Puebla. In: Memorias del XVII Congreso de Fitogenética. Notas Científicas. Ramírez, V. P.; Zavala, G. F.; Gómez, M. N. O.; Rincón, S. F. y Mejía, C. A. (Eds.). Sociedad Mexicana de Fitogenética y Universidad Autónoma del estado de Guerrero. Acapulco, Guerrero, México. 236 p.
- López, H. A. de J. y Muñoz, O. A. 1984. Relación de la coloración del grano con la precocidad y la producción en maíces de Valles Altos. *Rev. Chapingo.* 43-44:31-37.
- López, R. G.; Santacruz, V. A.; Muñoz, O. A.; Castillo, G. F.; Córdova, T. L. y Vaquera, H. H. 2005. Caracterización morfológica de poblaciones nativas de maíz del Istmo de Tehuantepec, México. *Interciencia.* 30(5):284-290.
- López, M. F.; Taboada, G. O. R.; Gil, M. A.; López, P. A. and Reyes, L. D. 2014. Morphological diversity of native maize in the humid tropics of Puebla, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17(1):19-31
- López, O. J. F. 1994. Investigación agrícola en una zona marginada del estado de Puebla. *Elementos.* 20(3):26-32
- Martínez, G. A. 1989. Manual de Diseño y Análisis de los Látices. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, México. Monografías y manuales en estadística y cómputo. 8(3):71.
- Mijangos, C. J. O.; Corona, T. T.; Espinosa, V. D.; Muñoz, O. A.; Romero, P. J. and Santacruz, V. A. 2006. Differentiation among maize (*Zea mays* L.) landraces from the Tarasca Mountain Chain, Michoacán, Mexico. *Genetic Res. Crop Ev.* 54(2):309-325.
- Mohammadi, S. A. and Prasanna, B. M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants- salient statistical tools and considerations. *Crop Sci.* 43(4):1235-1248.
- Muñoz, O. A. 2003. Centli-Maíz. Prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario centli-maíz. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 210 p.
- Núñez, C. C. A. y Escobedo, L. D. 2015. Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agrícola y Pecuaria.* 1(1):1-6.
- Peakall, R. and Smouse, P. E. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excel®. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes.* 6:288-295
- Peakall, R. and Smouse, P. E. 2012. GenAIEx 6.5: genetic analysis in Excel®. Population genetic software for teaching and research- an update. *Bioinformatics.* 28:2537-2539
- Pla, L. E. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Falcón. Venezuela. 89 p.
- Ramos, R. A. y Hernández, X. E. 1972. Variación morfológica de los maíces de la zona oriental del estado de México y del Centro de Puebla, México. In: Xolocotzia tomo II. 1987. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Estado de México. 757-758 pp.
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Rawlings, J. O. 1993. Appropriate characters for racial classification in maize. *Econ. Bot.* 47(1):44-59
- Sánchez, G. J. J.; Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 2000a. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54(1):43-59
- Sánchez, G. J. J.; Stuber, C. W. and Goodman, M. 2000b. Isozymatic diversity in the races of maize of the Americas. *Maydica.* 45(3):185-203
- SAS. Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. SAS Institute, Inc. Cary, North Caroline. USA. 5121 p.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.
- Sokal, R. R. and Rohlf, F. J. 1995. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. Third Edition. Freeman, W. H. and Company. New York, USA. 887 p.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M.; Hernández, X. E. y Mangelsdorf, P. 1951. Razas de maíz en México: su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales. S. A. G. México, D. F., México. Folleto técnico Núm. 5. México, D. F., México. 239 p.