



Caracterización morfológica de poblaciones de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) en la región centro del estado de Veracruz, México

Morphological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) landraces in the central region of Veracruz state, México

Leyva-Ovalle, O. R.¹, Andrés-Meza, P.^{1*}, Del Valle-Hernández, D.², Meneses-Márquez, I.³, Murguía-González, J.¹, Galindo-Tovar, M. E.¹, López-Sánchez, H.⁴, Serna-Lagunes, R.¹, Del Rosario-Arellano, L.⁵, Lee- Espinoza, H. E.¹, Sierra-Macías, M.³, Espinosa-Calderón, A.⁶

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Región Orizaba-Córdoba. Camino antiguo a Amatlán-Peñuela. Amatlán de los Reyes, Córdoba, Veracruz, México. CP. 94950. Tel: 271 7166410.

²Maestría en Horticultura Tropical.

³Campo Experimental Cotaxtla. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km 34.5, carretera Veracruz-Córdoba. C.P. 91700. Medellín de Bravo, Veracruz, México.

⁴Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. Km. 125.5, carretera federal México-Puebla (actualmente Boulevard Forjadores de Puebla), C.P. 72760, Puebla, Puebla, México. Tel: 222 285 07 38.

⁵Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Región Orizaba-Córdoba. Camino antiguo Amatlán-Peñuela. Amatlán de los Reyes, Córdoba, Veracruz, México. CP. 94950. Tel: 271 7166410.

⁶Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 56250. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Leyva-Ovalle, O. R., Andrés-Meza, P., Del Valle-Hernández, D., Meneses-Márquez, I., Murguía-González, J., Galindo-Tovar, M. E., López-Sánchez, H., Serna-Lagunes, R., Del Rosario-Arellano, L., Lee- Espinoza, H. E., Sierra-Macías, M., Espinosa-Calderón, A. (2018). Morphological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) landraces in the central region of Veracruz state, México. *Revista Bio Ciencias* 5, e388. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.05.e388>



ABSTRACT

The heterogeneity, diversity of climates, and selection of cultivars by farmers for the local adaptation have favored the maintenance of numerous species of chili peppers (*Capsicum* spp.) in Mexico. This high genetic diversity offers an excellent alternative for the search of native and semi-domesticated genotypes as a genetic reservoir for genetic improvement and a primary source of phytochemical compounds as a multifunctional food. The objective of the present work was the *in situ* characterization

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: October 27th 2017

Accepted/Aceptado: January 29th 2018

Available on line/Publicado: November 21st 2018

RESUMEN

La heterogeneidad, diversidad de climas y la selección de los agricultores para la adaptación local de cultivares, ha favorecido el mantenimiento de numerosas especies de chiles (*Capsicum* spp.) en México. El estudio y la identificación de genotipos de chiles silvestres y semi-domesticados es importante en la conservación de su reservorio genético para su uso en programas de mejora genética, y la caracterización morfológica apoya la selección de caracteres de compuestos fitoquímicos de interés comercial o de rasgos morfológicos estéticos para mejorar su presentación en el mercado. El objetivo del presente trabajo fue la caracterización *in situ* en 10 frutos de 22 poblaciones de *C. pubescens* Ruiz & Pav., en la región centro del estado de Veracruz, México, a

*Corresponding Author:

Andrés-Meza, P.: Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Región Orizaba-Córdoba. Camino antiguo a Amatlán-Peñuela. Amatlán de los Reyes, Córdoba, Veracruz, México. CP. 94950. Cel: 271 173 5239. E- mail: pandres@uv.mx

in 10 fruits from 22 landraces of *C. pubescens* Ruiz & Pav., in the central region of the state of Veracruz, Mexico, through eight morphological descriptors. The morphological characterization showed that the variables: weight of fruit, length of pedicel, length of placenta, and number of seeds per fruit presented high variation. The Principal Component Analysis of the eight morphological traits showed that the first three components were selected as the principal factors. These components accounted for 77.9 % of the total variation. The cluster analysis gave off six groups or population patterns that differed mainly by the climatic conditions where they thrive. The *C. pubescens* landraces analyzed in the present study, native to central Veracruz, showed high morphological variability, both inter and intra population. This shows the potential of the native *C. pubescens* germplasm, making it also a starting point to establish strategies for a genetic improvement program.

KEY WORDS

Capsicum pubescens Ruiz & Pav., Manzano chili pepper landraces, morphological characterization.

Introduction

The genus *Capsicum* is originally from Mesoamerica and Mexico is the main center of genetic diversity. Recently, studies have been carried out with the objective of identifying the morphotypes of *C. pubescens* in the south of the State of Mexico (Ayala *et al.*, 2017); however, in Veracruz, and especially in the central zone of the state where different morphotypes of *C. pubescens* are grown, they have not been studied. These morphotypes represent a valuable reservoir of germplasm that could be useful to improve this species. Moreover, documenting its morphological variability could be a viable alternative for economic development, which would allow to promote it as a crop with adequate genetic management in order to obtain quality fruits (Sánchez *et al.*, 2010).

In recent years, the market for *Capsicum* has grown exponentially; in 2014, the worldwide production was over 4.3 million ha⁻¹ (FAOSTAT, 2017). Every year, over 140 000 ha of fresh chili pepper are grown in Mexico. The area used in Veracruz is approximately 4008 ha⁻¹, with a mean yield of 6.4 t ha⁻¹ (SIAP, 2016). *C. pubescens* production is reported to be done in

través de ocho descriptores morfológicos. El análisis de caracterización morfológica mostró que las variables peso de fruto, longitud de pedicelo, longitud de la placenta y número de semillas por fruto presentaron alta variación. El Análisis de Componentes Principales de los ocho caracteres morfológicos mostraron que los primeros tres componentes fueron seleccionados como principales factores, los cuales explicaron el 77.9 % de la variación total. El análisis de conglomerados arrojó seis grupos o patrones poblacionales, diferenciadas principalmente por las condiciones climáticas en las cuales prosperan. Las poblaciones analizadas en este estudio de *C. pubescens* originarias del centro de Veracruz, presentaron alta variabilidad morfológica inter e intrapoblacional, lo cual muestra el potencial de germoplasma nativo de *C. pubescens*, y es un inicio para establecer estrategias de un programa de mejoramiento genético.

PALABRAS CLAVE

Capsicum pubescens Ruiz & Pav., poblaciones nativas, caracterización morfológica.

Introducción

El género *Capsicum* es uno de los cultivos originarios de Mesoamérica, y México es el principal centro de diversidad genética. Recientemente se han realizado estudios con el objetivo de identificar morfotipos de *C. pubescens* en el sur del Estado de México (Ayala *et al.*, 2017); pero en Veracruz y particularmente en la zona central del estado, donde se cultivan diferentes morfotipos de *C. pubescens* no han sido investigados, los cuales representan un valioso reservorio de germoplasma que pudiera ser de utilidad en el mejoramiento de esta especie. Adicionalmente, documentar su variabilidad morfológica puede ser una alternativa viable para el desarrollo económico, lo que permitirá impulsarlo como un cultivo con un manejo genético adecuado para obtener frutos de calidad (Sánchez *et al.*, 2010).

En los últimos años, el comercio para *Capsicum* ha crecido exponencialmente; en 2014, la producción a nivel mundial rebasó 4.3 millones de ha⁻¹ (FAOSTAT, 2017). Cada año en México más de 140 000 ha son sembradas con chile fresco. El área sembrada en Veracruz es de aproximadamente 4008 ha⁻¹, con un rendimiento promedio de 6.4 t ha⁻¹ (SIAP, 2016). Para *C. pubescens* se reporta que su producción se realiza

backyard gardens and areas no greater than five ha, in association with fruit trees. It is mainly a rainfed crop and its yields are relatively low, 5 to 7 t/ha/year (Barrios-Puente *et al.*, 2014).

The heterogeneity, diversity of climates, and selection of cultivars by farmers for the local adaptation have favored a high variability of morphotypes and subtypes of chili peppers (Pickersgill, 1997; Hernández *et al.*, 1999; Lefebvre, 2004; Portis *et al.*, 2006). In Mexico, "Manzano" or "Wax" chili pepper is the fifth most important species of the *Capsicum* genus grown due to the economic influx that it generates as well as its use in traditional dishes, which makes it highly demanded (Pérez & Castro, 2008).

Cultivation and production of Manzano chili pepper are limited to the high and cold areas of the country, at altitudes ranging from 1300 to 2400 m. The main producing areas in Mexico are Tacámbaro and Zitácuaro in Michoacán, Altotonga, Zongolica, and Huatusco in Veracruz, Teziutlán in Puebla, Coatepec Harinas and Tenancingo in the State of Mexico, and less so in Chiapas and Oaxaca (Espinoza & Villa, 2008). Given the importance of and demand for this species in Mexico and the United States of America, a collection of Manzano chili pepper fruits was done in two contrasting zones in the central region of the state of Veracruz. The morphological characterization in fruits will help to identify superior landraces and will give the breeders information to establish strategies for genetic improvement aimed at producing high-yield varieties and hybrids, commercial quality fruits, tolerance to pests and diseases, and showing high adaptability. Currently, there are few studies on the genetic diversity in Manzano chili pepper landraces in Mexico, especially in the central region of the state of Veracruz. Therefore, the present research work was focused on the morphological characterization of fruits from 22 landraces collected in two contrasting regions in the central region of the state of Veracruz.

Materials and Methods

Exploration communities. A total of 22 collections of Manzano chili pepper were done (Figure 2), most of them from plants over one year of age. The collection routes were through pathways, backyards, family gardens, and coffee and banana plantations. The collections were done in two totally

en huertos de traspatio y en superficies de no más de 5 ha (asociado con árboles frutales), es un cultivo de temporal y sus rendimientos son relativamente bajos, cinco a siete t/ha/año (Barrios-Puente *et al.*, 2014).

La heterogeneidad, diversidad de climas y la selección de los agricultores para la adaptación local de cultivares, han favorecido una gran variabilidad de morfotipos y subtipos de chiles : (Pickersgill, 1997; Hernández *et al.*, 1999; Lefebvre, 2004; Portis *et al.*, 2006). En México, el chile "Manzano" o "Cera" es la quinta especie cultivada más importante dentro del género *Capsicum*, debido a la derrama económica que genera, y su uso en la preparación de platillos tradicionales, razón por el cual es altamente demandado (Pérez & Castro, 2008).

El cultivo y producción de chile Manzano se limita a zonas altas y frías del país, en altitudes que van de 1300 a 2400 m. Las principales áreas productoras en México son Tacámbaro y Zitácuaro, Mich., Altotonga, Zongolica y Huatusco, Ver., Teziutlán, Pue., Coatepec Harinas y Tenancingo, estado de México, respectivamente, y en menor escala Chiapas y Oaxaca (Espinoza & Villa, 2008). Debido a su importancia y al incremento de la demanda de esta especie en México y Estados Unidos, se llevó una recolecta de frutos de chile manzano a través de dos zonas contrastantes en la región centro del estado de Veracruz. La caracterización morfológica en fruto ayudará a identificar poblaciones superiores y proveerá al mejorador información para establecer estrategias de mejoramiento genético, encaminado a producir variedades e híbridos de alto rendimiento, frutos con calidad comercial, tolerante a plagas y enfermedades, y que exhiban una amplia adaptación. Actualmente existen pocos estudios sobre la diversidad genética existente en poblaciones de chile Manzano en México y de manera particular en la región central del estado de Veracruz. Por ello, el presente trabajo de investigación se enfocó en la caracterización morfológica de frutos de 22 poblaciones recolectadas en dos regiones contrastantes de la región centro del estado de Veracruz.

Materiales y Métodos

Comunidades de exploración. Se obtuvo un total de 22 recolectas de chile Manzano (Figura 2) provenientes en su mayoría de plantas de más de un año de edad. Las rutas de recolecta fueron a través de caminos, solares, huertos familiares, fincas de café y plátano. Se seleccionaron dos regiones totalmente contrastantes, a

contrasting regions, these being: region A, made up of the municipalities of Zongolica, Ixhuacán, Mixtla de Altamirano, and Tehuipango; and region B with the municipalities of Calchahuaco, Alpatlahuac, Chocamán, Coscomatepec, and Huatusco, Veracruz. Region A has a Cf climate with constant rainfall, while region B has a Cw climate with a dry winter (Díaz *et al.*, 2006). In both regions, the inter and intra population phenotypic variability was checked (Figure 2), as reported by Pérez *et al.* (2004). The Manzano chili pepper collection and *ex situ* morphological characterization were done from November 2016 to March 2017. The exploration communities were selected based on previous studies done by Pérez *et al.* (2004), as well as on information given by merchants and citizens of the explored municipalities. In each collection site, the coordinates were registered with a Garmin Etrex® GPS, and noted in a map to identify the sampling locations (Figure 1).

saber, región A: comprendió los municipios de Zongolica, Ixhuacán, Mixtla de Altamirano y Tehuipango; región B: los municipios de Calchahuaco, Alpatlahuac, Chocamán, Coscomatepec, y Huatusco, Ver. La región A, presenta un tipo de clima Cf con precipitaciones constantes. La región B, comprende un tipo de clima Cw con invierno seco (Díaz *et al.*, 2006). En ambas regiones, se constató de la variabilidad fenotípica existente intra e interpoblacional (Figura 2), tal como lo reportan Pérez *et al.* (2004). La recolección de frutos de chile manzano y caracterización morfológica *in situ* se realizó de noviembre 2016 a marzo 2017. Las comunidades de exploración se seleccionaron con base en estudios previos realizados por Pérez *et al.* (2004), así como información provista por comerciantes y pobladores de los municipios explorados. En cada lugar de recolección se registraron las coordenadas con GPS Garmin Etrex® las cuales se marcaron en un mapa para identificar las localidades de muestreo (Figura 1).

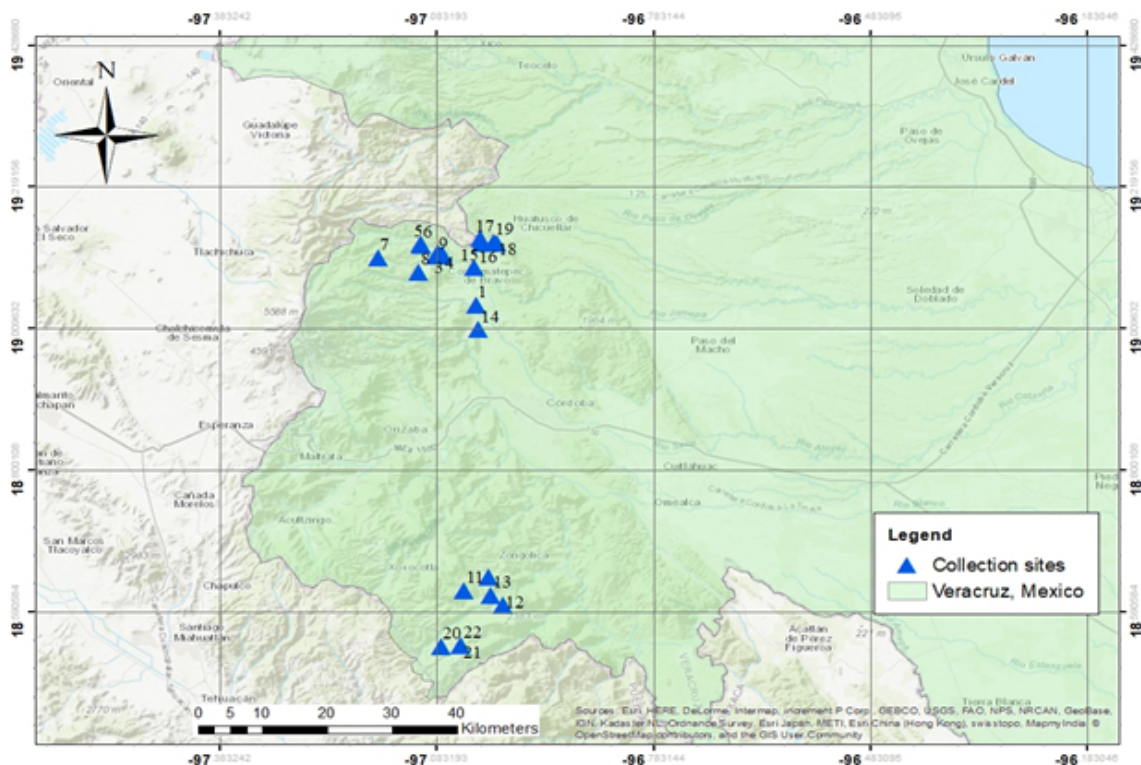


Figure 1. Geographical location of the collection sites of 22 Manzano chili pepper landraces in the central region of Veracruz.

Figura 1. Localización geográfica de los lugares de recolección de 22 poblaciones de chile Manzano en la región centro de Veracruz.

Evaluated descriptors. Ten fruits were collected each from five plants in each location; all the sampled fruits were placed in paper bags and taken to the Genetic Resources Management and Conservation Unit of the Biological and Agricultural Science School of the Universidad Veracruzana, where they were characterized and the seeds were taken out. Eight morphological variables were evaluated in the sampled fruits, in accordance to the descriptors for *Capsicum* by the IPGRI (1995). These descriptors were: length of fruit (cm), width of fruit (cm), weight of fruit (g), length of pedicel (mm), thickness of fruit (mm), number of locules, length of placenta (mm), and number of seeds per fruit. These descriptors were chosen based on the recommendations of the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1995) for mature *Capsicum* fruits.

Statistical methods. With the measurements of each variable per collection, a principal component analysis (PCA) was done, which included the 22 collections and the 8 variables, standardized to $\mu = 0$ and $\sigma^2 = 1$. The estimation of the principal components was done with the correlation matrix so that the variables involved in the analysis were all of the same importance. From the correlation matrix, a cluster analysis was done through the Ward method; the measurement of unlikelihood was the Euclidean distance between groups. In both cases, the SAS/STAT® ver. 9.0 (SAS Institute Inc, 1990) software was used.

Results and Discussion

Even though in this study color was not evaluated as a morphological descriptor, it is worth mentioning that in both regions A and B, there were fruits ranging in hue from opaque red to intense red (MV4, MV8, and MV13) (Figure 2) and from lemon-yellow to orange (MV5 and MV17) (Figure 2). The first landraces (red fruits) are at risk of genetic erosion since their spice levels are low (50 Scoville); they generally have one or two pear-shaped locules, which makes them undesirable for local cuisine and therefore are not grown that often (Ayala *et al.*, 2017). Contrastingly, the yellow landraces are more commercialized locally and in the region. These landraces generally have three or four pear-shaped locules and are more appreciated by the consumers since they are spicier (hotter) (Pérez *et al.*, 2004).

Descriptores evaluados. Se recolectaron 10 frutos de cinco plantas en cada localidad; todos los frutos de las plantas muestreadas se guardaron en bolsas de papel y se trasladaron a la Unidad de Manejo y Conservación de Recursos Genéticos de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, donde se caracterizó y después se extrajeron las semillas. En los frutos muestreados se evaluaron ocho variables morfológicas, de acuerdo con los descriptores para *Capsicum* del IPGRI (1995). Tales descriptores fueron: longitud de fruto (cm), ancho de fruto (cm), peso de fruto (g), longitud de pedúnculo (mm), espesor de fruto (mm), número de lóculos, longitud de placenta (mm) y número de semillas por frutos. Estos descriptores se eligieron con base a las recomendaciones del International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1995) para frutos maduros de *Capsicum*.

Métodos estadísticos. Con las medias de cada variable por colecta se realizó un análisis de componentes principales (PCA) que incluyeron las 22 colectas y las ocho variables las cuales se estandarizaron a $\mu = 0$ y $\sigma^2 = 1$. La estimación de los componentes principales se hizo con la matriz de correlaciones, con la finalidad de que las variables involucradas en el análisis tuvieran la misma importancia. A partir de la matriz de correlaciones se realizó un análisis de conglomerados por el método de Ward, la medida de disimilitud fue la distancia euclidiana entre grupos; para ambos casos se utilizó el programa SAS/STAT® versión 9.0 (SAS Institute Inc, 1990).

Resultados y Discusión

Aunque en este estudio no se evaluó la coloración del fruto como un descriptor morfológico, es relevante mencionar que en la región A y B, se encontraron frutos con tonalidades que fueron de rojo opaco a rojo intenso (MV4, MV8 y MV13) (Figura 2) y de amarillo-limón a naranja (MV5 y MV17) (Figura 2). Las primeras poblaciones (frutos color rojo), tienen riesgo de erosión genética, debido a que los niveles de picor son bajos (50 Scoville), generalmente presentan de uno a dos lóculos en forma de pera, que los hace desagradables para la cocina local y por tanto se evita su cultivo (Ayala *et al.*, 2017). En contraste, las poblaciones amarillas son las más comercializadas a nivel local e incluso regional. Dichas poblaciones presentan generalmente de tres a cuatro lóculos en forma de manzana y que desde la percepción del consumidor son los más apreciados, toda vez que los niveles de picor son altos (Pérez *et al.*, 2004).



Figure 2. Manzano chili pepper landraces showing great morphological variability in some fruits. Photograph: David Del Valle Hernández and José Luis Del Rosario Arellano.

Figura 2. Poblaciones de chile Manzano que muestra alta variabilidad morfológica en algunos frutos. Fotografía: David Del Valle Hernández y José Luis Del Rosario Arellano.

The analysis of variance detected highly significant differences ($p \leq 0.05$) between collections in all variables (Table 1). The highest variation coefficients (25.8 to 28.5 %) were obtained in number of seeds per fruit, weight of fruit, and length of placenta. This indicates high variability in the behavior of the landraces found *in situ*.

The principal component analysis (PCA) showed that the first three components make up 77.9 % of the total morphological variability (Table 2). PC1 made up 42.18 % of the total variation, where the variables with the greatest contributions were weight of fruit, length of pedicel, thickness of fruit, and number of seeds per fruit. This component was

El análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) entre colectas para todas las variables (Cuadro 1). Los mayores coeficientes de variación (25.8 a 28.5 %) se obtuvieron en número de semillas por fruto, peso de fruto y longitud de la placenta, que indican variabilidad alta en el comportamiento de las poblaciones encontradas de manera *in situ*.

El análisis de componentes principales (PCA) mostró que los tres primeros componentes explican el 77.9 % de la variabilidad morfológica total (Cuadro 2). El PC1 explicó 42.18 % de la variación total, donde las variables de mayor contribución fueron peso de fruto, longitud del pedicelo del fruto, espesor de la pared del fruto y número de semillas por fruto; este

Table 1.

Average, variation coefficient (VC) and mean square (MS) of each traits in 22 accessions of Manzano hot pepper in the central region of Veracruz. 2016.

Tabla 1.

Promedios, coeficientes de variación (CV) y cuadrados medios (CM) de cada variable evaluada en 22 colectas de chile Manzano en la región centro de Veracruz. 2016.

Traits	Average	CV (%)	CM
Fruit length [cm]	5.2	14.3	0.7**
Fruit width [cm]	3.6	13.7	0.5**
Fruit weight [g]	24.8	28.3	7.0**
Fruit pedicel length [mm]	30.4	13.7	4.2**
Fruit wall thickness [mm]	4.3	17.4	0.8**
Number of locules	2.4	21.1	0.5**
Placenta length [mm]	2.0	28.6	0.6**
Number of seeds per fruit	54.1	25.9	14.0**

* y ** significativamente diferentes a un nivel de ($P \leq 0.05$) y ($P \leq 0.01$), respectivamente.

* and ** significantly different at a level ($P \leq 0.05$) and ($P \leq 0.01$), respectively

made up of features that determine the size of the fruit and which allowed us to distinguish the landraces with small fruits (Table 2).

PC2 made up 26.24 % of the total variation. The variables regarding number of locules, length of placenta, and number of seeds per fruit contributed positively to this component, while length of fruit did so negatively. With this second component, we were able to distinguish the Manzano chili pepper landraces with greater internal dimension (Table 2). Moreover, the fruits with a higher number of locules proved to have a higher number of seeds. Nevertheless, this is not true for all landraces; some landraces with a single locule had twice as many seeds as those fruits with three or four locules. Pérez *et al.* (2004) mention that that yellow, apple-shaped fruits with three or four locules are generally preferred over red or orange, pear-shaped fruits which generally have one or two locules.

Meanwhile, PC3 contributed 9.54 % of the variation and is directly related with fruit width. This component helped to differentiate pear-shaped fruits with a lower number of locules. These results coincide with studies done by Chavez & Castillo (1999) who found that the first three components explained 91.86 %

componente estuvo formado por caracteres que determinan las dimensiones del fruto; y que nos permitió distinguir las poblaciones con tamaño de fruto pequeño (Cuadro 2).

El PC2 explicó 26.24 % de la variación total, las variables número de lóculos, longitud de placenta y número de semillas por fruto contribuyeron en forma positiva a este componente; mientras que longitud de fruto lo hizo de manera negativa. Con este segundo componente fue posible distinguir las poblaciones de chile Manzano con una mayor dimensión interna del fruto (Cuadro 2). Asimismo, se constató que los frutos con mayor número de lóculos presentaron mayor número de semillas. Sin embargo, no se presentó en todas las poblaciones; algunas poblaciones con un lóculo presentaron el doble de semilla que aquellos frutos con tres o cuatro lóculos. Pérez *et al.* (2004) mencionan que los frutos amarillos en forma de manzana con tres o cuatro lóculos son generalmente preferidos que aquellos frutos de color rojo o naranja en forma de pera y que generalmente presentan de uno a dos lóculos.

De la misma forma el PC3 contribuyó con 9.54 % de la variación y se relaciona directamente con el ancho de fruto. Este componente nos ayudó a diferenciar frutos con un menor número de lóculos y en forma de pera. Estos resultados coinciden con estudios realizados por Chávez & Castillo (1999), quienes encontraron que los primeros tres componentes

of the variation observed between Manzano chili pepper landraces; however, in our study, the higher variability is inter-population. Latournerie *et al.* (2002) found 79.5 % of the morphological phenotypical variability in collections of wild chili peppers and Habanero chili peppers in Yaxcaba, Yucatan, mainly originating in interspecific variation, resulting from a wide phenotypical diversity. Narez *et al.* (2014) found 73.27 % of the total variation in collections of wild chili peppers in the state of Tabasco, Mexico.

explicaron 91.86 % de la variación observada entre las poblaciones de Chile Manzano, sin embargo en nuestro estudio la mayor variabilidad está alojada a nivel intrapoblacional. Latournerie *et al.* (2002), encontraron 79.5 % de la variabilidad morfológica fenotípica en colectas de chiles silvestres y Chile Habanero en Yaxcaba, Yucatán, originada principalmente por la variación interespecífica, como resultado de una amplia diversidad fenotípica. Narez *et al.* (2014), encontraron 73.27 % de la variabilidad total en colectas de chiles silvestres en el estado de Tabasco, México.

Table 2.

Vectors and eigenvalues of the analysis of principal components and descriptive value of the total variance in Manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) in the central region of Veracruz.

Tabla 2.

Vectores y valores propios del análisis de componentes principales y valor descriptivo de la varianza total en colectas de Chile Manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) en la región centro del estado de Veracruz.

Traits	PC1	PC2	PC3
Fruit length [cm]	-0.569	-0.646	-0.022
Fruit width[cm]	-0.330	0.312	-0.862
Fruit weight[g]	-0.890†	-0.215	0.109
Fruit pedicel length [mm]	-0.711	0.272	0.091
Fruit wall thickness [mm]	-0.627	-0.531	-0.055
Number of locules	-0.475	0.732	-0.109
Placenta length [mm]	0.084	0.690	0.199
Number of seeds per fruit	-0.659	0.461	0.360
Eigenvalues	3.374	2.099	0.763
Variance explained (%)	42.175	26.239	9.539
Cumulative variance (%)	42.175	68.414	77.953

†= Variables that contribute to the component; CP= principal component.

†= variables que aportan variación al componente; CP= Componente principal.

The cluster analysis grouped the 22 collections into six morphologically different groups (Figure 3). Group 1 corresponds to collections MVCO1, MVTE13, MVCA2, MVCO15, and MVHU16 and was characterized for having the highest length of pedicel, ranging from 28.7 to 39.6 mm, as well as the highest number of locules, 2 to 3, respectively. The altitude range in the collection sites varied from 1365 to 1762 m (Figure 1). Despite grouping landraces from geographically isolated zones, the fruits share similar intra-population morphological characteristics.

El análisis de conglomerados agrupó las 22 colectas en seis grupos morfológicamente diferentes (Figura 3). El grupo I, corresponde a las colectas MVCO1, MVTE13, MVCA2, MVCO15 y MVHU16 y se caracterizaron por presentar la mayor longitud de pedúnculo en un intervalo de 28.7 a 39.6 mm, así como el mayor número de lóculos que varió de 2 a 3, respectivamente. El rango altitudinal en los sitios de colecta varió de 1365 a 1762 m (Figura 1); no obstante, a pesar de agrupar poblaciones de zonas aisladas geográficamente, se observa que comparten características morfológicas similares a nivel intrapoblacional.

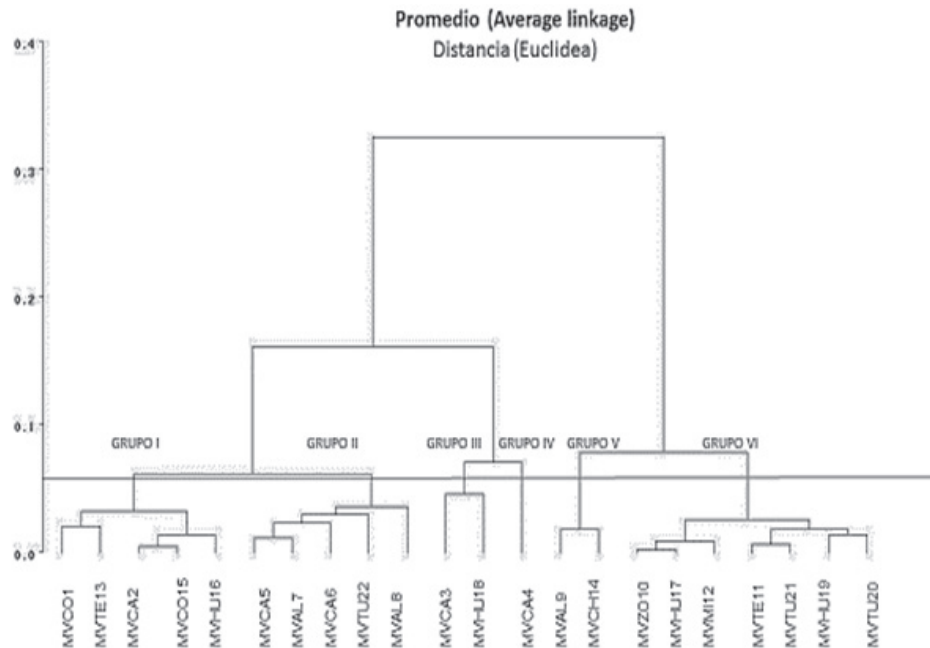


Figure 3. Hierarchical classification of 22 Manzano hot pepper landraces collected in the central region of Veracruz, obtained using the Ward method.

Figura 3. Clasificación jerárquica de 22 poblaciones de chile Manzano, recolectadas en la región centro de Veracruz, obtenido a partir del método de Ward.

Group II was made up of the landraces MVCA5, MVAL7, MVCA6, MVHU22, MVAL8, which were characterized for having the greatest number of seeds per fruit, with means ranging from 54.8 up to 86.1 seeds per fruit, respectively. In this sense, the MVAL8 landrace had the highest number of seeds per fruit at 86.1 while the MVTU20 landrace had the lowest number of seeds per fruit at 34.2, respectively.

Group III was integrated with landraces MVCA3 and MVHU18. Both of these landraces are characterized for having wider fruits which varied from 5.8 to 7.4 cm in MVCA3 and from 3.3 to 6.6 cm in MVHU18, respectively. Also, it is important to mention that these two landraces had the highest frequency in number of locules (>70 %), which is an important characteristic for consumers (Pérez *et al.*, 2004).

Group IV was made up of only the MVCA4 landrace from the municipality of Calcahualco. It was characterized for having the highest means regarding length, width, weight, and thickness of the fruit wall with 6.33 cm, 4.29 cm, 48.54 g, and 5.93 mm, respectively. This landrace

El grupo II se integró por las poblaciones MVCA5, MVAL7, MVCA6, MVHU22 y MVAL8, que se caracterizaron por presentar la mayor cantidad de semillas por fruto con promedios que variaron de 54.8 hasta 86.1 semillas por fruto, respectivamente. En este sentido la población MVAL8 presentó el mayor número de semilla por fruto de 86.1, en contraste la población MVTU20 presentó frutos con el menor número de semillas con 34.2, respectivamente.

El grupo III se integró con las poblaciones MVCA3 y MVHU18, ambas poblaciones se caracterizaron por poseer mayor ancho de fruto y éste varió de 5.8 a 7.4 cm en MVCA3 y de 3.3 a 6.6 cm en MVHU18, respectivamente. Además, es importante señalar que estas dos poblaciones presentaron la mayor frecuencia en números de lóculos (>70 %), característica de interés por los consumidores (Pérez *et al.*, 2004).

El grupo IV se formó únicamente con la población MVCA4 proveniente del municipio de Calcahualco y se caracterizó por presentar los promedios más altos de longitud, ancho, peso y espesor de la pared de fruto con 6.33 cm, 4.29 cm, 48.54 g y 5.93 mm, respectivamente. Esta población

represents an important genetic reservoir susceptible of being used in a genetic improvement program to obtain varieties and hybrids with agricultural potential in the medium and long terms.

Group V was integrated by landraces MVAL9 and MVCH14, characterized for having the lowest values in weight and length of fruit, 16 g and 4.14 cm, respectively.

Lastly, group VI was integrated by collections MVZO10, MVHU17, MVM12, MVTE11, MVTU21, MVHU19, and MVTU20, characterized for having low values regarding width and length of placenta in fruits, averaging 3.06 and 1.84 cm, respectively. The geographical range varied from 1373 to 2369 m, which changes the paradigm of many authors who state that this crop can only be found at altitudes >1500 m; in other papers, they state that altitude is a variable correlated with environmental conditions where specific phenotypes thrive, being low temperatures which decrease the characteristics of the fruit (Pérez *et al.*, 2004; CONABIO, 2010; Meckelmann *et al.*, 2015; Espinosa & Ramírez, 2016).

Conclusion

The *C. pubescens* landraces collected in the central part of the state of Veracruz show high inter-population morphological variability in every location where they thrive and wide intra-population variation between contrasting locations. The MVCA4 landrace showed the best characteristics in fruit, and represents an important phenotypical reservoir susceptible to initiate a morphotypes improvement program with agricultural potential and high heritability. We suggest continuing with exploratory studies to identify more *C. pubescens* landraces with commercially important characteristics that can be included in hybridation and germplasm conservation programs.

References

- Ayala-Arias, B., Mejía-Carranza, J., Martínez-Estrada, I., Rubí-Arriaga, M., and Vázquez-García, L. M. (2017). Caracterización morfológica de híbridos de chile manzano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4): 825-836. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v8i4.10>
- Barrios-Puente, G., Espinosa-Torres, L. E., Figueroa-Hernández, E., and Ramírez-Abarca, O. (2014). Evaluación técnica, financiera y comercial de los sistemas de producción de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) en México. *Análisis Económico*, 29(71): 210-219. <http://www.redalyc.org/html/413/41333722010/>
- Chávez S. J. L., y Castillo G. F. (1999). Variabilidad en caracteres morfológicos de colectas de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 22, 27-41.

representa un importante reservorio genético susceptible de utilizarse en un programa de mejoramiento genético para la obtención de variedades e híbridos con potencial agronómico a mediano y largo plazo.

El grupo V se integró con las poblaciones MVAL9 y MVCH14, donde se caracterizaron por presentar los valores más bajos en peso y longitud de fruto de 16 g y 4.14 cm, respectivamente.

Por último, el grupo VI estuvo integrado por las colectas MVZO10, MVHU17, MVM12, MVTE11, MVTU21, MVHU19 y MVTU20 y se caracterizaron por presentar bajos valores en los caracteres de ancho y longitud de placenta en fruto, con promedios de 3.06 y 1.84 cm, respectivamente. El rango geográfico varió de 1373 a 2369 m, lo cual cambia el paradigma de muchos autores que afirman que este cultivo sólo se encuentra en altitudes de >1500 m, ya que en otros trabajos determinan que la altitud es un variable correlacionada con las condiciones ambientales en las cuales prosperan fenotipos particulares, siendo las bajas temperaturas las que disminuyen las características del fruto (Pérez *et al.*, 2004; CONABIO, 2010; Meckelmann *et al.*, 2015; Espinosa & Ramírez, 2016).

Conclusión

Las poblaciones de *C. pubescens* recolectadas en el centro del estado de Veracruz, presentan alta variabilidad morfológica interpoblacional en cada localidad donde prosperan e amplía la variación intrapoblacional entre las localidades contrastantes. La población MVCA4 presentó las mejores características en fruto y esta representa un importante reservorio fenotípico susceptible para iniciar un programa de mejora de morfotipos con potencial agronómico con una alta heredabilidad. Asimismo, se sugiere continuar con estudios exploratorios para identificar más poblaciones de *C. pubescens* con caracteres de interés comercial, que pueden incluirse en programas de hibridación y conservación de germoplasma.

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2010). Chile. <https://www.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/chile.html>. (Last checked May 4th 2018).
- Díaz, P. G.; Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Cano, G. M. A. and Serrano, A. V. (2006). Estadísticas climáticas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Libro Técnico Núm. 13. Veracruz, México. 292 p.
- Espinosa T. L. E & Villa G. A. (2008). Regiones productoras de chile manzano. *Revista Extensión al Campo*. Universidad Autónoma Chapingo. Año II, num. 07-08. pp. 8-12.
- Espinosa T. L. E., & Ramírez A. O. (2016). Rentabilidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) producido en invernadero en Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2): 325-335 <http://www.redalyc.org/html/2631/263145278009/>
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2017). Datos de producción mundial en toneladas cosechadas de chiles secos y en verde. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. (Last checked May 1st 2017).
- Hernández V. S., Aranda D. P., and Oyama, K. (1999). Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. Review of taxonomy, origin and domestication of the genus *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. (64): 65-84.
- IPGRI. (Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos) (1995). Descriptors for *Capsicum* (*Capsicum* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy; the Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan, and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica., 17(61.916): 4-68. (Last checked: May 10th 2017).
- Latournerie, L., Chávez, J. L., Pérez, M., Castañón, G., Rodríguez, S. A., Arias, L. M., y Ramírez, P. (2002). Valoración *in situ* de la diversidad morfológica de chiles (*Capsicum annuum* L. y *Capsicum chinense* Jacq.) en Yaxcabá, Yucatán. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(1): 25-33. <http://www.redalyc.org/pdf/610/61025104.pdf>
- Lefebvre, V. (2004). Molecular markers for genetics and breeding: development and use in pepper (*Capsicum* spp.). p 189-214. In: Molecular marker systems in plant breeding and crop improvement. SpringerBerlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-26538-4_11
- Meckelmann, S. W., Jansen, C., Riegel, D. W., van Zonneveld, M., Ríos, L., Peña, K., and Petz, M. (2015). Phytochemicals in native Peruvian *Capsicum pubescens* (rocoto). *Investigación y tecnología alimentaria europea*, 24(1): 817-825. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2506-y>
- Narez J. C. A., de la Cruz L. E., Gómez V. A., Castañón N. G., Cruz H. A., and Márquez Q.C. (2014). La diversidad morfológica *in situ* de chiles silvestres (*Capsicum* spp.) de Tabasco, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(3): 209-215. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000300005
- Pérez G. M., González H. V. A., Mendoza C. M. C., Peña V. C., Peña L. A., and Sahagún C. J. (2004). Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.) landraces. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(1): 88-92. <http://journal.ashspubli-cations.org/content/129/1/88.full.pdf>
- Pérez G. M. & R. Castro B. (2008). El Chile Manzano. Editorial de la Universidad Autónoma Chapingo. 128 p.
- Pickersgill, B. (1997). Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica*, 96(1): 129-133. <https://doi.org/10.1023/A:1002913228101>
- Portis, E., Nervo, G., Cavallanti, F., Barchi, L., and Lanteri, S. (2006). Multivariate analysis of genetic relationships between Italian pepper landraces. *Cropscience*, 46(6): 2517- 2525. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.04.0216>
- SIAP. (El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2016). Cierre de producción agrícola por estado. (Last checked May 1st 2017).
- Sánchez, S. H.; González, H. V.; Cruz, P. A.; Pérez, G. M.; Gutiérrez, E. A.; Gardea, B. A. and Gómez, L. M. (2010). Herencia de capsaicinoides en chile Manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). *Agrociencia*. 44(6): 655-665. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952010000600005&script=sci_arttext
- SAS (Statistic Analysis System). (1990). Institute Inc., Cary North Carolina, EE. UU.