

# CALIDAD POSCOSECHA DE 40 POBLACIONES DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) NATIVAS DE MÉXICO

## POST-HARVEST QUALITY OF 40 COLLECTIONS OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) NATIVE OF MEXICO

Ana María Magallanes-López<sup>1</sup>, María Teresa Martínez-Damián<sup>1</sup>, Jaime Sahagún-Castellanos<sup>1</sup>, Laura Josefina Pérez-Flores<sup>2</sup>,  
Iván Maryn Marín-Montes<sup>1</sup>, Juan Enrique Rodríguez-Pérez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. 26230. Chapingo, Estado de México. (erodriguezx@yahoo.com.mx). <sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Avenida San Rafael Atlixco 186, Leyes de Reforma 1ra Sección. C. P. 09340. CDMX. México.

### RESUMEN

En la mejora de la calidad física, química y nutricional del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), con frecuencia se recurre a acervos silvestres con el fin de aprovechar su variación genética, lo cual genera la necesidad de identificar sus cualidades. El objetivo de la presente investigación fue caracterizar la calidad poscosecha de fruto de 40 poblaciones de tomate nativo de México, mediante el estudio de parámetros de calidad física, química y hedónica, para generar información que oriente su conservación y uso dentro del mejoramiento genético. Las accesiones se establecieron en condiciones de invernadero, en sistema hidropónico abierto con sustrato de arena volcánica, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con cinco repeticiones. La calidad de fruto se evaluó mediante características físicas (peso, índice de redondez, porcentaje de pulpa y firmeza), químicas (contenido de sólidos solubles, ácidos orgánicos y vitamina C) y hedónicas (color, forma, aroma, sabor y jugosidad). Mediante un análisis multivariado de agrupamiento se detectaron cuatro grupos de accesiones; un análisis discriminante corroboró la pertinencia de dichos conjuntos y mostró que las agrupaciones se basaron principalmente en caracteres relativos a la calidad física y hedónica. Análisis de varianza y comparaciones de medias indicaron diferencias estadísticas entre grupos. Así, en las poblaciones se identificaron cualidades de interés con posibilidades de uso en el mejoramiento genético de la calidad poscosecha. La conservación eficiente, que mantenga la variación genética de las recolecciones evaluadas, puede lograrse con el resguardo de 62.5% de ellas.

### ABSTRACT

In improving physical, chemical and nutritional quality of tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.), breeders often turn to wild stock to use its genetic variation. However, this generates the need to identify its qualities. The objective of this study was to characterize postharvest quality of the fruit of 40 native populations of Mexico through the study of physical, chemical and sensorial quality parameters to generate information to orient their conservation and use in genetic improvement. Accessions were established in a greenhouse in an open hydroponic system with volcanic sand as substrate, and under an experimental design of complete randomized blocks with five replications. Fruit quality was evaluated by assessment of physical (weight, roundness index, pulp percentage and firmness), chemical (contents of soluble solid, organic acids and vitamin C), and sensorial (color, shape, aroma, flavor and juiciness) characteristics. Using a multivariate cluster analysis, four groups of accessions were detected. A discriminant analysis corroborated the pertinence of these sets and showed that the groupings were based mainly on traits related to physical and sensorial quality. Analysis of variance and comparison of means indicated statistical differences between groups. Thus, qualities of interest with possibility of use in genetic improvement of postharvest quality were identified in the wild populations. Efficient conservation that can maintain genetic variation of the collections evaluated can be achieved by protecting 62.5% of them.

**Key words:** chemical quality, physical quality, hedonic quality, soluble solids, titratable acidity, vitamin C.

---

\* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: febrero, 2019. Aprobado: mayo, 2020.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 54: 779-xxx. 2020.

**Palabras clave:** calidad química, calidad física, calidad hedónica, sólidos solubles, acidez titulable, vitamina C.

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es originario de la región andina de América del Sur, donde se encuentran diversas especies del género *Solanum*. Sin embargo, la hipótesis más aceptada sugiere que su domesticación ocurrió en México (Rick, 1986), debido a la amplia variabilidad observada en las poblaciones de este país (Peralta y Spooner, 2007). La conservación de las variedades de tomate autóctonas ha ocurrido a través de poblaciones semi-domesticadas y silvestres de agricultores tradicionales (Chávez-Servia *et al.*, 2011; Pacheco-Triste *et al.*, 2014; Ríos-Osorio *et al.*, 2014a). Sin embargo, la domesticación de plantas generó el incremento de la productividad, aunque de manera simultánea redujo la variación genética de los cultivos (Ladizinsky, 1998). Por esta razón, una práctica en el mejoramiento genético es recurrir a ancestros nativos con el propósito de identificar y recuperar caracteres de interés perdidos durante la selección y mejoramiento, en especial los asociados a las tolerancias adquiridas a través de su adaptación a condiciones abióticas adversas (Zamir, 2001), a patógenos en pre y poscosecha (Bao *et al.*, 2007), y a las involucradas en la calidad de fruto.

No obstante, al emplear materiales nativos de manera directa como progenitores, por lo general hay efectos negativos sobre la adaptación, estabilidad y producción de los cultivos, debido a características inadecuadas para su manejo agronómico en condiciones de monocultivo (Ríos-Osorio *et al.*, 2014b). Asimismo, una vida de anaquel corta dificulta su comercialización y uso en el mejoramiento genético (Chaib *et al.*, 2007). Por ello se recurre de manera enfática sólo a caracteres que aportan ventajas a las variedades comerciales (Bernacchi *et al.*, 1998).

La preferencia notoria y la calidad nutraceutica del fruto de tomate nativo y silvestre es conferida por caracteres como las concentraciones de vitamina C, licopeno, ácidos orgánicos, sólidos solubles y compuestos antioxidantes (Juárez-López *et al.*, 2009). Asimismo, muestran características de fruto interesantes como forma, color, sabor, calidad poscosecha, culinaria y nutraceutica, por lo que son una fuente valiosa de germoplasma para el mejoramiento

## INTRODUCTION

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) originated in the Andes region of South America where several species of the *Solanum* genus can be found. However, the most accepted hypothesis suggests that it was domesticated in Mexico (Rick, 1986) because of the wide variability observed in populations of this country (Peralta and Spooner, 2007). Native tomato varieties have been conserved by traditional farmers in semidomesticated and wild populations (Chávez-Servia *et al.*, 2011; Pacheco-Triste *et al.*, 2014; Ríos-Osorio *et al.*, 2014a). Domestication generated an increase in productivity, although simultaneously genetic variation of the crop decreased (Ladizinsky, 1998). For this reason, breeding practices include study of native ancestors to identify and recover traits of interest that were lost during selection and breeding, especially those associated with tolerance acquired through adaptation to adverse abiotic conditions (Zamir, 2001), pathogens in pre and postharvest (Bao *et al.*, 2007), and those involved in fruit quality.

Nevertheless, direct use of native materials as progenitors can have negative effects on crop adaptation, stability and production due to characteristics that are not suitable for agronomic management under monocropping conditions (Ríos-Osorio *et al.*, 2014b). Moreover, a short shelf life makes commercialization and use in genetic improvement difficult (Chaib *et al.*, 2007). For this reason, emphatically, only traits that contribute advantages to commercial varieties are used (Bernacchi *et al.*, 1998).

The marked preference and nutraceutical fruit quality of native and wild tomato is conferred by traits such as concentrations of vitamin C, lycopene, organic acids, soluble solids, and antioxidant compounds (Juárez-López *et al.*, 2009). They also exhibit interesting fruit characteristics such as shape, color, flavor, and postharvest, culinary and nutraceutical quality, and so they are a valuable source of germplasm for breeding (Carrillo-Rodríguez and Chávez-Servia, 2010).

To achieve adequate use of native and wild tomato germplasm, it is necessary to characterize its qualities of anthropocentric interest and its genetic variation (Marín-Montes *et al.*, 2016). These topics were approached in research that includes studies

genético (Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia, 2010; Crisanto-Juárez *et al.*, 2010).

Para lograr el aprovechamiento adecuado del germoplasma nativo y silvestre de tomate se requiere caracterizar sus cualidades de interés antropocéntrico y la variación genética de las mismas (Marín-Montes *et al.*, 2016). El estudio de estos tópicos se realizó en varios estudios que incluyen caracterizaciones de sistemas de producción (Ríos-Osorio *et al.*, 2014b), rendimiento de fruto (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012; Salgado-Meraz *et al.*, 2018), diversidad genética con marcadores moleculares (Marín-Montes *et al.*, 2016; Marín-Montes *et al.*, 2019), clasificación morfológica (Álvarez-Hernández *et al.*, 2009; Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010; Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia, 2010; Chávez-Servia *et al.*, 2011; Ríos-Osorio *et al.*, 2014a; Marín-Montes *et al.*, 2016; Marín-Montes *et al.*, 2019), resistencia a nematodos (Cervantes-Moreno *et al.*, 2014), preferencia de insectos fitófagos (Álvarez-Hernández *et al.*, 2009), uso como portainjertos (Touré *et al.*, 2010; Velasco-Alvarado *et al.*, 2017), así como cualidades del fruto físicas (forma, tamaño, color, firmeza) (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012; Crisanto-Juárez *et al.*, 2010; Ríos-Osorio *et al.*, 2014a; Tochihiuitl *et al.*, 2017), químicas (composición química y nutraceutica) (Juárez-López *et al.*, 2009; Chávez-Servia *et al.*, 2011; Berrospe-Ochoa *et al.*, 2018; Figueroa-Cares *et al.*, 2018; Vela-Hinojosa *et al.*, 2018a) y características de cutícula del fruto (Vela-Hinojosa *et al.*, 2018b).

Sin embargo, estos esfuerzos aún son escasos ante la vasta diversidad que presenta esta especie en México. Los bancos de germoplasma nacionales hasta 2012, resguardaban 1,161 accesiones del género *Lycopersicum* (Molina y Cordova, 2006; Lobato *et al.*, 2012), de las cuales 72% proceden de los estados de Jalisco y Puebla (Lobato *et al.*, 2012), haciendo falta explorar regiones extensas con amplia presencia de germoplasma. Además, sólo 46% de las accesiones se ha caracterizada mediante descriptores morfológicos (Molina y Cordova, 2006), por lo que la atención a caracteres de interés agronómico asociadas a resistencias a factores bióticos y abióticos y la calidad de fruto aún es insuficiente.

Un uso relevante derivado de la información generada a partir del estudio de las cualidades de poblaciones silvestres de tomate es el asociado con la eficiencia de su conservación al permitir evitar la

on characterizations of production systems (Ríos-Osorio *et al.*, 2014b), fruit yield (Salgado-Meraz *et al.*, 2018), genetic diversity with molecular markers (Marín-Montes *et al.*, 2016; Marín-Montes *et al.*, 2019), morphological classification (Álvarez-Hernández *et al.*, 2009; Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010; Chávez-Servia *et al.*, 2011; Ríos-Osorio *et al.*, 2014a; Marín-Montes *et al.*, 2016; Marín-Montes *et al.*, 2019), resistance to nematodes (Cervantes-Moreno *et al.*, 2014), preference of phytophagous insects (Álvarez-Hernández *et al.*, 2009), use as root stock (Velasco-Alvarado *et al.*, 2017), as well as physical fruit qualities (shape, size, color, firmness) (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012; Crisanto-Juárez *et al.*, 2010; Ríos-Osorio *et al.*, 2014a; Tochihiuitl *et al.*, 2017), chemical characteristics (chemical and nutraceutical composition) (Juárez-López *et al.*, 2009; Chávez-Servia *et al.*, 2011; Berrospe-Ochoa *et al.*, 2018; Figueroa-Cares *et al.*, 2018; Vela-Hinojosa *et al.*, 2018a), organoleptic traits (Vela-Hinojosa *et al.*, 2018a), and characteristics of fruit cuticle (Vela-Hinojosa *et al.*, 2018b).

These efforts are scarce compared to the vast diversity of this species in Mexico. National germplasm banks, up to 2012, had 1,161 accessions of the genus *Lycopersicum* (Molina and Cordova, 2006; Lobato *et al.*, 2012), of which 72% were from the states of Jalisco and Puebla (Lobato *et al.*, 2012), making it evident that it is necessary to explore extensive regions with broad presence of germplasm. Only 46% of these accessions are characterized by morphological descriptors (Molina and Cordova, 2006); thus, attention to traits of agronomic interest associated with biotic and abiotic resistance factors and fruit quality is still insufficient.

A relevant use derived from study of the qualities of wild tomato populations is that associated with the efficiency of their conservation in germplasm banks when attempting to avoid duplicating accessions with similar genetic characteristics. Marín-Montes *et al.* (2016), using morphological and molecular descriptions of the populations, were able to decrease the number of accessions to be conserved by 33%. Thus, in the face of the lack of characterization of nearly 80% of the conserved wild populations (Bastias, 2008) and the areas pending to be explored in search of this resource, adequate methods should be applied to achieve efficient conservation.

duplicidad de accesiones con características genéticas similares en bancos de germoplasma. Marín-Montes *et al.* (2016), a partir de descripciones morfológicas y moleculares de las poblaciones, lograron disminuir 33% el número de accesiones a conservar. Así, ante la falta de la caracterización de alrededor de 80% de las poblaciones silvestres conservadas (Bastias, 2008) y de las áreas pendientes a explorar en busca de este recurso, se deben aplicar métodos adecuados para lograr una conservación eficiente.

El objetivo de la presente investigación fue caracterizar la calidad poscosecha de fruto de 40 poblaciones de tomate nativo de México, mediante el estudio de parámetros de calidad física, química y hedónica para generar información que oriente su conservación y uso dentro del mejoramiento genético. Lo anterior bajo el supuesto de que en las poblaciones nativas y silvestres la variación genética es aun de enorme magnitud porque no se han sometidas a esquemas intensivos de selección, lo cual permitirá la identificación de genotipos con atributos de calidad sobresaliente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se hizo en 40 accesiones nativas provenientes de nueve estados de México, proporcionadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Tomate de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). De ellas, 11 fueron recolectadas en Oaxaca (4, 17, 19, 20, 21, 22, 27, 29, 32, 45, 46), ocho en Chiapas (6, 8, 24, 33, 36, 37, 50, 58), seis en Puebla (2, 3, 16, 48, 49, 56), cinco en Veracruz (5, 25, 26, 31, 51), dos en Tabasco (1, 53), una en Guerrero (60), una en Hidalgo (55), una en Jalisco (40) y una en San Luis Potosí (11). Además, se evaluaron cuatro accesiones de origen desconocido (28, 54, 62, 63).

El cultivo se desarrolló en un invernadero de tipo "apertura total" (Full Vent) localizado en Chapingo, México (19° 29' N, 98° 53' O y 2240 msnm), con cubierta de plástico blanco de 70% de transmitancia. Un sistema hidropónico abierto se usó con la solución nutritiva propuesta por Cadahía *et al.* (2005). El sustrato fue espuma volcánica (piedra basáltica), contenido en macetas de polipropileno de 15 L de capacidad. La densidad de plantación fue equivalente a 3.7 plantas m<sup>-2</sup>. Las evaluaciones de calidad se realizaron en el laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de UACH. La unidad experimental fue 10 frutos cosechados en grado de madurez 6 (madurez de consumo, completamente rojos), según la escala propuesta por el USDA (1975). El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cinco repeticiones.

The objective of this study was to characterize postharvest quality of fruit from 40 populations of native tomato of Mexico through study of physical, chemical and hedonic quality parameters to generate information to orient their conservation and use in genetic improvement. The hypothesis was that in native and wild populations genetic variation is of enormous magnitude because they have not been subjected to intensive selection schemes, a situation that will permit identification of genotypes with outstanding quality attributes.

## MATERIALS AND METHODS

Forty native accessions from nine states of Mexico provided by the Program of Tomato Genetic Improvement of the Universidad Autónoma Chapingo (UACH) were studied. Of these accessions, 11 were collected in Oaxaca (4, 17, 19, 20, 21, 22, 27, 29, 32, 45, 46), eight in Chiapas (6, 8, 24, 33, 36, 37, 50, 58), six in Puebla (2, 3, 16, 48, 49, 56), five in Veracruz (5, 25, 26, 31, 51), two in Tabasco (1, 53), one in Guerrero (60), one in Hidalgo (55), one in Jalisco (40) and one in San Luis Potosí (11). In addition, four accessions of unknown origin (28, 54, 62, 63) were also evaluated.

The plants were grown in a full vent greenhouse located in Chapingo, Mexico (19° 29' N, 98° 53' W and 2240 m altitude). The white plastic covering allows 70% transmittance. An open hydroponic system was used with the nutrient solution proposed by Cadahía *et al.* (2005). The substrate was volcanic pumice (basalt) in 15 L polypropylene pots. Plantation density was equivalent to 3.7 plants m<sup>-2</sup>. Quality assessments were carried out in the Fruit Physiology Laboratory of the Department of Plant Science at UACH. The experimental unit was 10 fruits harvested at ripening stage 6 (consumption ripeness, completely red), according to the scale proposed by the USDA (1975). The experimental design was complete randomized blocks with five replications.

### Evaluated traits

Fruit (FW) and pulp (PW) weight (g) was obtained with an electronic digital balance OHAUS® model Scout Pro SP2001 (USA). Fruit polar (PD) and equatorial (ED) diameters (mm) were determined with a digital Vernier TRUPER® (CALDI-6MP, Mexico). Fruit roundness index was calculated with the quotient PD/ED. Pulp percentage, relative to total fruit weight, was determined with the formula: [(FW-PW) × 100] / FW. The number of locules (NL) was counted in fruit sectioned at the equator.

### Caracteres evaluados

El peso de fruto (PF) y de pulpa (PP) en g se registraron con una balanza electrónica digital marca OHAUS® modelo Scout Pro SP2001 (USA). El diámetro polar (DP) y el ecuatorial (DE) del fruto (en mm) se determinaron con vernier digital marca TRUPER® (CALDI-6MP, México). El índice de redondez del fruto se calculó con el cociente DP/DE. El porcentaje de pulpa con respecto al peso total del fruto se determinó con la fórmula:  $[(PF-PP) \times 100] / PF$ . El número de lóculos (NL) se registró mediante un corte ecuatorial del fruto.

El color de la epidermis de fruto se midió con un colorímetro portátil ColorTec-PMC (USA), basado en los parámetros L, a y b de la escala tridimensional del sistema CIELAB (Hunt y Pointer, 2011) y se determinaron: la luminosidad (L), el croma o saturación  $[(a^2+b^2)^{1/2}]$  y el tono o ángulo Hue  $[H=\tan^{-1}(b/a)]$ .

La firmeza (N) se registró en la zona ecuatorial de frutos sin epidermis con texturómetro digital compact Gauge marca Mecmesin® CE (Mecmesin, España), mediante un puntal en forma de cono de diámetro de 9 mm. Dicho carácter refleja la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

El contenido de sólidos solubles (°Brix) del jugo de frutos se midió con refractómetro digital marca Atago, modelo PAL-1 (México) y escala de 0 a 53%. La concentración de vitamina C (VC, en mg·100·g<sup>-1</sup> de peso fresco) se calculó de acuerdo con la metodología establecida por la AOAC (1990); para ello, se homogeneizaron 5 mL de jugo con 50 mL de una solución de ácido oxálico (0.5 %), de la cual se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución Tillman (0.01%). La concentración se determinó a partir del gasto generado y una curva tipo construida con concentraciones conocidas de ácido ascórbico.

La acidez titulable (AT, en % de ácido cítrico) se cuantificó con la técnica de la AOAC (1990). Se homogenizaron 10 g de pulpa con 50 mL de agua destilada, se tomó una alícuota de 10 mL, se tituló con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N y se usó timolftaleína como indicador. Para obtener el porcentaje de ácido cítrico se empleó la fórmula:  $AT = (mL\ NaOH \times N \times Meq\ \text{ácido} \times V \times 100) / (\text{peso muestra} \times \text{alícuota})$ , donde: AT es el contenido de ácido cítrico expresado en porcentaje, N es la normalidad del NaOH, V es el volumen total de la muestra en mL después de ser licuada y Meq ácido son los miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0.064 para ácido cítrico).

La calidad hedónica del fruto se determinó mediante un panel de evaluación de diez personas, quienes determinaron sensorialmente su afinidad hacia: color, forma, aroma, sabor, jugosidad, textura y cantidad de semillas. Cada variable recibió un número del 1 al 5: 1 desagradable, y 5 muy agradable.

Fruit epidermis color was measured with a portable colorimeter ColorTec-PMC (USA), based on the parameters L, a and b of the tridimensional scale of the CIELAB system (Hunt and Pointer, 2011), and luminosity (L), chroma or saturation  $[(a^2+b^2)^{1/2}]$  and hue or Hue angle  $[H=\tan^{-1}(b/a)]$  were determined.

Firmness (N) was measured in the equatorial zone of fruits without epidermis with a compact digital texturometer gauge Mecmesin® CE (Mecmesin, Spain) with a 9 mm diameter conical probe. This trait reflects the force applied by the probe in terms of its penetration.

Content of soluble solids (°Brix) in fruit juice was measured with digital refractometer Atago, model PAL-1 (Mexico) with a scale from 0 to 53%. Vitamin C (VC) concentration (mg·100·g<sup>-1</sup> fresh weight) was calculated following the methodology of AOAC (1990). Five mL juice was homogenized with 50 mL oxalic acid solution (0.5%), and a 5 mL aliquot was titrated with Tillman solution (0.01%). The concentration was determined from the titres and a type curve constructed with known ascorbic acid concentrations.

Titrate acidity (TA, % citric acid) was quantified with the AOAC (1990) technique: 10 g pulp was homogenized with 50 mL distilled water; a 10 mL aliquot was titrated with a solution of 0.1 N sodium hydroxide and thymolphthalein as an indicator. For percentage of citric acid, the formula  $TA = (mL\ NaOH \times N \times \text{acid Meq} \times V \times 100) / (\text{sample weight} \times \text{aliquot})$  was used, where TA is the content of citric acid expressed in percentage, N is the normality of NaOH, V is the total volume of the sample in mL after liquification, and acid Meq is milliequivalents of the acid present in higher proportion (0.064 for citric acid).

Sensorial fruit quality was determined by an evaluation panel of ten people who determined their sensorial preferences for fruit color, shape, aroma, flavor, juiciness, texture and quantity of seeds. Each variable received a score from 1 to 5: 1 was unpleasant and 5 highly pleasant.

### Statistical analysis

Informative variables were selected by analysis of successive covariances (Johnson, 1998) with which the cluster analysis was performed with standardized data and squared Euclidian distances. In the construction of the dendrogram, the Ward minimum variance algorithm was used. Height of the cut to define groups was determined by cubic grouping criteria (SAS Institute, 1983) and the Hotelling pseudo statistic  $t^2$  (1951).

A discriminant analysis was then performed; the categorical variable corresponded to groups generated in the previous analysis to corroborate pertinence and determine the variables

### Análisis estadístico

La selección de variables informativas se hizo mediante análisis de covarianzas sucesivos (Johnson, 1998), con las cuales se efectuó un análisis de agrupamiento con datos estandarizados y distancias euclidianas cuadradas. En la construcción del dendrograma se utilizó el algoritmo de mínima varianza de Ward. La altura de corte para definir grupos se determinó mediante el criterio cúbico de agrupamiento (SAS Institute, 1983) y la pseudoestadística  $t^2$  de Hotelling (1951).

Después se realizó un análisis discriminante, el cual consideró como variable categórica a los grupos generados en el análisis anterior para corroborar su pertinencia y determinar las variables responsables de las agrupaciones. A partir de las funciones discriminantes se realizó la prueba de sustitución (Johnson, 1998) para verificar la pertenencia de las observaciones a las agrupaciones. Al final, se efectuaron análisis de varianza y comparaciones de promedios con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) para verificar diferencias estadísticas en los caracteres evaluados en función de los grupos identificados. Esos análisis se realizaron con el programa SAS versión 9.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Selección de variables

Los análisis de covarianza realizados con 22 caracteres evaluados identificaron a 12 de ellos con la mayor capacidad de discriminación de accesiones, de manera simultánea y con baja asociación entre ellos (baja multicolinealidad). Dichas variables involucraron al tamaño y forma de fruto (peso de fruto, índice de redondez, porcentaje de pulpa), atributos de calidad intrínseca (firmeza, sólidos solubles, vitamina C, acidez titulable) y variables asociadas a la preferencia visual y organoléptica del consumidor (color, forma, aroma, sabor y jugosidad). Los demás caracteres no se usaron para realizar los análisis multivariados al no tener capacidad para diferenciar accesiones, o bien, por su alta asociación lineal con otros caracteres.

En la caracterización de 40 poblaciones de tomate nativo mexicano realizada por Bonilla-Barrientos *et al.* (2014), la concentración de sólidos solubles, la firmeza y el número de lóculos, tuvieron importancia fundamental en la discriminación de grupos. Dichos caracteres también fueron de gran utilidad para los propósitos de la presente investigación. Crisanto-Juárez *et al.* (2010) diferenciaron 17 recolectas de tomates silvestres de Oaxaca, México, a partir de los

responsable for the grouping. With the discriminant functions, the substitution test was performed (Johnson, 1998) to verify observation pertinence to the clusters. An analysis of variance and a Tukey test of comparison of means ( $p \leq 0.05$ ) were performed to verify statistical differences among the evaluated traits in function of the identified groups. These analyses were carried out in SAS, version 9.0.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Selection of variables

The analyses of successive covariances performed with 22 evaluated traits identified 12 that had higher capacity to discriminate the accessions, simultaneously and with low association among themselves (low multicollinearity). These variables involved fruit size and shape (fruit weight, roundness index, pulp percentage), intrinsic quality attributes (firmness, soluble solids, vitamin C, titratable acidity) and associated variables with visual and organoleptic consumer preference (color, shape, aroma, flavor, juiciness). The rest of the traits were not used for the multivariate analyses because they did not have the capacity to differentiate accessions, or because of their high linear association with other traits.

In the characterization of 40 native Mexican tomato populations by Bonilla-Barrientos *et al.* (2014), concentration of soluble solids, firmness and number of locules had fundamental importance in discriminating groups. These traits were also useful for the aims of our study. Crisanto-Juárez *et al.* (2010) differentiated 17 collections of wild tomatoes of Oaxaca, Mexico, using soluble solids, pH, titratable acidity, and contents of lycopene and reducing sugars.

### Cluster analysis

The dendrogram of the cluster analysis carried out with the 12 chosen variables is shown in Figure 1. Height of the cut corresponded to four groups with a semi-partial  $r^2$  of 0.02, defined with the cubic grouping criterion (SAS Institute, 1983) and the Hotelling pseudo  $t^2$  (1951). The number of collections included in the four clusters were 21, 7, 8 and 4, respectively. Like Marín-Montes *et al.* (2016), this study used the Ward minimum variance method because, when assessing genotype variation, this

sólidos solubles, pH, acidez titulable, contenidos de licopeno y azúcares reductores.

### Análisis de agrupamiento

El dendrograma del análisis de agrupamiento realizado con las 12 variables elegidas se muestra en la Figura 1. La altura de corte correspondió a cuatro grupos con  $r^2$  semiparcial de 0.02, definida a partir del criterio cúbico de agrupamiento (SAS Institute, 1983) y de la pseudo  $t^2$  de Hotelling (1951). El número de recolectas incluidas en los grupos fueron 21, 7, 8 y 4, respectivamente. La presente investigación utilizó el método de mínima varianza de Ward, al igual que Crisanto-Juárez *et al.* (2010) y Marín-Montes *et al.* (2016), porque este método al valorar la variación existente de los genotipos tiene como ventaja el reducir la presencia de individuos atípicos dentro de las agrupaciones (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011). El citado método aplicado contrasta con Pacheco-Triste *et al.* (2014) y Bonilla-Barrientos *et al.* (2014), quienes emplearon el método de agrupación de pares no ponderados con la media aritmética (UPGMA, unweighted pair grouping method with arithmetic-mean) y con Chávez-Servia *et al.* (2011), que recurrieron al de ligamiento promedio.

method has the advantage of reducing the presence of atypical individuals in the clusters (Núñez-Colín and Escobedo-López, 2011). In contrast, Pacheco-Triste *et al.* (2014) and Bonilla-Barrientos *et al.* (2014) used the unweighted pair grouping method with arithmetic-mean method (UPGMA), while Chávez-Servia *et al.* (2011) used the method of average linkage.

### Discriminant analysis

In the discriminant analysis, the sets of collections defined by the previous analysis were used as categorical variable, generating two discriminant functions (VD1 and VD2), which described 99% of the variability of the data, with individual variations of 89 and 10%, respectively, both different from zero ( $p \leq 0.01$ ). The multivariate distances between group centroids were different from zero ( $p \leq 0.01$ ), suggesting that the four groups of collections are contrasting.

The values (sign and magnitude) included in the Eigen vectors (Table 1) determined the influence of the original variables on the previous classification. High values of VD1 identified accessions with higher expression of fruit weight, pulp percentage

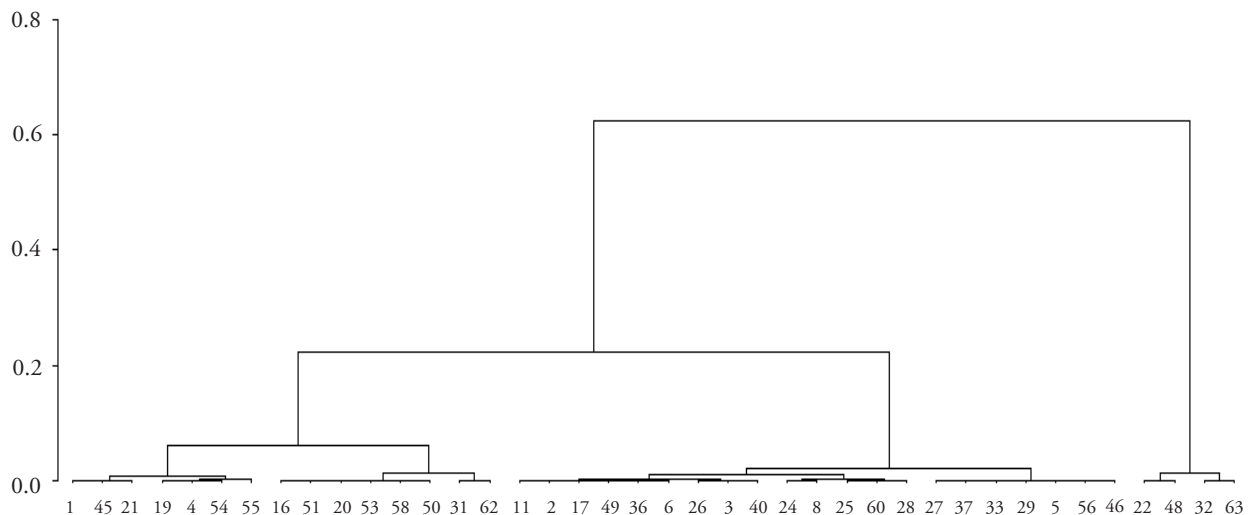


Figura 1. Dendrograma jerárquico de 40 variedades de tomate nativo, obtenido mediante distancias euclidianas cuadradas y la técnica de varianza mínima de Ward.

Figure 1. Hierarchical dendrogram of 40 native tomato varieties, obtained with squared Euclidean distances and the Ward minimum variance technique.

### Análisis discriminante

En el análisis discriminante se usó como variable categórica los conjuntos de recolectas definidos por el análisis anterior, mediante el cual se generaron dos funciones discriminantes (VD1 y VD2) que describieron 99% de la variabilidad de los datos, con variaciones individuales de 89 y 10% respectivamente, ambas diferentes de cero ( $p \leq 0.01$ ). Las distancias multivariadas entre centroides de grupos fueron diferentes de cero ( $p \leq 0.01$ ), lo cual sugiere que los cuatro grupos de recolectas son contrastantes.

Los valores (signo y magnitud) incluidos en los vectores propios (Cuadro 1) determinaron la influencia de las variables originales sobre la clasificación anterior. Valores altos de VD1 identificaron accesiones con expresión mayor del peso de fruto, porcentaje de pulpa y firmeza, aunque baja concentración de sólidos solubles, ácidos orgánicos (acidez titulable) y vitamina C; y viceversa. Aquí destaca la asociación inversa entre la calidad intrínseca con la firmeza, porcentaje de pulpa y peso de fruto.

En forma similar, otras investigaciones determinaron correlaciones negativas entre el tamaño de fruto y la concentración de sólidos solubles (Ibarbia y Lambeth, 1971), e incluso con atributos de tipo genético (Goldenberg y von der Pahlen, 1966). A pesar de ello, se identificaron regiones cromosómicas provenientes de especies silvestres que permiten

and firmness, although they had low concentrations of soluble solids, organic acids (titratable acidity) and vitamin C, and *vice versa*. Here, the inverse association of intrinsic quality with firmness, pulp percentage and fruit weight is remarkable.

In a similar way, Ibarbia and Lambeth (1971) determined negative correlations between fruit size and concentration of soluble solids, while Goldenberg and von der Pahlen (1966) found negative correlations even with genetic attributes. Despite this, chromosome regions from wild species were identified that allow increasing soluble solids with no substantial demerit to fruit size when associated with dry matter accumulation, cell division and cell wall synthesis without modifying metabolism of sugars and organic acids (Bertin *et al.*, 2009).

VD2 was associated positively with the sensorial traits of color, shape and aroma (Table 2); high VD2 values always corresponded to collections that had higher acceptance by the evaluators, and *vice versa*.

Figure 2 represents the 40 populations defined with VD1 and VD2 values, comprehending 99% of the information considered in the matrix of analyzed data.

The double substitution test indicated that none of the populations had to be relocated to a different group, indicating that the obtained groups contained homogenous populations within groups and heterogeneous between groups. Therefore, the

**Cuadro 1. Vectores propios y funciones discriminantes de cuatro grupos de tomates nativos definidos con caracteres de calidad de fruto.**

**Table 1. Eigen vectors and discriminant functions of four native tomato groups defined by fruit quality traits.**

Variable	Vector propio		Función discriminante	
	VD1	VD2	VD1	VD2
Constante			-237.624	-304.329
Peso	0.977	0.108	1.094	2.109
Índice de redondez	0.302	0.014	-5.909	-9.841
Porcentaje de pulpa	0.680	-0.601	1.597	2.186
Firmeza	0.556	0.023	67.663	84.574
Sólidos solubles totales	-0.601	0.141	8.535	7.313
Acidez titulable	-0.563	0.075	60.284	28.979
Vitamina C	-0.507	0.083	220.369	331.122
Color hedónico	-0.380	0.534	28.923	36.806
Forma hedónica	-0.281	0.775	6.417	-4.383
Aroma hedónico	0.107	0.431	-2.632	-6.188
Sabor hedónico	0.257	0.101	8.192	7.756
Jugosidad hedónica	0.359	0.286	19.092	17.677

el incremento de los sólidos solubles, sin demérito substancial del tamaño de fruto, al asociarse con la acumulación de materia seca, la división celular y la síntesis de pared celular, sin modificar el metabolismo de azúcares y ácidos orgánicos (Bertin *et al.*, 2009).

La VD2, se asoció en forma positiva con los caracteres sensoriales de color, forma y aroma (Cuadro 1), porque valores altos de VD2 correspondieron a recolectas con mayor aceptación por los evaluadores y viceversa.

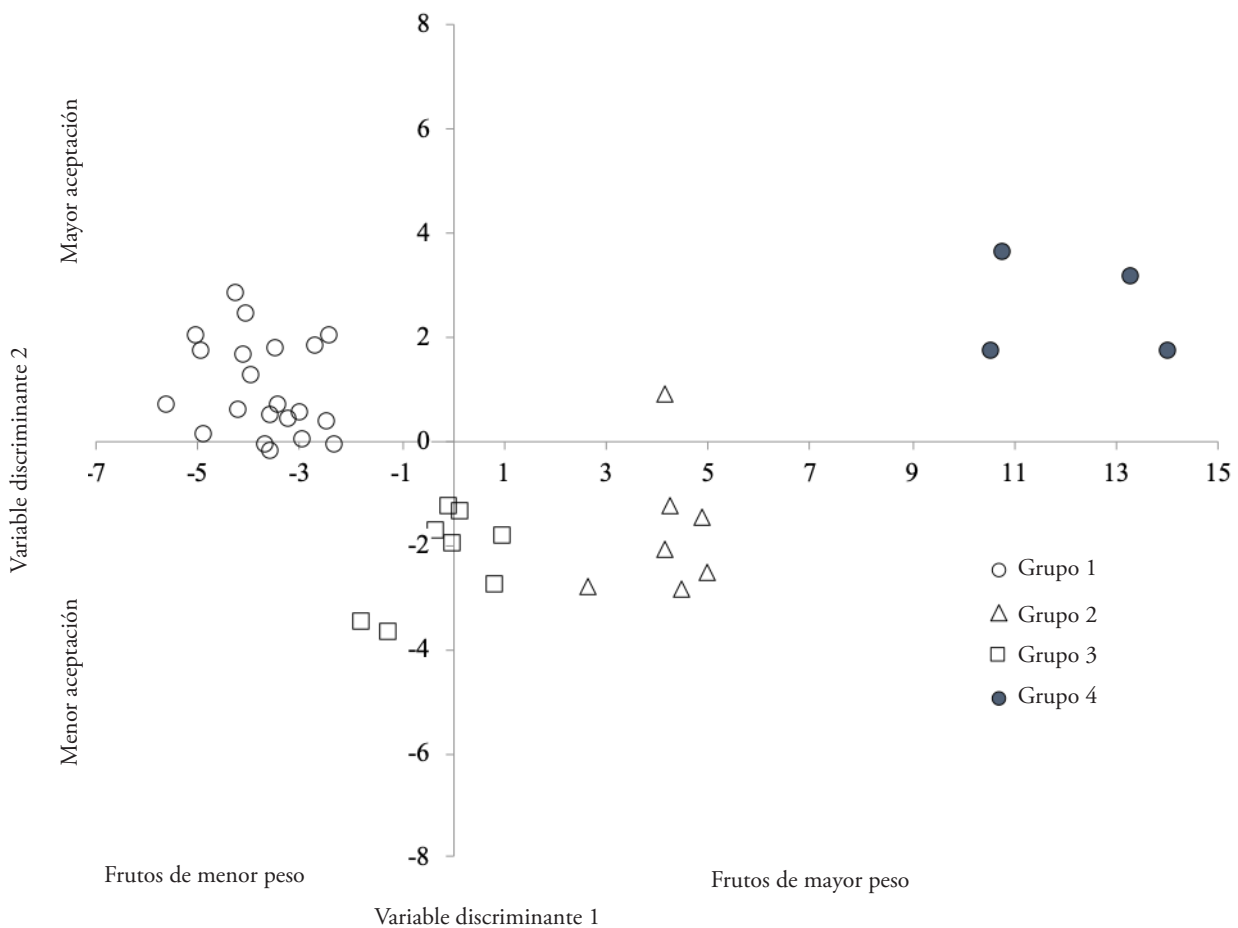
La Figura 2 representa a las 40 poblaciones definidas a partir de los valores de VD1 y VD2, la cual comprende 99% de la información considerada en la matriz de datos analizados.

La prueba de doble sustitución indicó que ninguna de las poblaciones debió reubicarse en un

grouping generated by the previous analyses and described in Table 2 was considered adequate.

### Analysis of variance

The analyses of variance confirmed differences ( $p \leq 0.05$ ) in 13 traits among the groups. No statistical differences were detected in roundness index, fruit shape, L, chroma, Hue angle, or sensorial variables of flavor, juiciness and texture. The comparison of means (Table 3) agrees with the results of the discriminant analysis; the variables that differentiated the groups of populations were those of higher discriminatory capacity. These significant differences evidence high variability among the groups (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010).



**Figura 2.** Representación gráfica de la agrupación por variables discriminantes de 40 poblaciones de tomate nativo de acuerdo con variables de calidad de fruto.

**Figure 2.** Graphic representation of grouping by discriminant variables of 40 populations of native tomato by fruit quality variables.

grupo diferente al propuesto. Los resultados de dichos análisis indican que los grupos obtenidos contienen poblaciones homogéneas dentro de ellos, pero heterogéneas entre grupos, por lo cual se consideró adecuada la agrupación descrita en el Cuadro 2, realizada a partir de análisis previos.

**Análisis de varianza**

Los análisis de varianza confirmaron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) entre grupos en trece caracteres. No se detectaron diferencias estadísticas en índice de redondez, forma de fruto, L, cromas, ángulo Hue, y las variables sensoriales de sabor, jugosidad y textura. Las comparaciones de medias (Cuadro 3), concuerdan con los resultados del análisis discriminante porque las variables que se diferenciaron entre grupos de poblaciones fueron las de mayor capacidad discriminativa. Dichas diferencias significativas evidencian la alta variabilidad entre los grupos (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010).

**Descripción de grupos**

Los análisis de agrupamiento, discriminante y las comparaciones de promedios, los grupos reflejaron las siguientes características en los frutos.

**Description of groups**

The cluster and discriminant analyses and comparison of means and groups highlighted the following fruit characteristics.

Group 1 included 21 populations, around 50% of those examined. Of these populations, 19 have round fruits and two have kidney-shaped fruits. They are smaller ( $p \leq 0.05$ ) in weight, diameter and length. Also, they have the lowest percentage of pulp ( $p \leq 0.05$ ). In contrast, as detected by the discriminant analysis, the genotypes of this group have higher ( $p \leq 0.05$ ) concentrations of soluble solids, organic acids and vitamin C. Moreover, they have better acceptance due to their color, shape and aroma ( $p \leq 0.05$ ).

Group 2 was made up of seven populations, four of which have kidney-shaped fruits and the rest round fruits. Fruit size was intermediate, larger ( $p \leq 0.05$ ) than fruits of Groups 1 and 3. Except for one collection, this group has low sensorial acceptance. Pulp percentage, firmness and vitamin C content were among the highest values ( $p \leq 0.05$ ).

Group 3 comprises seven populations with kidney-shaped fruit and one with long fruit. Fruit size was medium with low weight, firmness and pulp percentage. In contrast, they had high contents of

**Cuadro 2. Grupos definidos en 40 poblaciones de tomate, por variables de calidad de fruto.**  
**Table 2. Groups defined in 40 tomato populations by fruit quality variables.**

Grupo	Accesión	Origen	Características de grupo
1 (21 colectas)	11, 2, 17, 49, 36, 6, 26, 3, 40, 24, 8, 25, 60, 28, 27, 37, 33, 29, 5, 56, 46	1 San Luis Potosí 1 Guerrero 3 Puebla 3 Veracruz 4 Oaxaca 7 Chiapas 2 desconocidos	Mayor contenido de sólidos solubles, acidez titulable y vitamina C. Menor peso, porcentaje de pulpa y firmeza.
2 (7 colectas)	1, 45, 21, 19, 4, 54, 55	1 Tabasco 4 Oaxaca 2 desconocidos	Baja aceptación y valores bajos de peso; porcentaje de pulpa y firmeza mayores.
3 (8 colectas)	16, 51, 20, 53, 58, 50, 31, 62	1 Puebla 1 Oaxaca 3 Veracruz 5 desconocidos	Menor aceptación por parte de los jueces. Valores bajos para peso, porcentaje de pulpa y firmeza.
4 (4 colectas)	22, 48, 32, 63	1 Puebla 2 Oaxaca 1 desconocido	Mayor peso, porcentaje de pulpa y firmeza; mejores puntuaciones para color y forma.

**Cuadro 3. Comparación de medias de 11 caracteres evaluados en 40 poblaciones de tomate nativo.**  
**Table 3. Comparison of means of 11 traits evaluated in 40 native tomato populations.**

Variable	Grupo				DMSH <sup>†</sup>
	1	2	3	4	
Peso de fruto (g)	11.47 d	58.96 b	28.91 c	121.56 a	10.53
Diámetro de fruto (mm)	26.59 c	46.16 b	39.54 b	56.53 a	8.26
Longitud (mm)	24.06 c	49.57 b	32.25 c	64.51 a	9.85
Porcentaje de pulpa (%)	70.47 b	92.25 a	89.65 a	90.72 a	7.20
Firmeza (N mm <sup>-1</sup> )	0.22 b	0.35 ab	0.25 b	0.46 a	0.14
Sólidos solubles (°Brix)	6.59 a	5.56 bc	5.86 ab	4.81 c	0.89
Acidez titulable (% AC)	0.61 a	0.41 b	0.59 a	0.40 b	0.13
Vitamina C (%)	27.0 a	22.0 ab	23.0 a	16.0 b	7.0
Color (escala 1 a 5)	3.47 a	2.67 b	2.65 b	2.95 ab	0.58
Forma (escala 1 a 5)	3.44 a	2.33 b	2.05 b	3.15 a	0.63
Aroma (escala 1 a 5)	2.77 ab	2.59 b	2.55 b	3.03 a	0.37

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). <sup>†</sup>DMSH= Diferencia mínima significativa honesta. ♦ Averages in a row column with different letters are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). <sup>†</sup>DMSH= Honest least significant difference.

El Grupo 1 integró 21 poblaciones, alrededor de 50% de las examinadas; 19 de ellas poseen frutos redondos y dos de tipo riñón, que son las de menor tamaño ( $p \leq 0.05$ ) en peso, diámetro y longitud. Asimismo, fueron los de menor porcentaje de pulpa ( $p \leq 0.05$ ). En contraste, como lo detectó el análisis discriminante, los genotipos de este grupo presentaron mayor ( $p \leq 0.05$ ) concentración de sólidos solubles, ácidos orgánicos y vitamina C. Asimismo, tuvieron la mejor aceptación debido a su color, forma y aroma ( $p \leq 0.05$ ).

El Grupo 2 se conformó por siete accesiones, cuatro de ellas con fruto tipo riñón y el resto redondos. El tamaño de fruto fue intermedio, mayor ( $p \leq 0.05$ ) que los de los Grupos 1 y 3. Con excepción de una recolecta, tuvieron baja aceptación sensorial. Su porcentaje de pulpa, firmeza y concentración de vitamina C se ubicó entre los valores mayores ( $p \leq 0.05$ ).

El Grupo 3 integró siete recolectas con fruto tipo riñón y una con forma alargada; el tamaño de fruto fue intermedio con peso, firmeza y porcentaje de pulpa bajos. En contraste, tuvieron contenidos altos de sólidos solubles, ácidos orgánicos y vitamina C ( $p \leq 0.05$ ); al igual que el Grupo 2, tuvieron la menor aceptación por parte de los evaluadores por su color y forma de fruto.

El Grupo 4 captó cuatro accesiones; los frutos presentaron dimensiones mayores ( $p \leq 0.05$ ) en longitud, diámetro y peso, este último hasta de 122 g.

soluble solids, organic acids and vitamin C ( $p \leq 0.05$ ). Like group 2, acceptance by the evaluators was lower because of their color and shape.

Group 4 had four populations. The fruits have larger ( $p \leq 0.05$ ) dimensions in length, diameter and weight of up to 122 g. Moreover, they had higher pulp percentages and firmness, with lower ( $p \leq 0.05$ ) contents of soluble solids, organic acids and vitamin C, but their sensorial acceptance was adequate, similar ( $p \leq 0.05$ ) to that of Group 1

### Physical and chemical fruit quality

Among the identified groups, firmness values varied from 0.22 to 0.46 N and Group 4 had the highest value ( $p \leq 0.05$ ). These firmness values are lower than those reported by Batu (2004), who suggests that fruits with firmness above 1.28 N (slightly soft fruits) can be used in salads. Fruits with firmness above 1.46 N are those with the minimum characteristics for commercialization. In this sense, firmness of the native genotypes studied did not show the minimum values necessary for their commercialization. This is due to the presence of irregular epidermal cells, thicker cuticle and greater expression of the enzyme polygalacturonase, traits that have been modified in present-day commercial varieties to obtain suitable standards of quality (Vela-Hinojosa *et al.*, 2018b).

Además, reflejaron los mayores ( $p \leq 0.05$ ) porcentajes de pulpa y firmeza, con el menor ( $p \leq 0.05$ ) contenido de sólidos solubles, ácidos orgánicos y vitamina C; a pesar de ello, su aceptación sensorial fue adecuada, similar ( $p \leq 0.05$ ) a la del Grupo 1.

### Calidad físico-química de fruto

Entre los grupos identificados, los valores de firmeza variaron de 0.22 a 0.46 N, y el Grupo 4 presentó el valor más alto ( $p \leq 0.05$ ). Dichos valores de firmeza son inferiores a los reportados por Batu (2004), quien sugirió que frutos con firmeza superior a 1.28 N (frutos ligeramente suaves) pueden utilizarse en ensaladas. Frutos con firmeza mayor de 1.46 N (firmes) reflejan la característica mínima para su comercialización. En este sentido, la firmeza de los genotipos nativos estudiados no mostró los valores mínimos necesarios para su comercialización. Lo anterior se debe a la presencia de células epidérmicas irregulares, cutícula más gruesa y mayor expresión de la enzima poligalacturonasa, caracteres que se modificaron en variedades comerciales actuales para obtener estándares de calidad adecuados (Vela-Hinojosa *et al.*, 2018b).

La concentración media de sólidos solubles de los grupos identificados ocurrió en el intervalo entre 4.81 y 6.6 °Brix. Una asociación de tipo inversa se observó entre el tamaño de fruto y la concentración de sólidos solubles, lo que coincide con la asociación genética negativa entre dichos caracteres, detectada por Goldenberg y von der Pahlen (1966). También se aprecia coincidencia con Binoy *et al.* (2004), quienes afirmaron que es factible encontrar mayores concentraciones de azúcares en los frutos tipo cereza (de tamaño pequeño). Young *et al.* (1993) atribuyen dicho comportamiento a que una amplia gama de genotipos nativos produce frutos con mayor concentración de sólidos solubles debido a su mayor capacidad para acumular fotosintatos.

Los resultados obtenidos coinciden con los observados por Juárez-López *et al.* (2009), quienes reportaron que un híbrido comercial de tomate tipo cereza y un genotipo nativo obtuvieron los mayores valores de 7.2 y 8.0 °Brix, respectivamente. Ello concuerda con los tomates del Grupo 1, en los cuales el resto de sus características físicas los hizo ser similares a los tomates tipo cherry comerciales. Gould (1992) explicó que los sólidos totales tienen implicaciones

The mean concentration of soluble solids of the identified groups occurred in the range of 4.81 to 6.6 °Brix. An inverse association was observed between fruit size and concentration of soluble solids, which coincides with the negative genetic association between said traits, detected by Goldenberg and von der Pahlen (1966). There is also coincidence with Binoy *et al.* (2004), who found higher concentrations of sugars in cherry tomatoes (small size). Young *et al.* (1993) attribute this behavior to the wide spectrum of native genotypes that produce fruits with high concentrations of soluble solids due to their greater capacity to accumulate photosynthates.

The results obtained coincide with those observed by Juárez-López *et al.* (2009), who report that a commercial cherry-type hybrid and a native genotype obtained the highest values, 7.2 and 8.0 °Brix, respectively. This coincides with Group 1 tomatoes, whose other physical characteristics make them similar to commercial cherry tomatoes. Gould (1992) explained that the total solids have direct implications in the tomato processing industry, suggesting that varieties with 5.5 °Brix or higher are desirable for the processing industry. Because of the above, Group 4 tomatoes are not recommended when breeding is focused on fruits for industry.

The mean values of titratable acidity were between 0.40 and 0.61% citric acid (CA). Although these results surpass the range reported by Nuez *et al.* (2001) of 0.3 – 0.4% for commercial tomatoes, Juárez-López *et al.* (2009) found a creole tomato variety with a value 1.01% higher than those found in our study. The intervals of acidity observed are similar to those documented in the research of Binoy *et al.* (2004) and Raffo *et al.* (2002) for commercial hybrids and cherry tomatoes, respectively. It is important to underline that Groups 1 and 3, which include smaller fruit, reflected the highest values of acidity because the polymeric carbohydrates (starch, peptic substances and hemicellulose) are more concentrated in small fruits than in larger fruits in which they are diluted in the fruit water.

Group 1 accessions had the highest contents of vitamin C (27%), contrasting with Group 4 that had 16%. The values observed are higher than those reported by the USDA (2015), 13.7%; Sulbarán *et al.* (2011), 19.2 %; and Crisanto-Juárez *et al.* (2010), 6.1 to 16.1 %. The interval of ascorbic acid content in native tomato collections obtained by Juárez-

directas en la industria del procesamiento de tomate, lo cual sugiere que las variedades con un contenido de 5.5 °Brix o mayor son deseables para la industria de procesamiento. Por lo antes expuesto, los tomates del Grupo 4 no se recomiendan para el mejoramiento enfocado a frutos para la industria.

Los valores medios de acidez titulable ocurrieron entre 0.40 y 0.61% de ácido cítrico (AC). Aunque dichos resultados rebasan el intervalo reportado por Nuez *et al.* (2001) de 0.3 – 0.4% de AC para tomates comerciales, Juárez-López *et al.* (2009) encontraron una variedad de tomate criollo con un valor de 1.01%, superior a los encontrados en esta investigación. De manera general, los intervalos de acidez observados son similares a los documentados en otras investigaciones, entre las que destacan las de Binoy *et al.* (2004) y de Raffo *et al.* (2002) para híbridos comerciales y tomates cherry, respectivamente. Es importante destacar que los Grupos 1 y 3, que contienen a los frutos de menor tamaño, son los que reflejaron los valores mayores de acidez, toda vez que los carbohidratos poliméricos (almidón, sustancias pépticas y hemicelulosa) se encuentran más concentrados en los frutos pequeños que en los de mayor tamaño, en los que se diluyen con el agua en el fruto.

Las accesiones del Grupo 1 mostraron el valor mayor de contenido de vitamina C (27%), en contraste con el Grupo 4, el cual mostró 16%. Los valores observados son mayores que los reportados por el USDA (2015) de 13.7%, Sulbarán *et al.* (2011), de 19.2% y Crisanto-Juárez *et al.* (2010), de 6.1 a 16.1%. No obstante, el intervalo de contenido de ácido ascórbico en recolectas de tomate nativo obtenido por Juárez-López (2009), fue de 37.0 hasta 65.6%. Por la amplia gama de reportes en la literatura, Crisanto-Juárez *et al.* (2010) mencionaron que hay recolectas promisorias por su contenido de vitamina C, por lo cual es conveniente documentar con mayor precisión la variación genética del tomate, a fin de promover la conservación y el aprovechamiento de dichos materiales.

### Calidad hedónica de fruto

De las características hedónicas estudiadas, sólo tres reflejaron diferencias estadísticas entre grupos a través de análisis de varianza.

El color fue el primer factor de calidad juzgado por los consumidores. Las evaluaciones de color: L,

López (2009) was 37.0 and up to 65.6%. Because of the wide spectrum of reports in the literature, Crisanto-Juárez *et al.* (2010) mentioned that there are promising collections because of their vitamin C content, and therefore, it would be advantageous to document more precisely the genetic variation in tomatoes, to promote the conservation and use of these materials.

### Fruit hedonic quality

Of the sensorial characteristics studied, the analysis of variance revealed only three that were statistically different among the groups. Color was the first quality factor judged by the consumers. Assessment of color, L, chroma and hue angle did not find differences among groups, although subjective evaluation of fruit color did show differences ( $p \leq 0.05$ ); that is, Group 1 fruits were preferred for this property.

Tomato fruits have several sizes and shapes, from small and round to large kidney-shaped fruits. A morphological characteristic that distinguishes cultivated tomato varieties from non-domesticated varieties is fruit shape (Talbot *et al.*, 2007), which is coherent with the shapes found in this study: round (Groups 1 and 4) and kidney-shaped (Groups 2 and 3). The most accepted shape was that of Group 1, round and small, similar to cherry tomatoes, followed by preference for the shape of Group 4 fruits, which is also round, but larger, similar to commercial round tomatoes. In contrast, Groups 2 and 3, kidney-shaped, were visually less accepted. In this sense, the evaluators related fruit shape with the shapes of commercial varieties, and thus we infer that they felt attracted by more familiar standards.

All fruits and vegetables produce a set of low molecular weight compounds that have certain volatility in ambient temperature. These compounds may not be quantitatively important, but they define the aroma of fruits and vegetables (Kader, 2008). Perception of tomato aroma depends on the composition and concentration of volatile compounds that stimulate olfactory neurons located on the roof of the nasal cavity (Dávila-Aviña *et al.*, 2011). In the case of the tomatoes studied, Group 4 had more acceptance, coinciding with Camarena-Barrera *et al.* (2010), who reported that larger fruits have more volatile compounds than grape, or smaller,

croma y ángulo Hue, no permitieron identificar diferencias entre grupos; sin embargo, la evaluación subjetiva de la percepción del color de fruto mostró diferencias ( $p \leq 0.05$ ); es decir, los frutos del Grupo 1 fueron los más preferidos por dicha propiedad.

El fruto de tomate es de diversos tamaños y formas, desde pequeños y redondos hasta grandes y de forma arriñonada. Una característica morfológica para distinguir a las variedades cultivadas de tomates no domesticados es la forma del fruto (Talbot *et al.*, 2007), lo cual fue coherente con las formas encontradas en la presente investigación: redondeados (Grupos 1 y 4) y arriñonados (Grupos 2 y 3). La forma de mayor aceptación fue la del Grupo 1, redonda y pequeña, similar a los tomates cereza, seguida por la afinidad de la forma de los frutos del Grupo 4, que también fue redonda, aunque de mayor tamaño, similar a los tomates tipo bola comerciales. En contraste, los Grupos 2 y 3 de forma arriñonada fueron visualmente menos aceptados. En este sentido, los evaluadores relacionaron las formas de los frutos con las utilizadas en el comercio, por lo cual se infiere que se sintieron atraídos por los estándares que les resultaron más familiares.

Todas las frutas y hortalizas producen un conjunto de compuestos de bajo peso molecular que poseen cierta volatilidad a temperatura ambiente. Dichos compuestos pueden no tener importancia cuantitativa, pero definen el aroma de frutas y hortalizas (Kader, 2008). La percepción del aroma del tomate depende de la composición y concentración de los compuestos volátiles que estimulan a las neuronas olfativas ubicadas en el techo de la cavidad nasal (Dávila-Aviña *et al.*, 2011). En el caso de los grupos de tomates estudiados, los del Grupo 4 fueron los de mayor aceptación, lo cual concuerda con la investigación realizada por Camarena-Barrera *et al.* (2010). Según dichos autores, los frutos de mayor tamaño presentaron mayor cantidad de compuestos volátiles que los tomates uva o de tamaños menores, por cual el aroma percibido por las personas fue mayor o con mayor intensidad en frutos más grandes. Una posible explicación obedece a que la calidad organoléptica de los materiales nativos al tener una asociación fuerte con los procesos de domesticación resultó en la selección de materiales de tamaño de fruto mayor, asociado con aromas agradables, lo cual garantizaría su consumo en fresco, debido a que la cultura y gastronomía de una comunidad permiten la conservación de características deseables.

tomatoes. For this reason, the aroma perceived by the evaluators was stronger or more intense in larger fruits. One possible explanation is that the organoleptic quality of the native materials, which is strongly associated with processes of domestication, resulted in the selection of larger fruits with pleasant aromas. This would guarantee its fresh consumption because the culture and gastronomy of a community lead to conservation of desirable characteristics.

### Conservation strategy

The processes of breeding tomatoes require allelic variants (Varshney *et al.*, 2009). This obeys the premise that conservation of populations should guarantee maintenance of the broadest possible genetic variation (Zamir, 2001) and, simultaneously, preserve those individuals with the most suitable expression of the traits of interest. In our research, the postharvest quality traits possessed by population Groups 1 and 4 grouped the best candidates for their preservation because they had the highest values for the traits of interest and, thus, they would have potential use in genetic improvement of this vegetable. Therefore, 25 populations that represent 62.5% of the evaluated germplasm would be selected, a percentage similar to that proposed by Marín-Montes *et al.* (2016), suggesting that the proportion to be preserved is adequate and efficient. Despite this, it is recommended that the accessions that were not selected for conservation be evaluated by other approaches to identify their potential use in tomato breeding.

### CONCLUSIONS

Native populations suitable for fresh consumption and for industrial processing were identified. However, the lack of firmness and short shelf life do not permit their commercialization. Of 22 traits, 12 were useful in identifying groups of populations with similar characteristics. Fruit weight and shape were those of highest discriminatory value.

Conservation of 25 genotypes (Groups 1 and 4) is necessary because they can be used as sources of useful genetic variation for genetic improvement of intrinsic chemical characteristics of the fruit (concentration of soluble solids, titratable acidity and vitamin C). Group 1 has potential to be cultivated as cherry tomatoes, exhibiting suitable size and pleasant

### Estrategia de conservación

Los procesos de mejoramiento del tomate requieren de variantes alélicas (Varshney *et al.*, 2009). Lo anterior obedece a la premisa de que la conservación de las poblaciones debe garantizar el mantenimiento de la mayor variación genética posible (Zamir, 2001) y, de forma simultánea, preservar aquellos individuos con la expresión más adecuada de los caracteres de interés. En la presente investigación, los caracteres de calidad poscosecha de las poblaciones que conformaron los Grupos 1 y 4, agruparon a los mejores candidatos para su resguardo, en virtud de que presentaron los valores mejores para los caracteres de interés, por lo que se tendrían un uso potencial para el mejoramiento genético de esta hortaliza. Por lo antes expuesto, se elegirían 25 poblaciones, que representan 62.5% del germoplasma evaluado, porcentaje similar al propuesto por Marín-Montes *et al.*, (2016), lo cual sugiere que la proporción a resguardar podría ser adecuada y eficiente. A pesar de ello, se sugiere que las accesiones no seleccionadas para su resguardo se evalúen mediante otros enfoques, con el fin de identificar su uso potencial en el mejoramiento genético del tomate.

### CONCLUSIONES

Poblaciones nativas de tomate aptas para su consumo fresco y procesamiento industrial se identificaron, pero la falta de firmeza del fruto y vida de anaquel no permitiría su comercialización. Doce de 22 caracteres fueron útiles para identificar grupos de poblaciones con características similares. El peso y la forma de fruto fueron las de mayor valor discriminativo.

La conservación de 25 genotipos (Grupos 1 y 4) es necesaria porque se podrían emplear como fuentes de variación genética útil para el mejoramiento genético de características químicas intrínsecas del fruto (concentración de sólidos solubles, acidez titulable y vitamina C). El Grupo 1 posee potencial para cultivarse como tomates tipo “cherry”, porque mostró tamaños adecuados y sabores agradables en la evaluación hedónica, mientras que las recolectas del Grupo 4 pueden emplearse como fuentes de contribución para mejorar la firmeza, aunque sus valores distan aún de los requeridos en el mercado. A pesar de ello, este grupo no se recomienda en el mejoramiento de variedades para el procesamiento industrial.

taste in the hedonic evaluation, while the collections of Group 4 can be used as sources to improve firmness, although their values are still far from those required by the market. This group, however, is not recommended for improving varieties destined for industrial processing.

—End of the English version—

---\*---

### LITERATURA CITADA

- Álvarez-Hernández, J. C., H. Cortez-Madrugal, e I. García-Ruiz. 2009. Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (*Solanaceae*) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica* 28: 139 - 159.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Ed. Benjamin Franklin Station. USA. 1018 p.
- Bao, B., L. Ke, J. Jiang, and T. Ying. 2007. Fruit quality of transgenic tomatoes with suppressed expression of LeETR1 and LeETR2 genes. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 16: 122 - 126.
- Bastias, M. E. 2008. Biodiversidad y recursos filogenéticos en la agricultura. *IDESIA*. 26: 5 - 7.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *J. Food Eng.* 61: 471 - 475.
- Bernacchi, D., T. Beck-Bunn, D. Emmatty, Y. Eshed, S. Inai, J. López, V. Petiard, H. Sayama, J. Uhlig, D. Zahir, and S. Tankesley. 1998. Advanced backcross QTL analysis of tomato. II. Evaluation of near-isogenic lines carrying single-donor introgressions for desirable wild QTL-alleles derived from *Lycopersicon hirsutum* and *L. pimpinellifolium*. *Theor. Appl. Genet.* 97: 170 - 180.
- Berrospe-Ochoa, E. A., C. Saucedo-Veloz; M. E. Ramírez-Guzmán, D. Saucedo-Reyes. 2018. Flavor components and ascorbic acid content in native and commercial hybrid tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Agrociencia*. 52: 623-638.
- Bertin, N., M. Causse, B. Brunel, D. Tricon, and M. Génard. 2009. Identification of growth processes involved in QTLs for tomato fruit size and composition. *J. Exp. Bot.* 60: 237 - 248.
- Binoy, G., C. Kaur, D. S. Khurdiya, and H. C. Kapoor. 2004. Antioxidants in tomato as a function of genotypes. *Food Chem.* 84: 45 - 51.
- Bonilla-Barrientos, O., R. Lobato-Ortiz, J. García-Zavala, S. Cruz-Izquierdo, D. Reyes-López, E. Hernández-Leal, y A. Hernández-Baustista. 2014. Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 37: 129 - 139.
- Cadahía L., C., M. L. Segura L. y A. M. Massaguer R. 2005. Apéndice 1: Fertirrigación de cultivo hortícola. *In: Cadahía L., C. (ed). Fertirrigación: Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales*. 3ª. edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 355-428.

- Camarena-Barrera, E. A., K. Ramos-Beltrán, R. Miranda-López, S. N. Jiménez García, y R. G. Guevara-González. 2010. Perfil del aroma del tomate (*Lycopersicon esculentum*) variedades saladette y uva por análisis sensorial y GC-MS. *RESPYN*. 9: 1471 - 1479.
- Carrillo-Rodríguez, J. C., y J. L. Chávez-Servia. 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 1 - 6.
- Cervantes-Moreno, R., J.E. Rodríguez-Pérez, C. Carrillo-Fonseca, J. Sahagún-Castellanos, y E. Rodríguez-Guzmán. 2014. Tolerancia de 26 colectas de tomates nativos de México al nemátodo *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 20: 5 - 18.
- Crisanto-Juárez, A., A. M. Vera-Guzmán, J. L. Chávez-Servia, y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2010. Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) de Oaxaca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 7 - 13.
- Chaib, J., M. F. Devaux, M. G. Grotte, K. Robini, M. Causse, M. Lahaye, and I. Marty. 2007. Physiological relationships among physical, sensory and morphological attributes of texture in tomato fruits. *J. Exp. Bot.* 58: 1915 - 1925.
- Chávez-Servia, J. L., A. M. Vera-Guzmán, J. C. Carrillo-Rodríguez, I. A. Pachecho-Triste, y A. U. Crisanto-Juárez. 2011. Variación morfológica y de licopeno en frutos de tomate semidomesticado y cultivado en Oaxaca, México. *J. Int. Am. Soc. Trop. Agric. Hortic.* 54: 151 - 153.
- Dávila-Aviña, J. E. De J., G. A. González-Aguilar, J. F. Ayala-Zavala, D. R. Sepúlveda, y G. I. Olivas. 2011. Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 133 - 143.
- Figuroa-Cares, I. E., O. Cruz-Álvarez, J. E. Rodríguez-Pérez, M. T. Martínez-Damián, S. Valle-Guadarrama. 2018. Calidad nutricional y capacidad antioxidante en variedades y genotipos nativos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 35: 63-84.
- Goldenberg, J. B., and A. von der Pahlen. 1966. Genetic and phenotypic correlation between weight and dry matter content of tomato fruits and their heritabilities. *Bol. Genét. Argentina* 2: 1 - 15.
- Gould, W. A. 1992. *Tomato Production, Processing and Technology*. CTI publications. USA. 550 p.
- Hotelling, H. 1951. A generalized t test and measure of multivariate dispersion. *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. Berkeley, California: University of California Press. pp: 23 - 41.
- Hunt, R. W. G., and M. R. Pointer. 2011. *Measuring Color*. 4a Ed. Wiley-IS&T. Series in Imaging Science and Technology. John Wiley & Sons, Ltd., Publication. USA. ISBN 978-1-119-97537-3. 469 p.
- Ibarbia, E. A., and V. N. Lambeth. 1971. Tomato fruit size and quality interrelationships *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 96: 199 - 201.
- Johnson, D. E. 1998. *Applied Multivariate, Methods for Data Analysts*. Cole Publishing Company. USA. 566 p.
- Juárez-López, P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, P. Ramírez-Vallejo, M. Sandoval-Villa, D. W. Reed, L. Cisneros-Zevallos, y S. King. 2009. Evaluación de calidad de frutos de siete genotipos nativos de tomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 15: 5 - 9.
- Kader, A. A. 2008. Flavor quality of fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 88: 1863 - 1868.
- Ladizinsky, G. 1998. *Plant Evolution under Domestication*. Kluwer Academic. Dordrecht (Ed.). The Netherlands. 262 p.
- Lobato O., R., E. Rodríguez G., J. C. Carrillo R., J. L. Chávez S., P. Sánchez P, y A. Aguilar M. 2012. Exploración, colecta y conservación de recursos genéticos de jitomate: avances en la Red de Jitomate. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 54 p.
- Marín-Montes, I. M., R. Lobato-Ortiz, G. Carrillo-Castañeda, J. E. Rodríguez-Pérez, J. J. García-Zavala, Á. M. Velasco-García. 2019. Allelic richness of native tomato populations (*Solanum lycopersicum* L.) for plant breeding. *Agrociencia* 53: 355-370.
- Marín-Montes, I. M.; J. E. Rodríguez-Pérez, J. Sahagún-Castellanos, L. Hernández-Ibáñez, y A. M. Velasco-García. 2016. Morphological and molecular variation in 55 native tomato collections from Mexico. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 22: 117 - 131.
- Molina M., J. C., y L. Cordova T. 2006. Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional 2006. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 172 p.
- Nuez, F., A. Rodríguez, J. Tello, J. Cuartelos, y B. Segura. 2001. *El Cultivo del Tomate*. Mundi-Prensa. España. 793 p.
- Núñez-Colín, C. A., y D. Escobedo-López. 2011. Uso correcto de análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agron. Mesoam.* 22: 415 - 427.
- Pacheco-Triste, I. A., J. L. Chávez-Servia, y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2014. Relación entre variación ecológica- orográfica y variabilidad morfológica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Oaxaca. *Rev. Mex. Agroecosistemas* 1: 28 - 39.
- Peralta, I. E., and D. M. Spooner. 2007. History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). In: Razdan M. K. and A. K. Matto (eds). *Genetic Improvement of Solanaceous Crop Vol. 2*. Science Publishers. Enfield, USA pp: 1 - 27
- Raffo, A., C. Leonardi, V. Flogiano, P. Ambrosino, M. Salucci, L. Gennaro, R. Bugianesi, F. Giuffrida, and G. Quaglia. 2002. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6550 - 6556.
- Rick, C. M. 1986. Germoplasm resources in the wild tomato species. *Acta Hortic.* 190: 39 - 47.
- Ríos-Osorio, O., J. L. Chávez-Servia, J. C. Carrillo-Rodríguez, y A. M. Vera-Guzmán. 2014a. Variación agromorfológica y cambios biofísicos poscosecha en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Fac. Cienc. Agrar.* 46: 29 - 44.
- Ríos-Osorio, O., J. L. Chávez-Servia, y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2014b. Producción tradicional y diversidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo: un estudio de caso en Tehuantepec-Juchitán, México. *ASyD* 11: 35 - 51.
- Salgado-Meraz, L., R. Lobato-Ortiz, L. J. Pérez-Flores, S. Cruz-Izquierdo, C. Peña-Valdivia, y J. J. García-Zavala. 2018. Diversidad agronómica de poblaciones de jitomate tipo "cherry" *S. lycopersicum* L. y *S. pimpinellifolium* L. con potencial en el mejoramiento genético. *Rev. Fitotec. Mex.* 41: 499-507.
- SAS Institute. 1983. Cubic clustering criterion. SAS technical report A108. Cary, N.C. USA. 50 p.

- Sulbarán, B., E. Sierra, G. Ojeda De Rodríguez, M. Berradre, V. Fernández y J. Peña. 2011. Evaluación de la actividad antioxidante del tomate crudo y procesado. *Rev. Fac. Agron. Luz* 28: 273 - 291.
- Talbot, B. M., J. B. Moyseenko, and A. J. Monforte. 2007. Morphological variation in tomato: a comprehensive study of quantitative trait loci controlling fruit shape and development. *J. Exp. Bot.* 58: 1339 - 1349.
- Tochihuitl M., G. A., C. Saucedo V., G. Arellano O., C. García O., J. Suárez E. 2017. Evaluación de la calidad de frutos de jitomate de cuatro poblaciones nativas y un híbrido comercial. *Rev. Iberoam. Tec. Postcosecha* 18: 47 - 52.
- Touré A., S., R. Nieto A., J. E. Rodríguez P., A. F. Barrientos P., L. A. Ibáñez C., E. Romanchik K. y C. A. Núñez C. 2010. Variación anatómica del xilema del tallo de cultivares de jitomate injertados en un tipo criollo. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 16: 67 - 76.
- Urrieta-Velázquez, J. A., M. Rodríguez-Mendoza, P. Ramírez-Vallejo, G. A. Baca-Castillo, L. Ruiz-Posada, y J. A. Cueto-Wong. 2012. Variables de producción y calidad de tres selecciones de tomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 18: 371 - 381.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1975. Tomato Color Chart. USDA Visual Aid TM-L-1. <https://ucanr.edu/repository/view.cfm?article=83755%20&groupid=9>
- USDA (United States Department of Agriculture). 2015. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release, Basic report 11529, tomatoes, red, ripe, raw, year round average. USA. 2 p. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11529>
- Vásquez-Ortiz, R., J. C. Carrillo-Rodríguez, y P. Ramírez-Vallejo. 2010. Evaluación morfo-agronómica de una muestra del tomate nativo del centro y sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8: 49 - 64.
- Varshney, R. K., D. A., Hoisington, S. N., Nayak, and A. Graner. 2009. Molecular plant breeding: methodology and achievements. *In: Somers, D. J., P. Langridge, and J. P. Gustaf (eds). Plant Genomics. Humana press. New York. pp: 283 - 304.*
- Vela-Hinojosa, C., C. Barbosa-Martínez, H. B. Escalona-Buendía, J. A., Mendoza-Espinoza, R. Lobato-Ortiz, J. E., Rodríguez-Pérez, J. M., Villa-Hernández, and L. J. Pérez-Flores. 2018a. Architectural diversity of the cuticle and epidermis of native and hybrid tomato fruit genotypes and the relation to polygalacturonase expression. *Not. Bot. Horti. Agrobot. Cluj. Napoca.* 46: 45 - 51.
- Vela-Hinojosa, C., H. B. Escalona-Buendía, J. A. Mendoza-Espinoza, F. Díaz de León-Sánchez, R. Lobato-Ortiz, J. E. Rodríguez-Pérez, M. Ramírez-Aguilar, F. Pérez-Díaz, J. M. Villa-Hernández, and L. Pérez-Flores. 2018. Chemical and sensory analysis of native genotypes and experimental lines of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Fruits* 73: 60-71.
- Velasco-Alvarado, M. de J., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, R. Castro-Brindis, S. Cruz-Izquierdo, T. Corona-Torres, and M. K. Moedano-Mariano. 2017. Mexican native tomatoes as rootstocks to increase fruit yield. *Chilean JAR* 77: 187 - 193.
- Young, T. E., J. A. Jovic, and G. Sullivan. 1993. Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. *Amer. J. Hort. Sci.* 118: 286 - 292.
- Zamir, D. 2001. Improving plant breeding with exotic genetic libraries. *Nature Reviews Genetics* 2: 983 - 989.

