

Diversidad morfológica de poblaciones nativas de chile poblano*

Morphological diversity of native population's poblano pepper

Rocío Toledo-Aguilar¹, Higinio López-Sánchez^{1§}, Pedro Antonio López¹, Juan de Dios Guerrero-Rodríguez¹, Amalio Santacruz-Varela² y Arturo Huerta-de la Peña¹

¹Colegio de Postgraduados- Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla, km 125.5 Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. C. P. 72760. ²Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, km. 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56230. [§]Autor para correspondencia: higinio1s@colpos.mx.

Resumen

La diversidad genética existente en los diferentes tipos de chile en México ha sido poco estudiada. El chile Poblano (*Capsicum annuum* L.) tiene gran importancia culinaria por ser ingrediente de platillos tradicionales de Puebla; además, constituye una fuente de ingresos para las familias rurales de la región de la Sierra Nevada de Puebla; sin embargo, no existe ningún estudio que determine la diversidad morfológica de las poblaciones nativas de este tipo de chile encontradas en este nicho ecológico. El objetivo de este estudio fue analizar la diversidad morfológica de poblaciones nativas de chiles poblanos de la Sierra Nevada de Puebla. Mediante el uso de descriptores se analizaron 41 poblaciones de chile Poblano, cuatro de chile Ancho, dos de chile Loco, una de chile Miahuateco y el híbrido de chile Ancho "Doroteo" (Ahern Seeds®). Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar triple en dos localidades de evaluación. En los análisis de varianza combinados se encontraron diferencias estadísticamente significativas en 60% de las variables. Con la selección de 30 variables morfológicas se realizó un análisis de componentes principales, donde las poblaciones de chile Poblano formaron un grupo, separándose del resto de poblaciones evaluadas y del híbrido. Se realizó también un análisis de conglomerados, en el que se definieron cuatro subgrupos.

Abstract

The genetic diversity in different types of pepper in Mexico has been little studied. The poblano pepper (*Capsicum annuum* L.) has great culinary importance as an ingredient in traditional dishes from Puebla; also constitutes a source of income for rural families in the region of the Sierra Nevada de Puebla; however, there is no study to determine the morphological diversity of native populations of this type of pepper found in this ecological niche. The aim of this study was to analyze the morphological diversity of native population's poblano peppers de la Sierra Nevada de Puebla. By using descriptors were analyzed 41 populations of pepper poblano, four of ancho pepper, two of "Loco" pepper, one of "Miahuateco" and hybrid pepper ancho pepper "Doroteo" (Ahern Seeds®). An experimental design was used in three randomized complete block assessment in two locations. In the combined analysis of variance statistically significant difference in 60% of the variables found. With the selection of 30 morphological was performed variables principal component analysis, where populations of pepper poblano formed a group, away from the rest of populations evaluated and the hybrid. The cluster analysis was also performed, in which four subgroups were defined. The native populations that shaped each subgroup were not related to the geographical location of seed collection, suggesting

* Recibido: marzo de 2016
Aceptado: mayo de 2016

Las poblaciones nativas que conformaron cada subgrupo no tuvieron relación con el lugar geográfico de colecta de su semilla, lo que sugiere el intercambio de germoplasma entre agricultores. En las poblaciones nativas de Chile Poblano se encontró diversidad morfológica principalmente en variables de fruto, porte de la planta y precocidad.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., análisis multivariado, caracterización, variación morfológica, variedades nativas.

Introducción

Dentro del género *Capsicum*, la especie *C. annuum* L. es la de mayor distribución e importancia en el mundo, debido a los diferentes usos en que se emplea y a la excelente adaptación que presenta (Long-Solís, 1986; Pickersgill, 1997; Ulloa, 2006). Esta especie fue domesticada en México (Eshbaugh, 1993; Hernández-Verdugo *et al.*, 1999), país que se considera también como su centro de diversidad (IBPGR, 1983), por lo que se puede encontrar una gran variedad de diferentes tipos nativos de chiles (Aguilar, *et al.*, 2010). Un ejemplo de ello son los llamados “poblanos” o “mulatos”, cuyo cultivo en la Sierra Nevada de Puebla se encuentra extendido de manera significativa. Además, tienen gran importancia histórica, cultural, culinaria y su cultivo constituye una fuente de ingresos para las familias rurales de esta región de Puebla (Rodríguez *et al.*, 2007). Apesar de la importancia y de los diversos problemas que presenta este cultivo en Puebla, no existe un estudio que permita conocer el nivel de diversificación morfológica de las poblaciones nativas de chiles poblanos.

En los estudios disponibles sobre diversidad morfológica en el género *Capsicum* se encuentra el realizado por Moreno *et al.* (2007) con poblaciones de Chile Guajillo de México, quienes encontraron mayor variación en características de longitud y ancho de hoja, longitud del peciolo y en características reproductivas como días a floración y fructificación. En Turquía, Kadri *et al.* (2009) realizaron un estudio con 48 poblaciones de *Capsicum annuum* L., donde la mayor variación se observó en variables de fruto como peso, diámetro, contenido de materia seca. Estos resultados representan un área de oportunidad para mejorar caracteres de interés agronómico, a través de programas para selección de genotipos hacia mayores rendimientos y mejores características, en función de las necesidades e interés de los agricultores. Al respecto, Franco *et al.* (2005) y Laurentin (2009) mencionan que la adecuada conservación

the exchange of germplasm among farmers. In the native populations of pepper poblano morphological diversity found mainly in fruit variables, plant habit and earliness.

Keywords: *Capsicum annuum* L., characterization, morphological variation, multivariate analysis, native varieties.

Introduction

Within the genus *Capsicum* the species *C. annuum* L. is the most widely distributed and importance in the world due to the different uses that already uses the excellent adaptation presented (Long-Solís, 1986; Pickersgill, 1997; Ulloa, 2006). This species was domesticated in Mexico (Eshbaugh, 1993; Hernández-Verdugo *et al.*, 1999), a country that is considered also as its center of diversity (IBPGR, 1983), so you can find a variety of different native peppers types (Aguilar *et al.*, 2010). An example of this are called "poblano" or "mulatto", whose cultivation in the Sierra Nevada de Puebla is extended significantly. Also, they have great historical, cultural, culinary importance and its cultivation is a source of income for rural families in this region of Puebla (Rodríguez *et al.*, 2007). Despite the importance and the various problems of this crop in Puebla, there is a study to determine the level of morphological diversification of native population's poblano peppers.

In the available studies on morphological diversity in the genus *Capsicum* is the by Moreno *et al.* (2007) with populations of guajillo of Mexico, who found greater variation in length and width characteristics of leaf, petiole length and reproductive traits such as days to flowering and fruiting. In Turkey, Kadri *et al.* (2009) conducted a study of 48 populations of *Capsicum annuum* L., where most variation was observed in fruit variables such as weight, diameter and dry matter content. These results represent an area of opportunity to improve agronomic characters of interest, through programs for selection of genotypes to higher yields and better features, depending on the needs and interests of farmers. In this regard, Franco *et al.* (2005) and Laurentin (2009) mention that the proper conservation and characterization of materials is essential to detect genotypes that can be used in breeding programs.

However, specifically in Puebla poblano or mulatto pepper native populations do not have a record of morphological diversity that can serve as a basis for application programs,

y caracterización de materiales es fundamental para la detección de genotipos que pueden ser usados en programas de mejoramiento.

Sin embargo, específicamente en las poblaciones nativas de chile poblano o mulato de Puebla no se cuenta con un registro de la diversidad morfológica que pueda servir de base para realizar programas de uso, conservación y mejoramiento genético de este recurso fitogenético. Además, se desconoce si existe alguna asociación entre las poblaciones nativas de acuerdo a la localidad en que se siembran. Esto dio pauta al planteamiento de la presente investigación, cuyo objetivo fue evaluar la diversidad morfológica de un conjunto de poblaciones nativas de chile Poblano de la región de la Sierra Nevada del estado de Puebla, mediante la caracterización de las mismas usando los descriptores morfológicos de la guía del IPGRI *et al.* (1995).

Materiales y métodos

Material vegetal

Se colectaron semillas de 41 poblaciones nativas de chile poblano en 10 municipios de la Sierra Nevada del estado de Puebla, México. Esta zona se ubica al oeste del estado en un área comprendida entre los paralelos 19° 02' y 19° 28' de latitud norte y los meridianos 98° 15' y 98° 40' de longitud oeste; también se colectaron tres poblaciones de chile Ancho (A13, A23 y A30) y dos de chile Loco de la misma región (L43 y L36), una de chile miahuateco (M48) del municipio de Santiago Miahuatlán, Puebla y una de chile ancho de Fresnillo, Zacatecas (A10); se consideró también al híbrido comercial de chile ancho Doroteo (A49).

Producción de plántula y localidades de evaluación

La siembra se llevó a cabo en charolas de unicel de 200 cavidades y como sustrato se utilizó una mezcla de peat moss y tierra de monte (1:1). La producción de plántulas se condujo en invernadero. Las localidades de evaluación fueron Cháhuac, municipio de Domingo Arenas, Puebla, ubicada a los 19° 08' de latitud norte y a los 98° 27' de longitud oeste, a una altitud de 2 240 msnm y San Lorenzo Chiautzingo, Puebla, ubicado a los 19° 12' de latitud norte y a los 98° 28' de longitud oeste, a una altitud de 2 360 msnm, ambas con clima templado subhúmedo con lluvias en verano

conservación y genético mejoramiento de este recurso genético. In addition, it is unknown whether there is any association between the native populations according to the locality in which are planted. This gave pattern to approach this research, the aim was to evaluate the morphological diversity of a set of native populations of pepper poblano in the region of the Sierra Nevada state of Puebla, by characterizing those using morphological descriptors guide of IPGRI (1995).

Materials and methods

Vegetal material

The 41 seeds poblano pepper native populations were collected in 10 municipalities of the Sierra Nevada state of Puebla, Mexico. This area is located west of the state in the area comprised between parallels 19° 02' and 19° 28' north latitude and meridians 98° 15' and 98° 40' west longitude; three populations of Ancho pepper (A13, A23 and A30) and two Loco pepper in the same region (L43 and L36), a Miahuateco pepper (M48) of the municipality of Santiago Miahuatlán, Puebla and Ancho pepper also collected Fresnillo, Zacatecas (A10); it was also considered the commercial hybrid ancho Doroteo pepper (A49).

Seedling production and localities evaluation

The planting was carried out in styrofoam trays of 200 cavities and as a substrate a mixture of peat moss and forest soil (1:1) was used. Seedling production was conducted in a greenhouse. The towns of evaluation were Chahuac, municipality of Domingo Arenas, Puebla, located 19° 08' north latitude and 98° 27' west longitude at an altitude of 2 240 meters and San Lorenzo Chiautzingo, Puebla, located 19° 12' north latitude and 98° 28' west longitude, at an altitude of 2 360 meters, both with temperate humid with summer rains (INEGI, 2011). In the first locality he was transplanted to 68 days after sowing (dds) and the second at 77 dds, when the seedlings were 12 cm high and 6 true leaves.

Design and experimental unit

The populations were evaluated in plots of cooperating farmers through an experimental design in randomized complete block design with three replications. The experimental unit consisted of a groove of 4.2 m long and 0.8 m wide, with two floors each 0.35 m.

(INEGI, 2011). En la primera localidad se trasplantó a los 68 días después de la siembra (dds) y en la segunda a los 77 dds, cuando las plántulas tuvieron 12 cm de altura y 6 hojas verdaderas.

Diseño y unidad experimental

Las poblaciones se evaluaron en parcelas de agricultores cooperantes, mediante un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental constó de un surco de 4.2 m de largo y 0.8 m de ancho, con dos plantas cada 0.35 m.

Variables registradas

Se eligieron cinco plantas por parcela experimental para registrar 71 variables morfológicas y agronómicas, utilizando el manual de descriptores para *Capsicum* (IPGRI *et al.*, 1995); adicionalmente se midieron las variables ancho (cm), longitud (cm) y peso de fruto seco (g); también se estimó el rendimiento de fruto fresco por hectárea y los índices de longitud-ancho de hoja cotiledónea, de hoja madura, de fruto fresco y seco. Las variables de plántula se registraron en invernadero previo al trasplante y el resto en plantas cultivadas en campo. Los cinco frutos que fueron medidos se obtuvieron de la segunda cosecha de cinco plantas en competencia completa.

Análisis estadístico

Utilizando el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002) se realizó un análisis de varianza considerando el modelo del diseño completamente al azar para las variables de plántula y un análisis de varianza combinado con el modelo del diseño en bloques completos al azar para el resto de las variables; estos análisis permitieron detectar las variables con diferencias estadísticas significativas para después discriminar variables correlacionadas mediante el análisis de correlaciones de Pearson. Producto de los dos análisis anteriores se obtuvieron 30 variables que sirvieron de base para realizar el análisis de componentes principales (ACP) y de conglomerados utilizando el método de pares de grupos con media aritmética no ponderada (UPGMA, por sus siglas en inglés). De acuerdo con los grupos formados en el dendrograma del análisis de conglomerados se realizó el análisis de varianza entre grupos para saber si existen diferencias estadísticas entre ellos.

Variables registered

The five plants were chosen for experimental plot to record 71 morphological and agronomic variables, using the manual descriptors *Capsicum* (IPGRI, 1995); additionally the variable width (cm) length (cm) and dry fruit weight (g) were measured; fresh fruit yield per hectare and indices of length-width cotyledon leaf, mature leaf, cool and dry fruit was also estimated. Seedling variables were recorded in prior greenhouse transplant and the rest in field grown plants. The five fruits that were measured were obtained from the second crop of five floors full competition.

Statistical analysis

Using SAS program version 9.0 (SAS Institute, 2002), an analysis of variance considering the model completely randomized design for variables seedling stage and combined analysis of variance model design in randomized complete block for the rest held variables; these analyzes allowed to identify the variables with statistically significant differences and then discriminating variables correlated by Pearson correlation analysis. Product of the two previous analyzes were obtained 30 variables that were the basis for the principal component analysis (ACP) and cluster analysis using the method of pairs of groups unweighted arithmetic average (UPGMA, for its acronym). According to the groups formed in the dendrogram of cluster analysis of variance between groups to see if there are statistical differences between them it took place.

Results and discussion

In the combined analysis of variance, 60% of the variables showed statistically significant differences. Similar data were found in pepper water collections in Oaxaca (Martínez-Sánchez *et al.*, 2010), where 66% of the variables showed differences between collections. In the study by Medina *et al.* (2006) of 94.2% of the variables showed statistically significant differences because of different pepper six species were evaluated. In this paper, fruit variables were those that showed greater variation, with 82.1% of significance; on the contrary, flower variables were those with fewer significant variables, with only 23.5%. This data is an indicator of high morphological

Resultados y discusión

En el análisis de varianza combinado, 60% de las variables mostraron diferencias estadísticamente significativas. Datos similares se encontraron en colectas de chile de agua en Oaxaca (Martínez-Sánchez *et al.*, 2010), donde 66% de las variables mostraron diferencias entre las colectas. En el estudio de Medina *et al.* (2006) el 94.2% de las variables presentaron diferencias estadísticamente significativas, debido a que se evaluaron seis especies de chile diferentes. En el presente trabajo, las variables de fruto fueron las que presentaron mayor variación, con 82.1% de significancia; por el contrario, las variables de flor fueron las que tuvieron menor número de variables significativas, con sólo 23.5%. Estos datos son un indicador de amplia diversidad morfológica presente en las poblaciones nativas y que no está siendo aprovechada o su aprovechamiento se concentra en unas cuantas variables, como rendimiento.

Resultado de los análisis de varianzas y de correlación de Pearson se obtuvo una disminución a 30 variables morfológicas (Cuadro 1), mismas que fueron empleadas para los análisis multivariados (análisis de componentes principales y agrupamiento).

Cuadro 1. Variables morfológicas registradas para el análisis de componentes principales y de agrupamiento.
Table 1. Morphological variables recorded for the principal component analysis and cluster.

Variables
Plántula*. Color del hipocotilo, pubescencia del hipocotilo, color de la hoja cotiledónea, forma de la hoja cotiledónea.
Planta*. Color del tallo, forma de la hoja, antocianinas en los nudos de las plantas, macollamiento, longitud del tallo (cm), altura de la planta (cm), ancho de la planta (cm).
Floración*. Días a floración, longitud de la antera (mm), pigmentación del cáliz.
Fructificación*. Manchas antocianínicas en el fruto, cuajado del fruto, color del fruto maduro, peso de fruto fresco (g), longitud del pedicelo del fruto (mm), espesor de la pared del pericarpio (mm), forma del ápice del fruto, apéndice del fruto, longitud de la placenta (mm), condición de la mezcla varietal.
Semilla*. Peso de 1000 semillas (g), número de semillas por fruto.
Variables estimadas. Rendimiento (kg ha ⁻¹), índices longitud/ancho de: hoja cotiledónea, de hoja madura y de fruto fresco.

*Registro de variables con base en el manual de descriptores para *Capsicum* del IPGRI *et al.* (1995).

El análisis de componentes principales arrojó que los primeros cuatro componentes explicaron 56% de la variación total. El primer componente principal (CP1) explicó 22% de la variación total y estuvo compuesto por variables con relación a la calidad del fruto, como peso de fruto y color de fruto en estado maduro; el CP2, con 18% de la variación total, estuvo influenciado por variables sobre la capacidad reproductiva en el fruto, tales como longitud de la

diversidad en native populations and that is not being exploited or its use is concentrated in a few variables, such as performance.

Results of analysis of variance and Pearson correlation was obtained a decreased to 30 morphological variables (Table 1), same that were used for multivariate analysis (principal and grouping components).

The principal component analysis showed that the first four components explained 56% of the total variation. The first principal component (PC1) explained 22% of the total variance and was composed of variables regarding the quality of the fruit, as fruit weight and color of the fruit when ripe; CP2, with 18% of the total variation, was influenced by variables on reproductive capacity in the fruit, such as length of the placenta and fruit set; CP3, with 9% of the variation was influenced by variables days to flowering and presence of anthocyanins in plant and fruit; and CP4, with 7% of the variation, consisted of characteristics of plant structure such as height and width of the floor and index length and width of the cotyledon leaf.

The fruit variables were important in this study, since 50% of the variables of principal component analysis were related to this body, followed by variables of the structure of the plant

and precocity. The native populations of poblano peppers showed more diversity in variables related to weight and color of the fruit; the latter feature is very important because it is what gives color to the mole main product poblano pepper or mulatto in mature state; Also, the bearing of the plant must be suitable to bear a greater burden of fruit, and finally the precocity for quality fruit market in less time. Regarding the amount of total variation detected in other

placenta y cuajado de fruto; el CP3, con 9% de la variación, estuvo influenciado por las variables días a floración y presencia de antocianinas en planta y fruto; y el CP4, con 7% de la variación, estuvo constituido por características de estructura de la planta como son, altura y ancho de la planta e índice de longitud y ancho de la hoja cotiledónea.

Las variables de fruto tuvieron gran importancia en este estudio, ya que 50% de las variables del análisis de componentes principales tuvieron relación con este órgano, seguida de variables de la estructura de la planta y precocidad. Las poblaciones nativas de chiles poblanos mostraron mayor diversidad en variables relacionadas con peso y coloración del fruto; ésta última característica es muy importante porque es lo que le brinda color al mole, principal producto del chile poblano o mulato en estado maduro; asimismo, el porte de la planta debe ser el adecuado para soportar una carga mayor de frutos, y finalmente la precocidad para obtener frutos con calidad de mercado en menor tiempo. En relación con la cantidad de variación total detectada en otros estudios, Kadri *et al.* (2009) mencionan que con los primeros seis componentes principales obtuvieron 54.3% de la variación total en 48 accesiones de chile de Turquía, donde el CP1 estuvo conformado por diámetro, peso y volumen de fruto y el CP2 por longitud del fruto y pedicelo del mismo.

Por el contrario, en estudios con un solo tipo de chile como el de Moreno *et al.*, 2007, quienes utilizaron accesiones de chile Guajillo provenientes de Durango, Zacatecas y Guerrero se encontró que los primeros cinco componentes principales explicaron 71.3% de la variación total y las variables que contribuyeron en mayor medida a la variación total fueron de tipo vegetativo y reproductivo. Así mismo, en el trabajo realizado por Martínez-Sánchez *et al.* (2010) en chile de agua de Oaxaca se encontró mayor variación en caracteres de precocidad y densidad de ramificación.

Ante esto, se podría considerar lo que Latournerie *et al.* (2001) mencionan, respecto a que la riqueza genética presente en los diversos chiles regionales se debe en gran medida a la diversidad de factores edáficos y climáticos en que se han desarrollado, así como a la preservación y manejo de las semillas nativas desde hace cientos de años por parte de los campesinos. Al respecto, Medina *et al.* (2006) indican que la existencia de germoplasma genéticamente diverso puede ser incluida en programas de fitomejoramiento a través de la selección de características de interés. Por su parte, González y Bosland (1991) indican que es necesaria la colección y caracterización de poblaciones locales para

studies, Kadri *et al.* (2009) mention that with the first six principal components obtained 54.3% of the total variation in 48 accessions of pepper of Turkey, where the CP1 was formed by diameter, weight and volume of fruit and CP2 for fruit length and pedicel of the same.

By contrast, studies with a single type of pepper like Moreno *et al.* (2007), who used accessions guajillo from Durango, Zacatecas and Guerrero was found that the first five principal components explained 71.3% of the total variation and the variables that contributed most to the total variation were vegetative and reproductive type. Also, in the work of Martínez-Sánchez *et al.* (2010) in Oaxaca pepper water found greater variation in precocity characters and branching density.

Given this, one might consider what Latournerie *et al.* (2001) mention, regarding the genetic wealth present in the various regional peppers largely due to the diversity of soil and climatic factors that have been developed, as well as the preservation and management of native seeds for hundreds of years by farmers. In this regard, Medina *et al.* (2006) indicate that the existence of genetically diverse germplasm can be included in breeding programs through the selection of characteristics of interest. Meanwhile, González and Bosland (1991) indicate that the collection and characterization of local populations is necessary to obtain and find additional genetic resources that are not known and that the desirable characteristics can be transferred to commercial cultivars.

Furthermore, Geleta *et al.* (2005) suggest that reproductive behavior is determinant in the degree of genetic diversity among cultures; although Lefebvre *et al.* (1993) mention that the reproductive behavior of *C. annuum* L. is very fickle, compared to other self-pollinating species, because most species of *Capsicum*, among them *C. annuum* L., are protogynous (Pickersgill, 1997; Djian-Caporalino *et al.*, 2006) and there is a degree of "excursion" the stigma different for each genotype, which extends the possibility of cross-pollination between populations (Pickersgill, 1997). The way of reproduction of these peppers, as well as the empirical selection that have made the producers of the region of the Sierra Nevada de Puebla has given the possibility of finding genetically diverse germplasm, mainly in characteristics of fruit, where you can find variability in weight, size and color.

As a result of principal component analysis Figure 1, where the dispersion of the populations shown based on the first two principal components obtained. In this we can see that

obtener y conocer recursos genéticos adicionales que no son conocidos y que las características deseables pueden ser transferidas a cultivares comerciales.

Además, Geleta *et al.* (2005) señalan que el comportamiento reproductivo es determinante en el grado de diversidad genética entre los cultivos; aunque Lefebvre *et al.* (1993) mencionan que el comportamiento reproductivo de *C. annuum* L. es muy inconstante, en comparación con otras especies autógamas, debido a que la mayoría de las especies de *Capsicum*, dentro de ellas *C. annuum* L., son protogínicas (Pickersgill, 1997; Djian-Caporalino *et al.*, 2006) y existe un grado de excursión del estigma diferente para cada genotipo, lo cual amplía la posibilidad de polinización cruzada entre las poblaciones (Pickersgill, 1997). La manera de reproducción de estos chiles, así como la selección empírica que han realizado los productores de la región de la Sierra Nevada de Puebla ha dado la posibilidad de encontrar germoplasma genéticamente diverso, principalmente en características de fruto, donde se puede encontrar variabilidad en peso, tamaño y coloración.

Como resultado del análisis de componentes principales se obtuvo la Figura 1, donde se muestra la dispersión de las poblaciones con base en los primeros dos componentes principales. En ésta se puede observar que la mayoría de las poblaciones de Chile Poblano se agruparon en los Cuadrantes I y IV; sin embargo, no se obtuvo una separación de estas poblaciones de acuerdo a la localidad de colecta, lo que se puede atribuir a que estas poblaciones se encuentran localizadas en un nicho ecológico pequeño.

La separación de las poblaciones de Chile poblano de las de Chile ancho (A13, A23 y A30) y de las poblaciones de Chile loco (L43 y L36) de la región de la Sierra Nevada de Puebla, que se ubicaron en el Cuadrante II, se atribuye a que una de las variables más importantes para este estudio fue la coloración de los frutos en estado maduro. Por otro lado, la colecta de Chile ancho de Zacatecas (A10), más cercano al híbrido (A49) y la población de Chile Miahuateco (M48) se situaron en el Cuadrante III.

Sin embargo, a pesar de haber una agrupación general en las poblaciones de Chile Poblano puede observarse la formación de subgrupos (Figura 2), encontrándose con ello heterogeneidad dentro del mismo. Al respecto Votava *et al.* (2005) señalan que en cada región se realizan procesos de selección natural y artificial por cada uno de los agricultores y ésta puede ser la razón para encontrar dicha heterogeneidad.

most stocks poblano pepper grouped in quadrants I and IV; however, a separation of these populations according to local collection was not obtained, which can be attributed to these populations are located in a small niche.

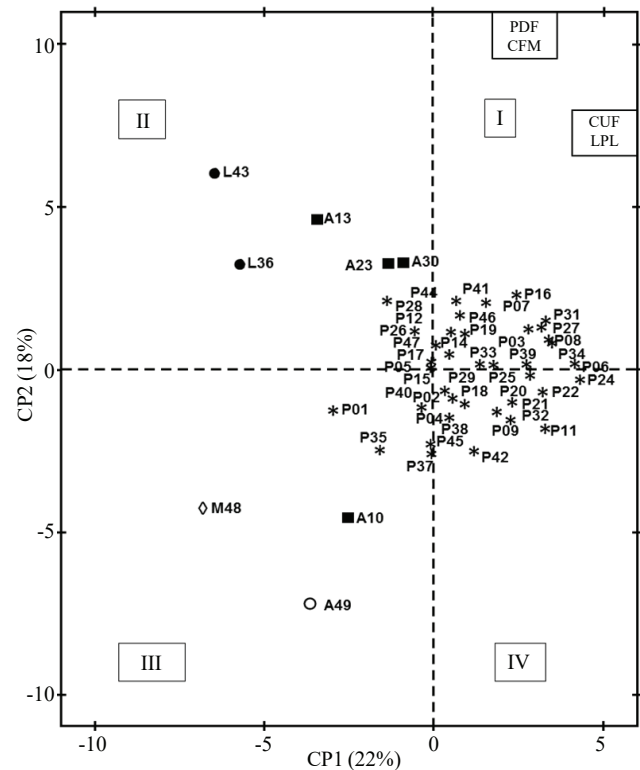


Figura 1. Dispersión de las poblaciones de Chile Poblano nativas de la Sierra Nevada de Puebla, a través de los primeros dos componentes. *Poblano ■ Ancho ● Loco ◇ Miahuateco ○ Híbrido ancho. PDF= peso de fruto; CFM= color de fruto en estado maduro; CUF= cuajado de fruto; LPL= longitud de la placenta (variables asociadas al CP1 y CP2).

Figure 1. Dispersion of poblano pepper populations native to the Sierra Nevada of Puebla, through the first two components. *Poblano ■ Ancho ● Loco ◇ Miahuateco ○ Híbrido ancho. PDF= weight of fruit; CFM= color fruit when ripe; CUF= ripened fruit; LPL= length of the placenta (variables associated with CP1 and CP2).

The separation of populations poblano of ancho pepper (A13, A23 and A30) and populations loco pepper (L43 and L36) in the region of the Sierra Nevada de Puebla, which were located in Quadrant II, is attributed to one of the most important variables for this study was the color of the fruit when ripe. On the other hand, the collection of ancho de Zacatecas (A10), closest to hybrid (A49) and the population of Miahuateco pepper (M48) were placed in Quadrant III.

la colecta de Miahuatlán (M48). Estas dos variedades, a pesar de que fueron colectadas en diferentes regiones mostraron similitudes al ubicarse en el CP1, asociado a características de frutos muy pequeños y de color marrón.

Los datos obtenidos para los cuatro grupos formados y las poblaciones que no forman parte de ninguna agrupación se describen en el Cuadro 2. El análisis de varianza entre grupos (datos no presentados en el cuadro) mostró diferencias estadísticamente significativas para todas las variables que integran los primeros cuatro componentes principales: peso de fruto ($p=0.0001^{**}$), color de fruto maduro ($p=0.0001^{**}$), cuajado de fruto ($p=0.0001^{**}$), longitud de la placenta, ($p=0.0001^{**}$), antocianinas en los nudos de la planta ($p=0.0066^{**}$), días a floración ($p=0.0030^{**}$), manchas antocianínicas en el fruto inmaduro ($p=0.0161^{*}$), índice largo-ancho de la hoja cotiledónea ($p=0.0002^{**}$), ancho de la planta ($p=0.0022^{**}$) y altura de la planta ($p=0.0340^{*}$).

subgroup, reaching the ends of the dendrogram. On the left side is a variety of pepper poblano (P01) and the collection of Miahuatlán (M48). These two varieties, although they were collected in different regions showed similarities to settle at CP1 associated with features of very small fruits and brown.

The data obtained for the four groups formed and populations that are not part of any group are described in Table 2. The analysis of variance between groups (data not shown in table) showed statistically significant differences for all the variables that make up the first four main components: fruit weight ($p=0.0001^{**}$), ripe fruit color ($p=0.0001^{**}$), ripened fruit ($p=0.0001^{**}$), length of the placenta ($p=0.0001^{**}$), anthocyanins at the nodes of the plant ($p=0.0066^{**}$), days to flowering ($p=0.0030^{**}$), anthocyanins spots on the immature fruit ($p=0.0161^{*}$), length-width ratio of the cotyledon leaf ($p=0.0002^{**}$), the plant width ($p=0.0022^{**}$) and plant height ($p=0.0340^{*}$).

Cuadro 2. Variables que integran a los primeros cuatro componentes principales, contrastadas con los grupos formados y las colectas individuales.

Table 2. Variables that make up the first four principal components contrasted with the groups formed and individual collections.

GPO [†]	NP	PDF (g)	CFM	CUF	LPL (mm)	APL	DFL	MAF	ILAHC	ALP (cm)	ANP (cm)
I ^{††}	9	14.2	Marrón	Intermedio	23	Morado oscuro	91	0	0.25	44.3	37
II	15	15.1	Negro	Intermedio	23.7	Morado oscuro	82	1	0.25	45.4	35.9
III	15	19.9	Marrón	Intermedio	23.4	Morado oscuro	83	1	0.25	48.4	36.4
IV	4	11.4	Rojo oscuro	Alto	26.9	Morado claro	78	0	0.26	45.3	37.4
P01		7.6	Marrón	Intermedio	22.3	Morado claro	78	0	0.16	53	42.4
M48		6	Marrón	Intermedio	20	verde	95	0	0.2	48.7	39.8
A10		19.1	Rojo oscuro	Intermedio	21	Verde	84	0	0.23	37.9	32.2
L43		7.2	Rojo oscuro	Alto	30	Morado claro	77	0	0.27	42.1	43
L36		8.8	Rojo	Alto	27.7	Morado oscuro	87	0	0.24	49.8	38.5
A49		12.7	Rojo oscuro	Intermedio	16.9	verde	84	0	0.26	38.1	24.1

[†]NP= número de poblaciones; PDF= peso de fruto; CFM= color del fruto maduro; CUF= cuajado del fruto; LPL= longitud de la placenta; APL= antocianinas en los nudos de la planta; DFL= días a floración; MAF= manchas antocianínicas en el fruto (0: ausente, 1: presente); ILAHC= índice ancho-largo de la hoja cotiledónea; ALP= altura de planta; ANP= ancho de la planta. I^{††}, II y III: grupos de chiles poblanos; IV= grupo de chiles anchos y un poblano.

Los resultados de esta investigación reflejan la existencia de diversidad genética en las poblaciones nativas de chiles poblanos de la región de estudio, cuyo origen, al menos parcial, es la selección que por años los agricultores han ejercido sobre estas poblaciones, obteniendo características deseables para ellos y los consumidores, como son tamaño, color, precocidad, longitud de la placenta, presencia de antocianinas en frutos y planta, así como ancho y longitud de la planta, rendimiento, entre otras. Esta misma selección, además de generar

The results of this research reflect the existence of genetic diversity in native populations of poblano peppers in the study region, whose origin, at least in part, is the team that for years farmers have had on these populations, obtaining desirable characteristics for them and consumers, such as size, color, earliness, length of the placenta, the presence of anthocyanins in fruits and plants, as well as width and length of the plant, yield, among others. This same selection and generate genetically different materials has favored the adaptation of these populations to specific locations and environments.

materiales genéticamente diversos ha favorecido la adaptación de estas poblaciones a localidades y ambientes específicos.

La adecuada evaluación y caracterización de la diversidad es importante para iniciar programas dirigidos a selección de variedades rendidoras, rescatando algunos caracteres de interés para aprovechar de manera eficaz este recurso fitogenético (Kadri *et al.*, 2009), posibilitando además la conservación del mismo, ampliando la base genética de los cultivos y de protección para el mismo (Yüzbaşıoğlu *et al.*, 2006). En este contexto, Votava *et al.* (2002 y 2005) indican que la disponibilidad y uso estratégico de la diversidad genética inter e intrapoblacional son pilares sobre los que descansa el futuro del mejoramiento.

Conclusiones

La existencia de diversidad morfológica en las poblaciones de Chile Poblano nativas de la Sierra Nevada de Puebla se debe a variables de fruto, seguida por porte de la planta y precocidad. La separación de las variedades de Chile Poblano de las de Chile Loco y las de Chile Ancho, así como de las introducidas y el híbrido ocurrió con base en estas variables.

Con base en la diversidad morfológica existente se identificaron tres subgrupos en las poblaciones de Chile Poblano y uno de Chile Ancho, determinadas principalmente por peso de fruto, color del fruto maduro, cuajado del fruto, longitud de la placenta, antocianinas en los nudos de la planta, días a floración, manchas antocianínicas en el fruto, índice ancho-largo de la hoja cotiledónea, altura de planta y ancho de la planta.

La formación de los subgrupos en las poblaciones de Chile Poblano no se relacionó con las localidades de colecta de la semilla, debido posiblemente al flujo de semilla, plántula o polen que existe en la región.

Agradecimientos

A la Fundación PRODUCE Puebla y al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI), por el financiamiento para la realización de este proyecto. A Toniél Aguilar Méndez, Fermín Alonso, Víctor Hugo López Ortega y Ricardo López Ortega, por su apoyo en la toma de datos y manejo agronómico del cultivo.

Proper evaluation and characterization of diversity is important to initiate programs aimed at selection of yielding varieties, rescuing some characters of interest to effectively leverage this plant genetic resource (Kadri *et al.*, 2009), also allowing its conservation, expanding the genetic base of crops and protection for the same (Yüzbaşıoğlu *et al.*, 2006). In this context, Votava *et al.* (2002 and 2005) indicate that the availability and strategic use of genetic diversity inter and intra are the pillars on which rests the future of improvement.

Conclusions

The existence of morphological diversity in populations of native pepper poblano de la Sierra Nevada de Puebla is due to variables fruit, followed by plant habit and earliness. The separation of poblano pepper varieties of loco pepper and ancho pepper, as well as those introduced and the hybrid occurred based on these variables.

Based on the existing morphological diversity three subgroups in populations of pepper poblano and one of ancho pepper were identified, mainly determined by fruit weight, color of ripe fruit, fruit set, length of the placenta, anthocyanins in knots plant, days to flowering, anthocyanins spots on the fruit, wide-index over the cotyledon leaf, plant height and width of the plant.

The formation of subgroups in populations of poblano pepper was not related to the towns of collecting seed, possibly due to the flow of seed, seedling or pollen that exists in the region.

End of the English version



Literatura citada

- Aguilar, R. V. H.; Corona, T. T.; López, L. P.; Latournerie, M. L.; Ramírez, R. M.; Villalón, M. H. y Aguilar C. J. A. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI. Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Djian, C. C.; Lefebvre, V.; Sage, D. A. M. and Palloix, A. 2006. *Capsicum*. In: genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement. Vegetable Crops. R. J. Singh (ed). CRC Press. N. Y. USA. 3:185-243.
- Eshbaugh, W. H. 1993. History and exploitation of a serendipitous new crop discovery. In: Janick, J. and Simon, J. E. (Eds.). New crops. Wiley, New York, USA. 132-139 pp.

- Franco, J.; Crossa, J.; Taba, S. and Shands, H. 2005. A sampling strategy for conserving genetic diversity when forming core subsets. *Crop Sci.* 45:1035-1044.
- Geleta, L. F.; Labuschagne, M. T. and Viljoen, C. D. 2005. Genetic variability in pepper (*Capsicum annuum* L.) estimated by morphological data and amplified fragment length polymorphism markers. *Biod. Conservation.* 14:2361-2375.
- González, M. M. and Bosland, P. W. 1991. Strategies for stemming genetic erosion of *Capsicum* germplasm in the Americas. *Diversity* 7:52-53.
- Hernández-Verdugo, S.; Dávila, A. P. y Oyama, K. 1999. Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 64:65-84.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2011. anuario estadístico puebla. aspectos geográficos. Coordenadas geográficas y altitud de las cabeceras municipales. Serie I. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21048.pdf>.
- International Board of Plant Genetic Resources (IBPGR). 1983. Genetic resources of *Capsicum*. *Int. Board Plant Genetic Res. Rome, Italy.* 116 p.
- IPGRI, AVRDC y CATIE. 1995. Descriptores para *Capsicum* (*Capsicum* spp.). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación Relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 51 p.
- Kadri, B. M.; Esiyok, E. and Turhan, K. 2009. Patterns of phenotypic variation in a germplasm collection of pepper (*Capsicum annuum* L.) from Turkey. *Spanish J. Agric. Res.* 7:83-95.
- Latournerie, L.; Chávez, J. L.; Pérez, M.; Hernández, C. F.; Martínez, R.; Arias, L. M. y Castañón, G. 2001. Exploración de la diversidad morfológica de chiles regionales en Yaxcabá, Yucatán, México. *Agron. Mesoam.* 12:41-47.
- Laurentin, H. 2009. Data analysis for molecular characterization of plant genetic resources. *Gen. Res. Crop Ev.* 56:277-292.
- Lefebvre, V.; Palloix, A. and Rives, M. 1993. Nuclear RFLP between pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.). *Euphytica* 71:189-199.
- Long, S. J. 1986. *Capsicum* y cultura: la historia del chili. Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 181 p.
- Martínez, S. D.; Pérez, G. M.; Rodríguez, P. J. E. y Moreno, P. E. C. 2010. Colecta y caracterización morfológica de 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16:169-176.
- Medina, C. I.; Lobo, M. y Gómez, F. A. 2006. Variabilidad fenotípica en poblaciones de ají y pimentón de la colección colombiana del género *Capsicum*. *Rev. Corpoica- Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 7:25-39.
- Moreno, P. E. C.; Cruz, A. O.; Avendaño, A. C. H.; Martínez, D. M. A. T. y Peña, L. A. 2007. Morphological variation in guajillo chili pepper plants (*Capsicum annuum* L.). *Afr. Crop Sci. Soc.* 8:327-332.
- Pickersgill, B. 1997. Genetic resource and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica* 96:129-133.
- Rincón, S. F. y Hernández, C. J. M. 2000. Conservación de recursos fitogenéticos en México. *In: Ramírez V. P.; Ortega, P. R.; López, H. A.; Castillo, G. F.; Livera, M. M.; Rincón, S. F. y Zavala, G. F. (Eds). Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura. Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C. Chapingo, México.* 96-111 pp.
- Rodríguez, J.; Peña, O. V. P.; Gil, M. A.; Martínez, C. B.; Manzo, F. y Salazar, L. L. 2007. Rescate *in situ* del Chile "poblano" en Puebla, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 30:25-32.
- SAS Institute. 2002. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.0. *Statistic Analysis System Institute. Cary, North Carolina, USA.* 1032 p.
- Ulloa, C. 2006. Aromas y sabores andinos. *In: Morales, R. M.; Øllgaard, B.; Kvist, L. P.; Borchsenius, F. y Balslev, H. (Eds). Botánica económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.* 313-328 pp.
- Velásquez, V. R.; Medina, A. M. M. y Luna, R. J. J. 2001. Sintomatología y géneros de patógenos asociados con las pudriciones de la raíz de Chile (*Capsicum annuum* L.) en el Norte Centro de México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 19:175-181.
- Votava, E. J.; Nabhan, G. P. and Bosland, P. W. 2002. Genetic diversity and similarity revealed via molecular analysis among and within an *in situ* population and *ex situ* accessions of chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*). *Conservation Genetics* 3:123-129.
- Votava, E. J.; Baral, J. B. and Bosland, P. W. 2005. Genetic diversity of Chile (*Capsicum annuum* var. *annuum* L.) landraces from Northern New Mexico, Colorado, and Mexico. *Econ. Bot.* 59:8-17.
- Yüzbaşıoğlu E.; Özcan, S. and Açıık, L. 2006. Analysis of genetic relationships among Turkish cultivars and breeding lines of *Lens culinatis* Mestile using RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 53:507-514.