

# COMPONENTES DEL SABOR Y CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO DE JITOMATES (*Solanum lycopersicum* L.) NATIVOS E HÍBRIDOS COMERCIALES

## FLAVOR COMPONENTS AND ASCORBIC ACID CONTENT IN NATIVE AND COMMERCIAL HYBRID TOMATOES (*Solanum lycopersicum* L.)

Edgar A. Berrospe-Ochoa<sup>1\*</sup>, Crescenciano Saucedo-Veloz<sup>2</sup>, Martha E. Ramírez-Guzmán<sup>2</sup>, Daniela Saucedo-Reyes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Coordinación Académica Región Altiplano Oeste, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 78600. Carretera Salinas-Santo Domingo No. 200, Salinas, San Luis Potosí. (edgar.berrospe@uaslp.mx). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados. 56230. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

### RESUMEN

El jitomate es comercialmente importante en el mundo por sus formas de consumo y valor nutricional. Debido a su demanda, cultivares con atributos agronómicos mejorados, resistencia a daños mecánicos y mayor vida de anaquel se han desarrollado. En ciertos casos, esto se ha logrado con detrimento de la calidad organoléptica o nutrimental, pero las poblaciones nativas las mantienen. Para este estudio, de una recolecta de 600 poblaciones nativas se seleccionaron 13 con características agronómicas adecuadas para su cultivo en invernadero, producción y tamaño de fruto aceptables, con el objetivo de caracterizar atributos químicos relacionados al sabor y conocer el contenido de ácido ascórbico del fruto, respecto a dos híbridos comerciales. La hipótesis fue que el contenido de ácido ascórbico, ácido cítrico, pH y sólidos solubles totales de los frutos confieren diferencias significativas al sabor. El diseño fue completamente al azar, con 15 tratamientos y cuatro repeticiones. El análisis de datos fue multivariado. En cuatro estados de madurez de fruto se cuantificó pH y contenido de ácido ascórbico, ácido cítrico y sólidos solubles totales. Los componentes del sabor y el contenido de ácido ascórbico permitieron identificar tres grupos. Uno con los híbridos comerciales con contenido menor de ácido ascórbico, otro con tres recolectas y el híbrido Daniela, clasificados como muy dulces; y el que incluyó el híbrido Sun7705 y cinco recolectas clasificadas como dulces, tres con sabor neutro y dos insípidas. Esto confirma que las poblaciones nativas poseen potencial de fruto para consumo fresco o procesado y componente de platillos gourmet.

### ABSTRACT

Tomatoes are commercially important worldwide for the ways it is consumed and its nutritional value. Due to its demand, cultivars with improved agronomic attributes, resistance to mechanical damage and longer shelf life have been developed. In certain cases, this has been achieved in detriment of organoleptic or nutritional quality, which native populations maintain. For this study, out of a collection of 600 native populations 13 were selected for their suitable agronomic characteristics for greenhouse cultivation, adequate yield and fruit size. Our objective was characterizing their chemical attributes related to taste and assessing their ascorbic acid content and compared it to two commercial hybrids. Our hypothesis was that the ascorbic acid and citric acid content, pH and total soluble solids in the fruits confer significant differences to the flavor. The experimental design was completely randomized, with 15 treatments and four repetitions. The data analysis was multivariate. In four stages of fruit maturity, pH, ascorbic acid, citric acid and total soluble solids content were quantified. The flavor components and the ascorbic acid content allowed three groups identification, one commercial hybrid with low ascorbic acid content, another with three native samples and the “Daniela” hybrid, classified as very sweet; and the one that included the “Sun7705” hybrid and five native samples classified as sweet, three native samples with neutral flavor and two tasteless. This confirms that native populations have potential to produce fruit for fresh or processed consumption and gourmet dishes.

**Key words:** ascorbic acid, pH, *Solanum lycopersicum* L., titratable acidity, total soluble solids.

### INTRODUCTION

The Andean region of Peru is recognized as the origin center of the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and the Mesoamerican region

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.  
Recibido: agosto, 2016. Aprobado: septiembre, 2017.  
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 52: 623-638. 2018.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, ácido ascórbico.

## INTRODUCCIÓN

La región Andina de Perú se reconoce como el centro de origen del jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y la región mesoamericana como el centro de domesticación. En México se usa y consume desde épocas precolombinas y de su distribución hacia el resto del mundo desde la colonización española (Roman *et al.*, 2013; Bergougnoux, 2014; Blanca *et al.*, 2015). Actualmente se consume por su contenido de nutrientes (Carrera *et al.*, 2007; San Martín-Hernández *et al.*, 2012). En México el consumo fresco per cápita fue 14.66 kg (FAOSTAT, 2015), mayor al de EUA (9.35 kg) donde se consume principalmente industrializado (30.51 kg).

El jitomate se produce todo el año y se considera fuente de antioxidantes, vitaminas y minerales (Adalid *et al.*, 2010). Los humanos no sintetizan el ácido ascórbico (vitamina C), por la presencia de L-glucono-1,4-lactona oxidasa; por lo que, alrededor de 90 % del ácido ascórbico proviene de las frutas y vegetales que consumen, como el jitomate (Tsaniklidis *et al.*, 2014). El ácido ascórbico es esencial para el crecimiento, el desarrollo y la reproducción humana, pues mejora la absorción de Fe, disminuye los niveles de colesterol en la sangre, previene la formación de trombosis en las venas, aumenta la inmunidad del organismo y actúa contra infecciones (Zhang *et al.*, 2011). El contenido de esta vitamina en frutos de jitomate varía desde poco menos de 5 hasta más de 100 mg 100 g<sup>-1</sup> y depende del sistema de producción, la tecnología de producción, la zona agroclimática, el cultivar, el estado de madurez del fruto y la especie.

La industrialización del jitomate ha propiciado la disminución del número de cultivares y la calidad organoléptica y nutrimental (Adalid *et al.*, 2010). Estos atributos nutrimentales se mantienen en las poblaciones nativas. La presencia y uso de formas y tamaños diversos de frutos de jitomates nativos se ha documentado desde los estados del norte de México hasta la península de Yucatán, en el sureste; además, su consumo se prefiere en relación con los híbridos comerciales (Álvarez-Hernández *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2009; Carrillo y Chávez, 2010; Pacheco-Triste *et al.*, 2014). Las poblaciones nativas son

as the domestication center. In Mexico, tomato is used and consumed since pre-Columbian time and is worldwide distributed to the rest of the world since the Spanish colonization (Roman *et al.*, 2013, Bergougnoux, 2014; Blanca *et al.*, 2015). Currently, it is consumed because of its nutrient content (Carrera *et al.*, 2007; San Martín-Hernández *et al.*, 2012). In Mexico, fresh *per capita* consumption was 14.66 kg (FAOSTAT, 2015), higher than the USA (9.35 kg) where it is mainly consumed industrialized (30.51 kg).

Tomato is produced all year round and it is considered a source of antioxidants, minerals and vitamins (Adalid *et al.*, 2010). Humans do not synthesize ascorbic acid (vitamin C), due to L-glucono-1,4-lactone oxidase presence; therefore, about 90 % of the ascorbic acid intake comes from the consumed fruits and vegetables, such as tomato (Tsaniklidis *et al.*, 2014). Ascorbic acid is essential for human growth, development and reproduction, as it improves Fe absorption, decreases blood cholesterol levels, prevents veins thrombosis formation, increases organismic immunity and acts against infections (Zhang *et al.*, 2011). This vitamin content in tomato fruits varies from just under 5 to more than 100 mg 100 g<sup>-1</sup> which depends on its production system, the technology in the production, the agroclimatic zone it's grown in, their cultivar, the maturity stage of the fruit and the species.

The tomato's industrialization has led to a decrease in the number of cultivars and their organoleptic and nutritional quality (Adalid *et al.*, 2010). These nutritional attributes are maintained in the native populations. The presence and use of different shapes and sizes of native tomato fruits is documented from the northern Mexico states to the Yucatan Peninsula in the southeast; in addition, its consumption is preferred compared to commercial hybrids (Álvarez-Hernández *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2009; Carrillo and Chávez, 2010, Pacheco-Triste *et al.*, 2014). Native populations are important because of their genetic variability, which results of conscious or unconscious selection by indigenous communities. Currently, there are collections of native tomatoes that allow taking advantage of and conserving genetic variability and generating new cultivars. For this reason, the agronomic attributes in their productive behavior, in field and protected conditions, have been characterized and confirmed their genetic diversity (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010; Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013; Bonilla-

importantes por su variabilidad genética, resultado de la selección consciente o inconsciente por las comunidades indígenas. Las colecciones actuales de jitomates nativos permiten aprovechar y conservar la variabilidad genética y generar cultivares nuevos. Por esto, los atributos agronómicos en su comportamiento productivo, en campo y condiciones protegidas, se han caracterizado y han confirmado su diversidad genética (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010; Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013; Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014; San Juan-Lara *et al.*, 2014). El Colegio de Postgraduados, a través de su Programa de Conservación y Aprovechamiento de la Diversidad Nativa de Jitomate en México, cuenta con alrededor de 600 poblaciones que se han estudiado agronómicamente. Pero la caracterización del sabor y el contenido de ácido ascórbico (vitamina C) de los frutos es pobre. El objetivo del estudio fue caracterizar el desarrollo de algunos atributos químicos relacionados con el sabor y contenido de ácido ascórbico del fruto de 13 recolectas nativas respecto a dos híbridos comerciales, producidos en invernadero. La hipótesis fue que el contenido de ácido ascórbico, ácido cítrico y sólidos solubles totales y pH de los frutos de los híbridos comerciales es superior al de las poblaciones nativas, independientemente de la madurez al momento de cosecha.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Trece recolectas de jitomate se evaluaron en este estudio, estas se seleccionaron de 600 recolectadas de diversas zonas productoras de México. Las 13 recolectas sobresalieron en la adaptación al cultivo en invernadero, por su sanidad, morfología de la planta y tamaño y forma del fruto. Los resultados se compararon con los de los híbridos comerciales SUN7705<sup>®</sup> de Nunhems, con fruto tipo saladette, y Daniela<sup>®</sup> de Hazera Genetics<sup>®</sup>, con fruto tipo bola. Las recolectas provenientes de Puebla se identificaron con los números 16, A, B1, BR, y R, con 34, 35, y 38 las provenientes de Guerrero, con 48 y 49 para las provenientes de Oaxaca, con L, 83 y 96 para las provenientes de Campeche, Yucatán y Estado de México, respectivamente. Las recolectas y los híbridos comerciales mostraron crecimiento indeterminado.

Los frutos se obtuvieron de plantas desarrolladas en un invernadero (19° 27' 42.45" N, 98° 54' 32.58" O y 2241 m de altitud), tipo túnel de 500 m<sup>2</sup>, con cubierta plástica color blanco lechoso. La siembra se realizó en charolas germinadoras de poliestireno de 200 cavidades con una mezcla de peatmoss y agrolita (3:1 v/v)

Barrientos *et al.*, 2014; San Juan-Lara *et al.*, 2014). The Colegio de Postgraduados, through its Program for Use and Conservation of the Native Tomato Diversity in Mexico, has around agronomically studied 600 populations. Still, the flavor characterization and the ascorbic acid (vitamin C) content of the fruits are poor. The objective of the study was to characterize the development of some chemical attributes related to flavor and the ascorbic acid content of the fruit of 13 native collections compared to two commercial hybrids, produced in greenhouse. Our hypothesis was that the ascorbic acid, citric acid and total soluble solids content and pH of the fruits of the commercial hybrids are higher than that of the native populations, regardless of their maturity at harvest time.

## MATERIALS AND METHODS

Thirteen tomato collections were evaluated in this study; these were selected out from 600 collected from different producing areas from Mexico. The 13 collections stood out in their adaptation to greenhouse cultivation, their health, plant morphology and fruit shape and size. The results were compared with those of the commercial hybrids SUN7705<sup>®</sup> of Nunhems, a "saladette" fruit type, and Daniela<sup>®</sup> from Hazera Genetics<sup>®</sup>, with a "ball" fruit type. Collections from Puebla state were identified as 16, A, B1, BR, and R, those from Guerrero as 34, 35, and 38, those from Oaxaca as 48 and 49, and as L, 83 and 96 those from Campeche, Yucatán and Estado de México, each. The collected ones and commercial hybrids showed indeterminate growth.

The evaluated fruits were obtained from plants developed in a greenhouse (19° 27' 42.45" N, 98° 54' 32.58" W and 2241 m altitude) 500 m<sup>2</sup> tunnel type, with a milky white plastic cover. The planting started in 200 cavities polystyrene germination trays with peatmoss and agrolite mixture (3:1 v/v) as substrate. The seeds remained in acidulated water (pH 5.5) for 12 h, and then one per cell placed in seedbeds and covered with the same substrate until the cavities were filled. The nurseries were watered twice a day with 25 % Steiner solution (Steiner, 1984) prepared with calcium nitrate (Haifa<sup>®</sup>), potassium nitrate (Haifa<sup>®</sup>), magnesium sulfate (Ultrasol<sup>®</sup>), monopotassium phosphate (Ultrasol<sup>®</sup>), sulfuric acid (Procom<sup>®</sup>) and chelated micronutrients (TradeCorp<sup>®</sup>), pH 6.5 and electrical conductivity of 2.5 mS. Thirty one days after sowing (das) they were transplanted to 10 L capacity black polyethylene bags (30 cm diameter and 40 cm high), in a substrate based on red volcanic rock (tezontle) of 5 ± 2 mm particle size. The culture bags were placed in a double row with 1.0 m between rows to obtain a density of 3.5 plants per m<sup>2</sup>. From the transplant day to

como sustrato. Las semillas permanecieron en agua acidulada, pH 5.5, por 12 h), luego se colocó una por celda en semilleros, se cubrieron con el mismo sustrato hasta llenar las cavidades. Los semilleros se regaron dos veces al día con solución Steiner al 25 % (Steiner, 1984), la que se preparó con nitrato de calcio (Haifa®), nitrato de potasio (Haifa®), sulfato de magnesio (Ultrasol®), fostato monopotásico (Ultrasol®), ácido sulfúrico (Procom®) y micronutrientes quelatados (TradeCorp®), con pH 6.5 y CE de 2.5 mS. 31 días después de la siembra (dds) se realizó el trasplante a bolsas de polietileno negro, de 10 L de capacidad (30 cm diámetro y 40 cm alto), con sustrato a base de roca volcánica roja (tezontle) con tamaño de partícula de  $5 \pm 2$  mm. Las bolsas de cultivo se colocaron en hilera doble y 1.0 m entre hileras para obtener una densidad de 3.5 plantas  $m^{-2}$ . Desde el trasplante hasta los 65 dds se aumentó 25 % la concentración de la solución nutritiva, cada 8 d, hasta alcanzar concentración del 100 % (Steiner, 1984). En etapa productiva se programaron ocho riegos diarios, de 345 mL cada uno, concentrando cinco riegos entre las 12:00 y 14:00 h y promediando en total entre  $2.75 \pm 0.25$  L por planta diariamente. A partir de los 40 dds se eliminaron los brotes laterales y colocó un tutor a cada planta; mediante podas de los racimos florales, se dejaron las seis flores de mayor tamaño, bien formadas y desarrolladas, por racimo.

Durante la cosecha, entre las 07:00 y 08:00 h, se obtuvieron frutos en cuatro estados fisiológicos de maduración: verde maduro, cambiante, rosa, rojo-firme y rojo-maduro (Batu, 2004), tomando el primer fruto de cada racimo floral de los racimos uno al cinco, conforme se presentaron en la planta. Estos se cosecharon, evitando el daño mecánico, se etiquetaron y colocaron en contenedores plásticos para su análisis inmediato en el laboratorio.

Los frutos se lavaron con agua destilada, se secaron y se determinó: contenido de sólidos solubles totales (SST en °Brix) en el jugo de los frutos, con el método 983.17 de la AOAC (1990) y un refractómetro digital (ATAGO serie A56280 de ATAGO, Co., EUA, LTD Pr-32 $\alpha$ , con escala de 0 a 32 %), contenido de ácido cítrico (AC) con el método 942.15 de la AOAC (1990) y pH de la pulpa con un potenciómetro (Corning, EUA, modelo 12), con el método 964.24 de la AOAC (1990). En la pulpa se cuantificó la concentración de ácido ascórbico (AA), con el método 967.21 de la AOAC (1990), que se basa en la extracción con ácido oxálico y oxidación del 2,6-diclorofenol-indofenol, los resultados se calcularon en mg AA 100  $g^{-1}$ .

El diseño experimental fue completamente al azar con 15 tratamientos (cuatro macetas por tratamiento) y cuatro repeticiones (cuatro hileras dobles), y un fruto la unidad experimental. El estado fisiológico de referencia fue rojo-firme. Los análisis incluyeron uno tipo clúster, mediante el método de promedios de grupos de pares ponderados con distancias Euclidianas, uno

65 das the nutritive solution concentration was increased by 25 % every 8 d until reaching a 100 % concentration (Steiner, 1984). During the production stage, eight daily 345 mL irrigations were programmed, concentrating five irrigations between 12:00 and 14:00 h, averaging a total of  $2.75 \pm 0.25$  L per plant daily. Forty das lateral buds were eliminated and a tutor placed on each plant; by pruning the floral clusters, the six largest well-developed flowers cluster were left.

During harvest, between 07:00 and 08:00 h, fruits were obtained from four physiological stages of maturation: ripe green, changing, pink, red-firm and red-ripe (Batu, 2004), taking the first fruit of each floral cluster from clusters one to five, as they appeared in the plant. These were harvested; avoiding mechanical damage they were labeled and placed in plastic containers for immediate analysis in the laboratory.

The fruits were washed with distilled water and dried. The following was then assessed from the fruit's juice: soluble solids total content (SST in °Brix) with method 983.17 of the AOAC (1990) in a digital refractometer (ATAGO series A56280 of ATAGO, Co., USA, LTD Pr-32 $\alpha$ , with a scale of 0 to 32 %). The content of citric acid (AC) was measured with method 942.15 of the AOAC (1990), and pulp pH with a potentiometer (Corning, USA, model 12) following method 964.24 of the AOAC (1990). In the pulp, ascorbic acid concentration (AA) was quantified with method 967.21 from the AOAC (1990), which is based on extraction with oxalic acid and oxidation of 2, 6-dichlorophenol-indophenol, the results were calculated as mg AA 100  $g^{-1}$ .

The experimental design was completely randomized with 15 treatments (four pots per treatment) and four repetitions (four double rows), and each fruit as the experimental unit. The physiological stage of reference was red-firm. Analyzes included a cluster type, *via* the groups means of weighted pairs with Euclidean distances method, a Chernoff type graph (Chernoff, 1973) and a canonical discrimination. The analyzes were made based on the nutritional and flavor attributes of the fruits to characterize the groups with the SAS System® ver. 9.0 programs (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA) and STATISTICA® ver. 7.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA).

## RESULTS AND DISCUSSION

Based on the determination of the content of AA, TSS, CA and pH, three groups were identified, with three units distance, similar in AA content and flavor in a firm red stage, which is what the final consumer acquires. Commercial hybrids “Daniela” and “Sun7705” and the natives A, BR, L and R formed group I. Natives 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96

grafico tipo Chernoff (Chernoff, 1973) y una discriminación canónica. Los análisis se realizaron con base en los atributos nutrimentales y de sabor del fruto para caracterizar los grupos con los programas SAS System® ver. 9.0 (SAS Institute, Inc., Cary, NC, EUA) y STATISTICA® ver.7.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, EUA).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en la determinación del contenido de AA, SST, AC y pH, tres grupos se identificaron, con distancia de tres unidades, similares en contenido de AA y sabor en estado rojo firme, que es el que adquiere el consumidor final. Los híbridos comerciales Daniela y Sun7705 y las recolectas nativas A, BR, L y R formaron el grupo I. Las recolectas 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96 y B1 formaron el grupo II y la recolecta 35 formó el grupo III (Figura 1).

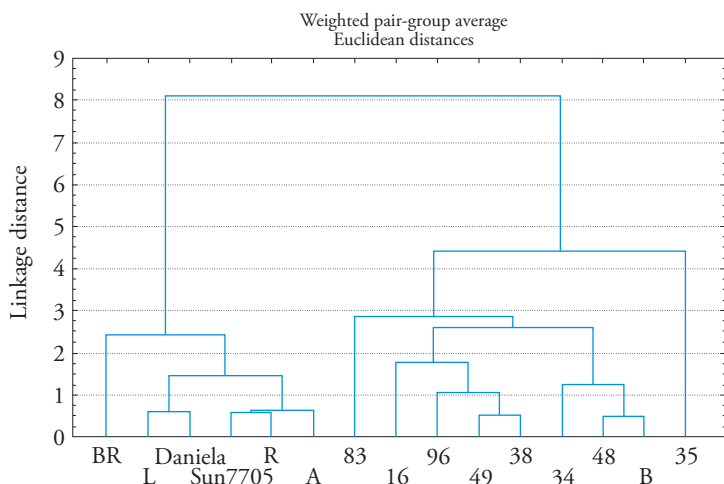
El grafico de Chernoff se obtuvo considerando como atributo principal el contenido de AA. Este carácter representó la anchura de la cara, la elevación de las orejas representó los SST, la excentricidad de la frente reflejó la concentración de AC y la altura de la frente el pH (Figura 2). Este gráfico evidenció que el grupo III se caracterizó por el contenido alto de AA y SST, en relación a los otros dos grupos, por lo que se consideró con sabor dulce. Los frutos de las recolectas nativas del grupo II presentaron menor contenido de AA en relación al grupo I y con menor concentración de SST (a excepción de las recolectas 83 y 16), con variaciones mínimas de contenido de AC y pH, por lo que se consideraron con dulzura media y no ácidos. Los frutos del grupo I presentaron la cantidad menor de AA, dulzura similar al grupo

and B1 formed group II and native 35 formed group III (Figure 1).

We obtained the Chernoff graph taking into account the AA content as the main attribute. This character represented the width of the face, the ears elevation represented the TSS, the eccentricity of the forehead reflected the concentration of CA and the height of the forehead the pH (Figure 2). This graph showed that group III had a high content of AA and TSS characteristic compared to the other two groups, and, therefore, considered as sweet. The native collections fruits from group II had lower AA content compared to group I and lower TSS concentration (except for natives 83 and 16), with minimal variations in CA content and pH, so they were considered medium sweet and not acidic. The fruits from group I had the lowest AA amount, similar sweetness to group II and variable CA content and pH, so that its flavor was variable respect to the native harvest.

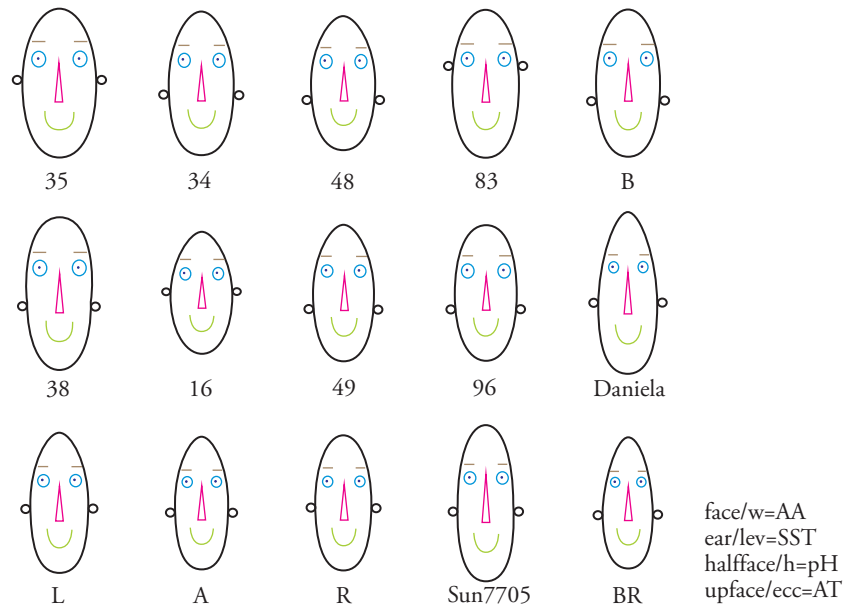
Discriminant canonical analysis (DCA) generated four variables based on the chemical and nutritional attributes. These canonical variables explained 100 % of the data variability. Canonical variable one (Can1, 45.73 %) was related to the pH of the fruits, Can2 (34.69 %) with the SST content, Can3 (12.77 %) with the AA content and Can4 (6.81 %) with the AC content.

The Can1: Can2 graphic relation showed four similar groups in pH and TSS; the hybrids “Daniela”, “Sun7705” and native 38 integrated the first group and characterized by its fruits with high pH and low TSS content. The second group consisted of natives 34, 48, 49 and 96, from which their fruits were acidic



**Figura 1.** Dendrograma de calidad de frutos en estado rojo-firme de recolectas nativas y dos híbridos comerciales de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.).

**Figure 1.** Dendrogram of fruit quality at red-firm stage from native populations and two commercial hybrids of tomato (*Solanum lycopersicum* L.).



**Figura 2. Caras de Chernoff de atributos nutrimentales de frutos en estado rojo-firme de recolectas nativas y dos híbridos comerciales de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). AA: ácido ascórbico, SST: sólidos solubles totales, pH: potencial de hidrogeno y AT: ácido cítrico.**

**Figure 2. Chernoff faces of nutrimental attributes from fruits at red-firm stage from native populations and two commercial hybrids of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). AA: ascorbic acid, TSS: total soluble solids, pH: hydrogen potential and CA: citric acid.**

II y contenido variable de AC y de pH, por lo que su sabor se consideró variable respecto a la recolecta nativa.

El análisis canónico discriminante (ACD) generó cuatro variables en función de los atributos químicos y nutrimentales. Estas variables canónicas explicaron 100 % de la variabilidad de los datos. La variable canónica uno (Can1, 45.73 %) se relacionó con el pH del fruto, Can2 (34.69 %) con el contenido de SST, Can3 (12.77 %) con el contenido de AA y Can4 (6.81 %) con el contenido de AC.

La relación gráfica Can1: Can2 mostró cuatro grupos similares en pH y SST; el primero lo integraron los híbridos Daniela, Sun7705 y la recolecta 38. Este se caracterizó por sus frutos con pH alto y contenido bajo de SST. El segundo grupo lo formaron las recolectas 34, 48, 49 y 96, de las que sus frutos eran ácidos y su contenido de SST similar al primer grupo. Las recolectas A y BR formaron el tercer grupo, el cual presentó frutos ácidos con contenido mayor de SST, en comparación con los dos primeros grupos. Las recolectas L y R se agruparon en un cuarto grupo, por sus frutos ligeramente ácidos y SST ligeramente

and their TSS content similar to the first group. Natives A and BR formed the third group, which had acid fruits with higher TSS content, compared to the first two groups. Natives L and R were grouped in a fourth group, due to their slight acid fruits and slightly higher TSS than the third group. The natives 16, 35, 83 and B1 were not grouped because they had different pH and SST (Figure 3A).

The Can3 and Can4 relation showed two results. The first was the presence of two groups (A and B). Grup A was characterized by its low AA content, which contained the Daniela and Sun7705 hybrids and the A, BR, L and R collects. This corresponds with the dendrogram described above. B was characterized by AA content and contained collects 16, 34, 35, 38, 48, 49, 83, 96 and B1. Within this group, three subgroups (C, D and E) were identified and showed relation between the AA and the CA content. Subgroup C (collections A, BR, L and Sun7705 hybrid) had low AA content and intermediate CA concentration. In contrast, subgroup D (collects 16, 48, 49, 83 and B1) had high AA concentration and slightly higher CA than subgroup C. Its high AA content and low CA

superior al tercer grupo. Las recolectas 16, 35, 83 y B1 no se agruparon por ser diferentes en pH y SST (Figura 3A).

La relación Can3 y Can4 mostró dos resultados. El primero fue la presencia de dos grupos (A y B). A se caracterizó por su contenido bajo de AA y lo integraron los híbridos Daniela y Sun7705 y las recolectas A, BR, L y R. Esto concordó con el dendograma descrito antes. B se caracterizó por su contenido alto de AA y lo formaron las recolectas 16, 34, 35, 38, 48, 49, 83, 96 y B1. En este grupo se identificaron tres subgrupos (C, D y E) que denotaron una relación entre el contenido de AA y AC. El subgrupo C (recolectas A, BR, L e híbrido Sun7705) presentó contenido bajo de AA y concentración intermedia de AC. En contraste, el subgrupo D (recolectas 16, 48, 49, 83 y B1) presentó concentración alta de AA y AC ligeramente mayor que el subgrupo C. El subgrupo E (recolectas 38 y 96) se caracterizó por su contenido alto de AA y AC bajo (Figura 3B); esto denota diferencias en sabor.

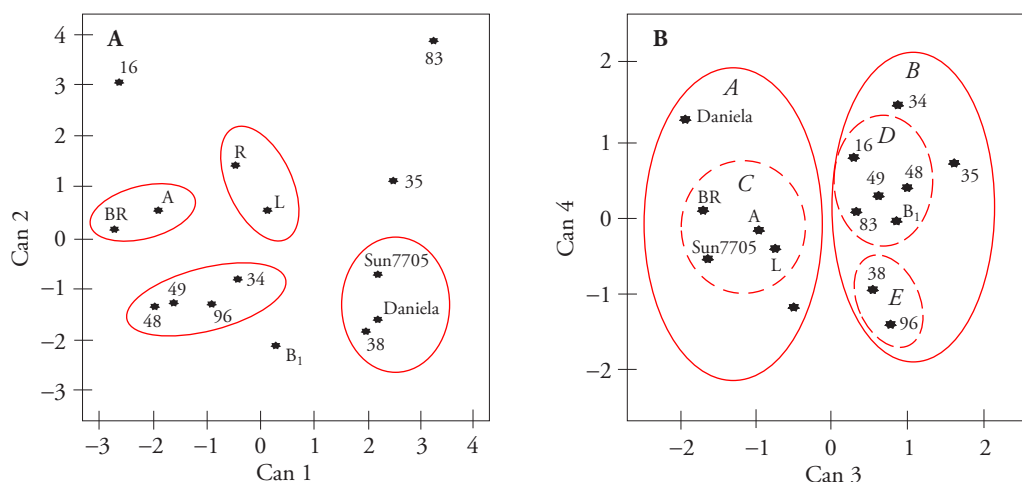
Los híbridos comerciales y la recolecta R del grupo I mostraron acidez moderada y estable, en comparación con el resto del grupo (Daniela 5.17, Sun7705 5.00 y R 4.83). Las recolectas A y BR evidenciaron disminución del pH (de 4.53 y 4.43 a 4.83 y 4.90) (Figura 4A). El grupo II, con las recolectas 16, 38, 48, 49, 83 y 96 mostró estabilidad

(Figure 3B) characterized subgroup E (collects 38 and 96); this implies differences in its flavor.

The commercial hybrids and the R collection from group I showed moderate and stable acidity compared with the rest of the group (Daniela 5.17, Sun7705, 5.00 and R 4.83). Collects A and BR showed decreased pH (from 4.53 and 4.43 to 4.83 and 4.90) (Figure 4A). Group II, consisting on collects 16, 38, 48, 49, 83 and 96 showed pH stability during fruit ripening. Collect 16 had the lowest pH (4.63) and 38 the highest (5.03). From the group, B1 collect increased its pH (from 4.83 in the green-ripe state to 5.27 in the red-ripe state) with maturation. Only collect 34 exhibits an irregular pH change during maturation (Figure 4B). Collect 35 (group III) decreased its pH to 4.77 in the breaking maturation stage, later it increased to 5.13 in the red mature stage (Figure 4C).

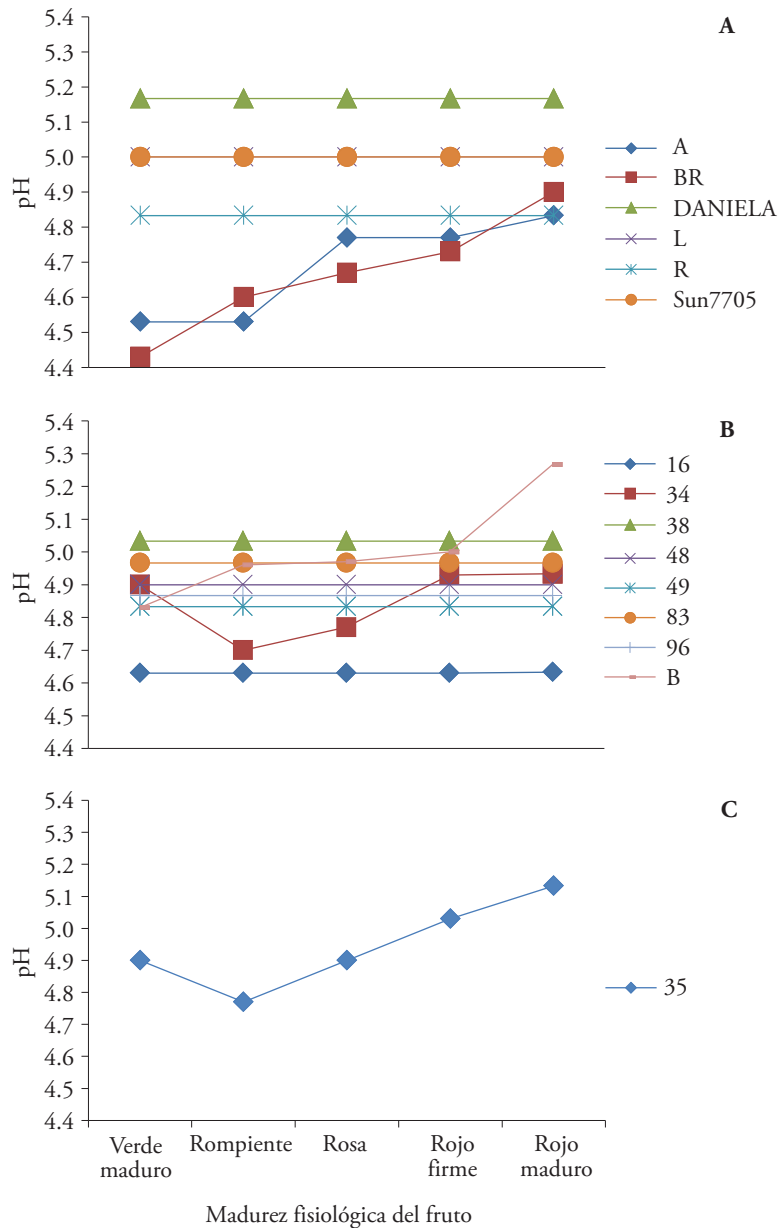
Crisanto-Juárez *et al.* (2010) obtained pH between 3.63 and 4.30 in a tomato collects from Oaxaca. Shah *et al.* (2015) and Vinha *et al.* (2014) reported values between 4.3 and 4.6 in commercial hybrids, and placed the exocarp as the anatomical tissue that mainly influences the fruit's acidity. Commercial hybrids and native harvests had less acid fruits when obtained in hydroponic production systems.

At group I, Daniela and Sun7705 hybrids showed 0.39 and 0.68 % CA; this evidenced the



**Figura 3. Relación de variables canónicas de trece recolectas nativas y dos híbridos comerciales de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Can1 (45.73 %): pH, Can2 (34.69 %): sólidos solubles totales, Can3 (12.77 %): ácido ascórbico y Can4 (6.81 %): ácido cítrico.**

**Figure 3. List of canonical variables from thirteen native populations and two commercial hybrids of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Can1 (45.73 %): pH, Can2 (34.69 %): total soluble solids, Can3 (12.77 %): ascorbic acid, and Can4 (6.81 %): citric acid.**



**Figura 4. pH durante la maduración de fruto de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) de 13 recolectas nativas y dos híbridos comerciales. A) Grupo I: híbridos Daniela y Sun7705 y recolectas A, BR, L y R, B) Grupo II: recolectas 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96 y B<sub>1</sub> y C) Grupo III: recolecta 35.**  
**Figure 4. pH during tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) maturation from 13 native collectas and two commercial hybrids. A) Group I: Daniela and Sun7705 hybrids and A, BR, L and R, B collectas). Group II: collectas 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96 and B<sub>1</sub> and C) Group III: collect 35.**

del pH durante la maduración del fruto. La recolecta 16 tuvo el pH menor (4.63) y la recolecta 38 el mayor (5.03). Del grupo, la recolecta B<sub>1</sub> aumentó su pH (de 4.83 en estado verde-maduro a 5.27 en rojo-firme) con la maduración. Solo la recolecta 34

difference with the saladette type Sun7705 hybrid and the ball type Daniela, despite maintaining stable concentration during ripening. Collects L, R and A also showed stable content (0.56, 0.52 and 0.39 %) during maturation. Collect A showed



evidenció cambio irregular de pH durante la maduración (Figura 4B). La recolecta 35 (grupo III) disminuyó su pH a 4.77 en estado rompiente de maduración y aumentó a 5.13 en estado rojo maduro (Figura 4C).

Crisanto-Juárez *et al.* (2010) obtuvieron pH entre 3.63 y 4.30 en una recolecta de jitomates de Oaxaca. Shah *et al.* (2015) y Vinha *et al.* (2014) reportaron pH de 4.3 a 4.6 en híbridos comerciales, y ubicaron al exocarpo como el tejido anatómico que influye mayormente en la acidez del fruto. Los híbridos comerciales y las recolectas nativas tuvieron frutos menos ácidos cuando se obtuvieron en un sistema de producción hidropónico.

En el grupo I, los híbridos Daniela y Sun7705 mostraron 0.39 y 0.68 % de AC; esto evidenció la diferencia con el híbrido Sun7705, tipo saladette, y tipo bola Daniela a pesar de mantener estable su concentración durante la maduración. Las recolectas L, R y A también presentaron contenido estable de AC (0.56, 0.52 y 0.39 %) durante la maduración. La recolecta A mostró contenido similar al híbrido Daniela. La excepción del grupo fue la recolecta BR, por su mayor concentración de AC (90.12 % en estado verde-maduro y disminución similar al híbrido Sun7705, 0.70 %, hasta el estado rojo maduro) en relación al resto del grupo (Figura 5A).

En el grupo II, las recolectas 16, 48, 49, 83, 96 y B mostraron valores estables de AC durante la maduración (0.41, 0.39, 0.72, 0.57, 0.76 y 0.70 %), diferenciándose la recolecta 38 por su aumento progresivo de AC hasta 0.94 % en estado rojo maduro. También, en este grupo la recolecta 34 presentó valores de AC irregulares durante la maduración (más de 8 % AC durante los primeros cuatro estados y disminución posterior) (Figura 5B). La recolecta 35 (grupo III) mostró AC estable (0.63 %) durante la maduración (Figura 5C).

Breksa *et al.* (2015) y Kaur *et al.* (2013) determinaron AC entre 0.28 y 0.63 % en híbridos comerciales de jitomate. Los valores de AC de los híbridos comerciales Daniela y Sun7705 estuvieron en ese intervalo. En contraste, las recolectas nativas tuvieron AC mayores. El AC es un biocompuesto triprótico que modifica significativamente el pH del fruto; esto depende de su relación con otros compuestos y minerales presentes. En el estudio, la correlación entre el contenido de AC y el pH fue negativa ( $r = -0.48$ ); lo que indica que el pH disminuirá en función del

similar content to the Daniela hybrid. The exception from the group was the BR collect, due to its higher CA concentration (90.12 % at the green-ripe stage which decreased similarly to the Sun7705 hybrid, 0.70 %, up to the mature red stage) regard to the rest of the group (Figure 5A).

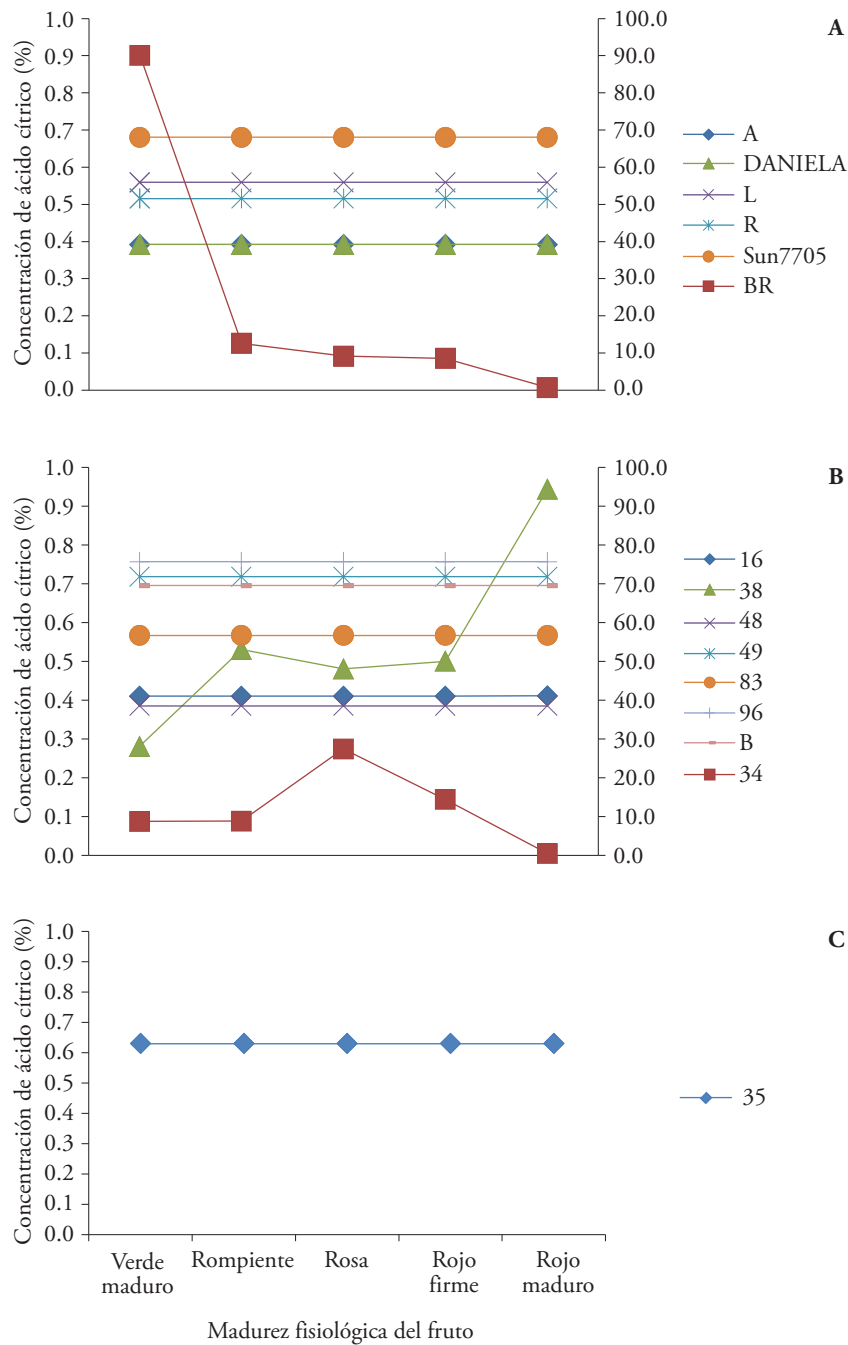
In group II, collects 16, 48, 49, 83, 96 and B showed stable CA values during maturation (0.41, 0.39, 0.72, 0.57, 0.76 and 0.70 %), differentiating collect 38 by its progressive CA increase of up to 0.94 % during mature red stage. In addition, in this group collect 34 presented irregular CA values during maturation (more than 8 % CA during the first four stages and subsequent decrease) (Figure 5B). Collect 35 (group III) showed stable CA (0.63 %) during maturation (Figure 5C).

Breksa *et al.* (2015) and Kaur *et al.* (2013) determined CA between 0.28 and 0.63 % in commercial tomato hybrids. The CA values of the Daniela and Sun7705 commercial hybrids were within that range. In contrast, the native collects had higher CA. The CA is a triprotic bio-compound that significantly modifies fruits pH; this depends on its relation with other present minerals and compounds. In this study, the correlation between the CA content and pH was negative ( $r = -0.48$ ); which indicates that the pH will decrease as the CA increase. This was the case with most of the collects, with the exception of L, R, 16, 48 and 83.

In group I, Daniela hybrid was the only one that showed TSS variability, with a lower level (4.80 °Brix) in a changing stage and higher (6.37 °Brix) at the red-mature stage; the rest of the collects from this group kept a stable TSS content (Figure 6A).

In Group II, collect 83 at the red-mature stage was notable for its TSS content of 8.5 °Brix. Collects 38 and 49 showed similar development among them, with a TSS increase from the breaking stage (5.73 °Brix) and without change until the red-firm stage. Collects 16, 34, 48, 96 and B1 showed no changes in the TSS during ripening (6.13, 5.90, 4.76, 6.10 and 5.14 %) (Figure 6B).

Group III (collect 35) showed 7.03 % TSS during maturation and was the native collect with the highest TSS concentration respect to group A and most group B members. Collect 83 was the only one that exceeded it at the red-firm and red-soft stages (Figure 6C). The TSS content varies between 3.2 to 9.3 % (Kaur *et al.*, 2014; Vinha *et al.*, 2014; Breksa *et al.*, 2015; Shah



**Figura 5. Ácido cítrico (%) en la maduración de fruto de trece recolectas nativas y dos híbridos comerciales de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) agrupados por tipo de frutos según atributos nutrimentales. A) Grupo I: híbridos Daniela y Sun7705 y recolectas A, BR, L y R, B1), Grupo II: recolectas 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96 y B<sub>1</sub> y C) Grupo III: recolecta 35. Recolectas 34 y BR referenciados en eje vertical secundario.**

**Figure 5. Citric acid (%) during fruit ripening from thirteen native collects and two commercial hybrids of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grouped by fruit type according to nutritional attributes. A) Group I: Daniela and Sun7705 hybrids and collects A, BR, L and R, B<sub>1</sub>, Group II: collects 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96, and B<sub>1</sub> and C) Group III: collect 35. Collect 34 and BR referenced in secondary vertical axis.**

aumento en la concentración de AC. Este fue el caso de la mayoría de las recolectas, con excepción de L, R, 16, 48 y 83.

En el grupo I el híbrido Daniela fue el único que presentó variabilidad en SST, con nivel menor (4.80 °Brix) en estado cambiante y mayor (6.37 °Brix) en estado rojo-maduro. Las otras recolectas de este grupo mantuvo estable el contenido de SST (Figura 6A).

En el grupo II la recolecta 83 en estado rojo-maduro destacó por su contenido de SST de 8.5 °Brix. Las recolectas 38 y 49 mostraron desarrollo similar entre sí, con aumento de SST a partir del estado rompiente (5.73 °Brix) y sin cambio hasta el estado rojo-firme. Las recolectas 16, 34, 48, 96 y B<sub>1</sub> no mostraron cambios en SST durante la maduración (6.13, 5.90, 4.76, 6.10 y 5.14 %) (Figura 6B).

El grupo III (recolecta 35) presentó 7.03 % de SST durante la maduración y fue la recolecta nativa con la concentración mayor de SST respecto al grupo A y la mayoría de los integrantes del grupo B. La recolecta 83 fue la única que la superó en los estados rojo-firme y rojo-suave (Figura 6C). El contenido de SST es de 3.2 hasta 9.3 % (Kaur *et al.*, 2014; Vinha *et al.*, 2014; Breksa *et al.*, 2015; Shah *et al.*, 2015), y los resultados de nuestro estudio están en ese intervalo.

El sabor puede definirse como la suma de la interacción entre receptores del gusto, el sistema olfatorio, la textura en la boca y la apariencia visual (Mathieu *et al.*, 2009). En el caso del jitomate los receptores del gusto reaccionan a la concentración de azúcares, ácidos orgánicos y glutamato (Klee, 2010). Hogendoorn *et al.* (2010) reportaron que frutos de jitomate con concentraciones altas de SST (10.6 %) y AC de 4 % fueron altamente preferidos (95 %) por panelistas. Esos frutos tuvieron sabor dulce (85 %), ácido (85 %) e intenso (89 %). Así, las recolectas A, 16 y 83 y el híbrido Daniela se clasificaron como muy dulces, el híbrido Sun7705 y las recolectas L, R, 35, 38 y 48 se clasificaron como dulces, las recolectas B, 49 y 96 con sabor neutro y las recolectas BR y 34 como insípidas. Estos resultados pueden confirmarse con análisis sensoriales.

El contenido de AA en el grupo I de la mitad del grupo (recolectas L, R e híbrido Sun7705) no fue estable. Las concentraciones mayores se presentaron en la etapa rojo-maduro, pero las recolectas A, BR y el híbrido Daniela mantuvieron constante su contenido de AA (4.89, 5.12 y 6.46 mg 100 g<sup>-1</sup>) (Figura 7A).

*et al.*, 2015) and the results in our study are within that interval.

Taste can be defined as the sum of the interactions between taste receptors, the olfactory system, texture in the mouth and visual appearance (Mathieu *et al.*, 2009). In the case of tomatoes, taste receptors react to sugars concentration, organic acids and glutamate (Klee, 2010). Hogendoorn *et al.* (2010) reported that tomato fruits with high TSS concentrations (10.6 %) and CA of 4 % were highly preferred (95 %) by panelists. These fruits tasted sweet (85 %), acid (85 %) and intense (89 %). Thus, collects A, 16 and 83 and the Daniela hybrid were classified as very sweet, the Sun7705 hybrid and the collects L, R, 35, 38 and 48 were classified as sweet, collects B, 49 and 96 with neutral flavor and collect BR and 34 as insipid. These results must be confirmed by sensory analysis.

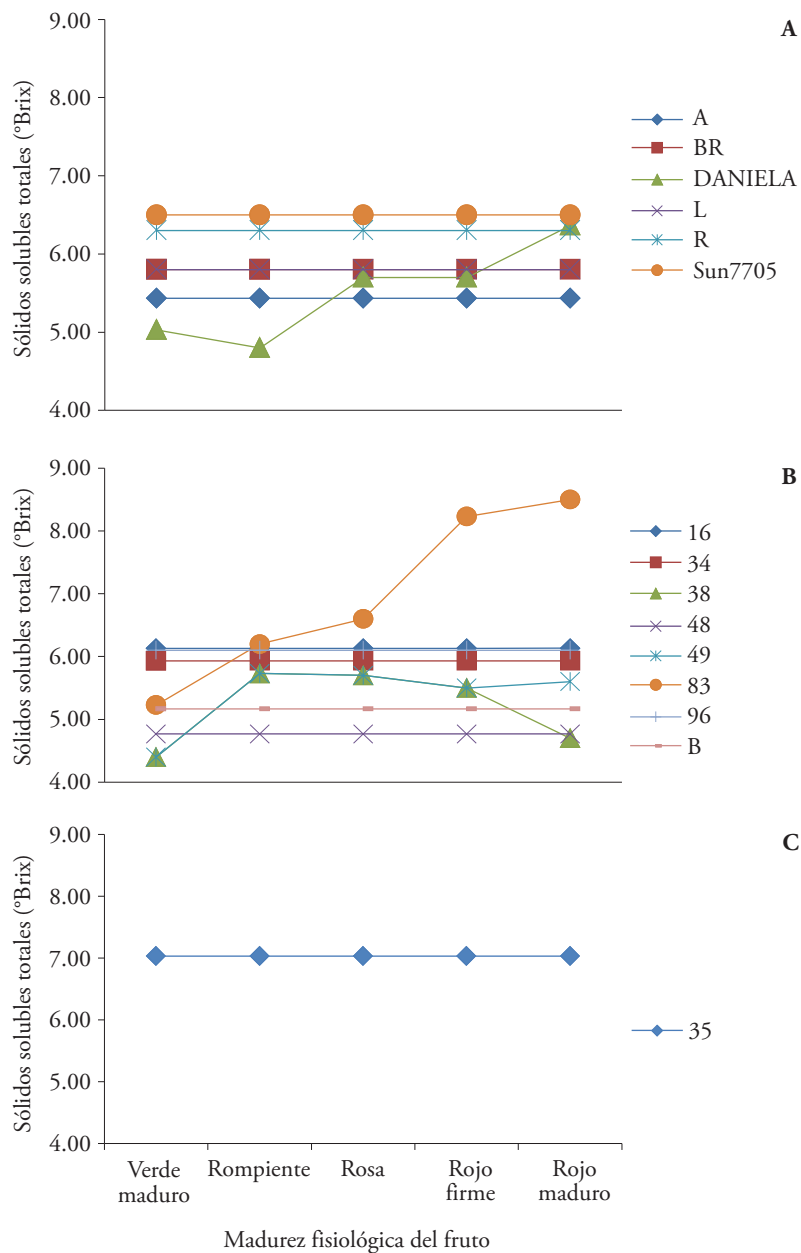
The AA content at group I from half of the group (collect L, R and hybrid Sun7705) was not stable. The highest concentrations occurred at the red-mature stage; but, collects A, BR and hybrid Daniela kept constant AA content (4.89, 5.12 and 6.46 mg 100 g<sup>-1</sup>) (Figure 7A).

AT group II, collects 34, 48, 83 and B1 (8.70, 10.95, 9.38 and 9.82 mg 100 g<sup>-1</sup>) kept their AA stable during maturation. On the contrary, the native collects 38, 49 and 96 tended to increase their AA content, from the green-ripe to the red-firm stage, and decreased to 7.14, 8.48 and 6.91 mg 100 g<sup>-1</sup> at the red-mature stage. A particular case of the group was collect 16, which increased its AA content to 13.86 mg 100 g<sup>-1</sup> in the red-ripe stage. Thus, this collect was the one that contained the largest AA in the entire group (Figure 7B). Therefore, Group II showed the highest AA contents respect to group I.

The collect 35 showed stability in the AA concentration (12.29 mg 100 g<sup>-1</sup>) during maturation; it only exceeded the collect 16 in the red-mature stage (Figure 7C).

In native collects the AA contents were quantified between 6.1 and 16.1 mg 100 g<sup>-1</sup> (Crisanto-Juaréz *et al.*, 2010; Gaspar-Peralta *et al.*, 2012). Some cultivars have shown AA contents of up to 50.21 mg 100 g<sup>-1</sup> (Kaur *et al.*, 2013). These values are affected by factors such as production technology, species, cultivation and maturity (Lee and Kader, 2000).

The National Health Institute (Instituto Nacional de Salud, 2016) recommends an AA daily intake of



**Figura 6.** Sólidos solubles totales en la maduración de fruto de trece recolectas nativas y dos híbridos comerciales de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) agrupados por tipo de frutos según atributos nutrimentales. A) Grupo I: híbridos Daniela y Sun7705 y recolectas A, BR, L y R, B) Grupo II: recolectas 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96 y B<sub>1</sub> y C) Grupo III: recolecta 35.

**Figure 6.** Total soluble solids during fruit ripening from thirteen native collects and two commercial hybrids of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grouped by fruit type according to nutritional attributes. A) Group I: Daniela and Sun7705 hybrids and collects A, BR, L and R, B) Group II: collects 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96 and B<sub>1</sub> and C) Group III: collect 35.

En el grupo II, las recolectas 34, 48, 83 y B<sub>1</sub> (8.70, 10.95, 9.38 y 9.82 mg 100 g<sup>-1</sup>) mantuvieron estable su AA durante la maduración. Al contrario, las recolectas nativas 38, 49 y 96 tendieron a aumentar su el contenido de AA, desde el estado verde-maduro hasta el rojo-firme, y disminuyeron a 7.14, 8.48 y 6.91 mg 100 g<sup>-1</sup> en estado rojo-maduro. Un caso particular del grupo fue la recolecta 16 que aumentó su contenido de AA hasta 13.86 mg 100 g<sup>-1</sup> en estado rojo-maduro. Así, esta recolecta presentó la AA mayor del grupo completo (Figura 7B). Por lo anterior, el Grupo II mostró los contenidos mayores de AA respecto al grupo I.

La recolecta 35 mostró estabilidad en la concentración de AA (12.29 mg 100 g<sup>-1</sup>) durante la maduración; la superó solamente la recolecta 16 en etapa rojo-maduro (Figura 7C).

En recolectas nativas los contenidos de AA han variado de 6.1 a 16.1 mg 100 g<sup>-1</sup> (Crisanto-Juaréz *et al.*, 2010; Gaspar-Peralta *et al.*, 2012). Algunos cultivares han mostrado contenidos de AA de hasta 50.21 mg 100 g<sup>-1</sup> (Kaur *et al.*, 2013). La tecnología de producción, especie, cultivar y madurez afectan esos valores (Lee y Kader, 2000).

El Instituto Nacional de Salud (National Institute of Health, 2016) recomienda ingesta diaria de 90 y 75 mg AA d<sup>-1</sup> para hombres y mujeres mayores de 19 años. De acuerdo con los resultados de este estudio, 100 g de fruto del híbrido Sun7705 y las recolectas L y R aportarían 11.41, 10.9 y 10.2 % de la ingesta diaria recomendada (IDR), las recolectas 16, 48, B y 83 aportarían 15.4, 12.2, 10.9 y 10.4 % IDR y el grupo III aportaría 13.7 % IDR.

La ruta metabólica del AA depende directamente de la concentración de glucosa-6P (Smirnoff *et al.*, 2001) y el contenido de AA parece correlacionarse con el contenido de azúcares (Massot *et al.*, 2010). En nuestra investigación la correlación del contenido de AA con el de SST no fue significativa.

## CONCLUSIONES

El contenido de ácido ascórbico, ácido cítrico, sólidos solubles totales y pH separó tres grupos entre los frutos de las 16 recolectas. Pero, con base en el sabor se identificaron cuatro grupos que incluyeron: muy dulce, incluyó tres recolectas y el híbrido Daniela, dulce, incluyó cinco recolectas y el híbrido Sun7705, neutro incluyó tres recolectas e insípido,

90 and 75 mg day<sup>-1</sup> for men and women over 19 years. According to the results in this study, 100 g of fruit from the Sun7705 hybrid and the L and R collects would provide 11.41, 10.9 and 10.2 % of the recommended daily intake (IDR), collects 16, 48, B and 83 would contribute 15.4, 12.2, 10.9 and 10.4 % IDR and group III would contribute 13.7 % IDR.

The AA metabolic pathway directly depends on the glucose-6P concentration (Smirnoff *et al.*, 2001) and the AA content seems to correlate with the sugar content (Massot *et al.*, 2010). In the present investigation, the correlation of AA content with the TSS was not significant.

## CONCLUSIONS

The ascorbic acid, citric acid, and total soluble solids content and pH clustered three groups among the fruits of the 16 collects. But, four groups were identified based on the flavor, they included: very sweet, which included three collects and the Daniela hybrid, sweet, which included five collects and the Sun7705 hybrid, neutral, which included three collects and tasteless, which included two collects. Thus, native populations showed potential for their fresh or processed production and as gourmet dish component.

Hybrid Sun7705 and native collect 16, 35, 48, B, L, 83 and R showed the highest AA content and collects 16 and 35 for nutraceutical purposes.

—End of the English version—

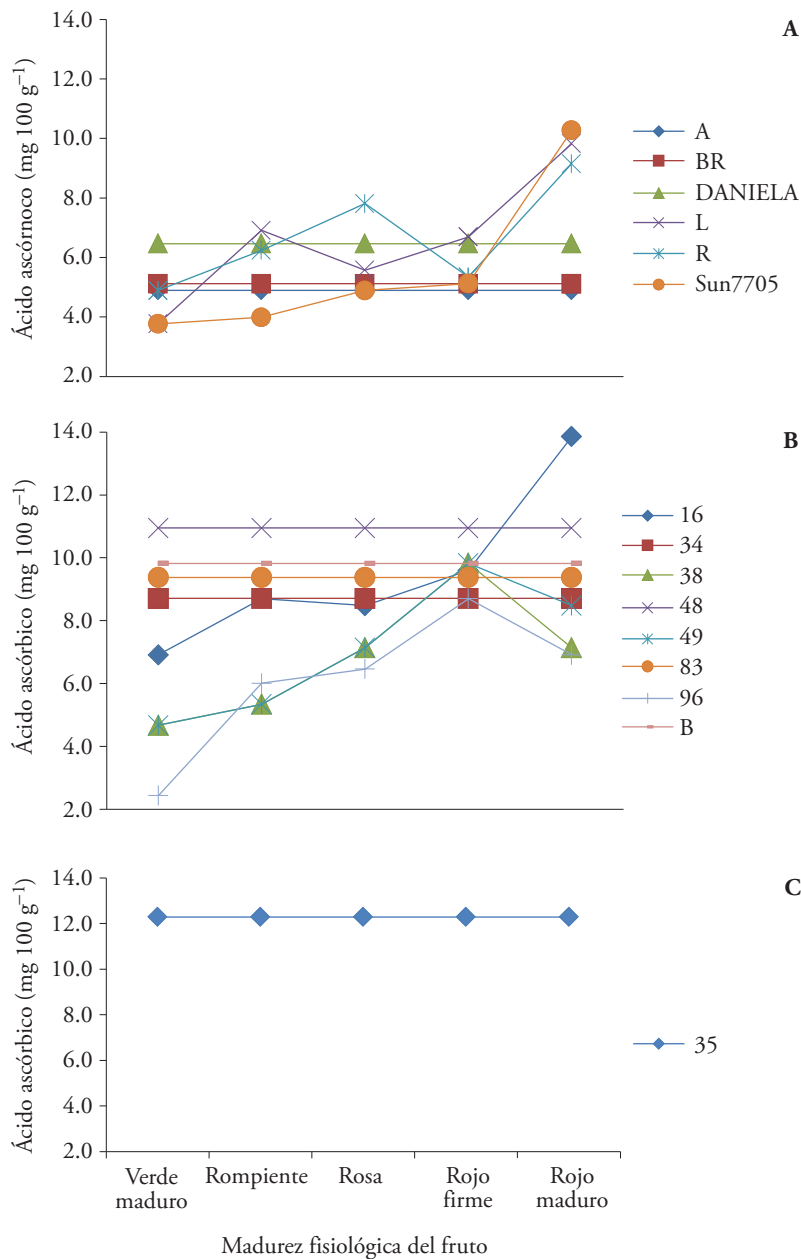


que incluyó dos recolectas. Así, las poblaciones nativas mostraron potencial para su producto fresco o procesado y componente de platillos gourmet.

El híbrido el Sun7705 y las recolectas nativas 16, 35, 48, B, L, 83 y R mostraron el contenido mayor de AA y las recolectas 16 y 35 para fines nutraceuticos.

## LITERATURA CITADA

- Adalid, A. M., S. Roselló, and F. Nuez. 2010. Evaluation and selection of tomato accessions (*Solanum* section *lycopersicum*) for content of lycopene,  $\beta$ -carotene and ascorbic acid. *J. Food Comp. Anal.* 23: 613-618.



**Figura 7.** Contenido de ácido ascórbico fruto de trece recolectas nativas y dos híbridos comerciales de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), durante la maduración, agrupados por tipo de frutos según atributos nutrimentales. A) Grupo A: híbridos Daniela y Sun7705 y recolectas A, BR, L y R, B) Grupo B: recolectas 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96 y B<sub>1</sub> y C) Grupo C: recolecta 35.

**Figure 7.** Ascorbic acid content in fruit from thirteen native collects and two commercial hybrids of tomato (*Solanum lycopersicum* L.), during ripening, grouped by fruit type according to nutritional attributes. A) Group A: Daniela and Sun7705 hybrids and collects A, BR, L and R, B) Group B: collects 16, 34, 38, 48, 49, 83, 96 and B<sub>1</sub> and C) Group C: collect 35.

- Álvarez-Hernández, J. C., H Cortez-Madrugal, y I. García-Ruiz. 2009. Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (*Solanaceae*) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica* 28: 139-159.
- A.O.A.C. 1990. Association of Official Analytical Chemists. Official Method of Analysis. Ed. Washington.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *J. Food Eng.* 61: 471-475.
- Bergougnoux, V. 2014. The history of tomato: from domestication to biopharming. *Biotechnol. Adv.* 32: 170-189.
- Blanca, J., J. Montero-Pau, C. Sauvage, G. Bauchet, E. Illa, M. José D., D. Francis, M. Causse, E. van der Knaap, and J. Cañizares. 2015. Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics* 16: 257.
- Bonilla-Barrientos, O., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, S. Cruz-Izquierdo, D. Reyes-López, E. Hernández-Leal, y A. Hernández-Bautista. 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.
- Breksa, A. P., L. D. Robertson, J. A. Labate, B. A. King, and D. E. King. 2015. Physicochemical and morphological analysis of ten tomato varieties identifies quality traits more readily manipulated through breeding and traditional selection methods. *J. Food Comp. Anal.* 42: 16-25.
- Carrera, P. M., X. Gao, and K. L. Tucker. 2007. A study of dietary patterns in the Mexican-American population and their association with obesity. *J. Ame. Dietetic Assoc.* 107: 1735-1742.
- Carrillo R., J. C., y J. L. Chávez S. 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 1-6.
- Carrillo-Rodríguez, J. C., J. L. Chávez-Servia, G. Rodríguez-Ortiz, R. Enríquez-del Valle, y Y. Villegas-Aparicio. 2013. Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Mex. de Cienc. Agric.* 6: 1081-1091.
- Chernoff, H. 1973. The use of faces to represent points in K-dimensional space graphically. *J. Am. Stat. Assoc.* 68: 361-368.
- Crisanto-Juaréz, A., A. M. Vera-Guzmán, J. L. Chávez-Servia, y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2010. Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *ceraciforme* Dunal) de Oaxaca México. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 7-13.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistic Division. USA. [http://faostat3.fao.org/browse/G1/\\*/\\*E](http://faostat3.fao.org/browse/G1/*/*E) (Consulta: junio 2015).
- Gaspar-Peralta, P., J. C. Carrillo-Rodríguez, J. L. Chávez-Servia, A. M. Vera-Guzmán, y I. Pérez-Léon. 2012. Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *PHYTON* 81: 15-22.
- Hogendoorn, K., F. Bartholomaeus, and M. A. Keller. 2010. Chemical and sensory comparison of tomatoes pollinated by bees and by a pollination wand. *J. Econ. Entomol.* 103: 1286-1292.
- Kaur, C., S. Walia, S. Nagal, S. Walia, J. Singh, B. B. Singh, S. Saha, B. Singh, P. Kalia, S. Jaggi, and Sarika. 2013. Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cultivars grown in Northern India. *LWT Food Sci. Tech.* 50: 139-145.
- Klee, H. J. 2010. Improving the the flavor of fresh fruits: genomics, biochemistry and technology. *New Phytol.* 187: 44-56.
- Lee, S. K., and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol. Technol.* 20: 207-220.
- Massot, C., M. Génard, R. Stevens, and H. Gautier. 2010. Fluctuations in sugar content are not determinant in explaining variations in vitamin C in tomato fruit. *Plant Physiol. Bioch.* 48: 751-757.
- Mathieu, S., V. Dal Cin, Z. Fei, H. Li, P. Bliss, M. G. Taylor, H. J. Klee, and D. M. Tieman. 2009. Flavour compounds in tomato fruits: identification of loci and potential pathways affecting volatile composition. *J. Exp. Bot.* 60: 325-337.
- National Institute of Health. 2016. Datos sobre vitamina C. Office of Dietary Supplements. Department of Health and Human Services. <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/VitaminC-DatosEnEspañol.pdf> (Consulta: julio, 2017).
- Pacheco-Triste, I. A., J. L. Chávez-Servia, y J. L. Carrillo-Rodríguez. 2014. Relación entre variación ecológica-orográfica y variabilidad morfológica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Oaxaca. *Rev. Mex. Agroecosist.* 1: 28-39.
- Rodríguez G., E., D. Vargas C., J. J. Sánchez G., R. Lepiz I., A. Rodríguez C., J. A. Ruiz C., P. Puente O., y R. Miranda M. 2009. Etnobotánica de *Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme* en el Occidente de México. *Nat. Desarro.* 7: 46-59.
- Roman, S., C. Ojeda-Granados, y A. Panduro. 2013. Genética y evolución de la alimentación de la población en México. *Rev. Endocrinol. Nutr.* 21: 42-51.
- San Juan-Lara, F., P. Ramírez-Vallejo, P. Sánchez-García, M. Livera-Muñoz, M. Sandoval-Villa, J. C. Carrillo-Rodríguez, y C. Perales-Segovia. 2014. Variación en características de interés agronómico dentro de una población nativa de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 37: 159-164.
- San Martín-Hernández, C., V. M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, M. T. B. Colinas-Leon, y L. Borges-Gómez. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243-254.
- Shah, K., M. Singh, and A. C. Rai. 2015. Bioactive compounds of tomato fruits from transgenic plants tolerant to drought. *LWT Food Sci. Technol.* 61: 609-6014.
- Smirnoff, N., P. L. Conklin, and F. A. Loewus. 2001. Biosynthesis of ascorbic acid in plants: a renaissance. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52: 437-467.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Sixth International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Proceedings. The Netherlands. pp: 633-649.
- Tsaniklidis, G., C. Delis, N. Nikoloudakis, P. Katinakis, and G. Aivalakis. 2014. Low temperature storage affects the ascorbic acid metabolism of cherry tomato fruits. *Plant Physiol. Biochem.* 84: 149-157.
- Vásquez-Ortiz, R., J. C. Carrillo-Rodríguez, y P. Ramírez-Vallejo. 2010. Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del centro y sureste de México. *Nat. Desarro.* 8: 49-64.

Vinha, A. F., S. V. P. Barreira, A. S. G. Costa, R. C. Alves, and M. B. P. P. Olvera. 2014. Organic versus conventional tomatoes: Influence on phytochemical parameters, bioactive compounds and sensorial attributes. *Food Chem. Toxicol.* 67: 139-144.

Zhang, Y., H. Li, W. Shu, C. Zhang, and Z. Ye. 2011. RNA interference of a mitochondrial APX gene improves vitamin C accumulation in tomato fruit. *Sci. Hort.* 129: 220-226.