

Calidad nutricional y capacidad antioxidante en variedades y genotipos nativos de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Nutritional quality and antioxidant capacity in native tomato varieties and genotypes (*Solanum lycopersicum* L.)

Qualidade nutricional e capacidade antioxidante em variedades nativas e genótipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Inés Eradia Figueroa-Cares¹, Oscar Cruz-Álvarez², María Teresa Martínez-Damián^{3*}, Juan Enrique Rodríguez-Pérez³, María Teresa Colinas-León³ y Salvador Valle-Guadarrama⁴

¹Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Av. Vicente Méndez 595, Chillán, Chile. Correo electrónico: ifigueroa@udec.cl. ²Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua. Av. Pascual Orozco, s/n, Santo Niño, Campus 1. 31350. Chihuahua, Chihuahua. Correo electrónico: ocruz@uach.mx. ³Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5. Carretera México-Texcoco. 56230. Chapingo, Estado de México. Correos electrónicos: teremd13@gmail.com, erodriguezx@yahoo.com.mx, lozcol@gmail.com. ⁴Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5. Carretera México-Texcoco. 56230. Chapingo, Estado de México. Correo electrónico: svalle77g@gmail.com.

Resumen

Solanum lycopersicum L. posee gran diversidad de genotipos nativos y muchos de estos producen frutos con características de interés en el mejoramiento genético. El objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de algunos componentes bioquímicos, así como la capacidad antioxidante en frutos de jitomates provenientes de variedades comerciales y genotipos nativos. El estudio se llevó a cabo en el Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar. Como variables se evaluaron: acidez titulable, sólidos solubles totales, índice de redondez, firmeza, biomasa fresca, vitamina C, licopeno, fenoles totales y capacidad antioxidante. Se

Recibido el 05-06-2017 • Aceptado el 24-10-2017

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: teremd13@gmail.com

encontró que las variedades comerciales presentaron un contenido de vitamina C que fluctuó entre 13,92 y 52,47 mg ác. asc·100 g⁻¹, un contenido de licopeno entre 1391,5 y 2695,7 µg·100 g⁻¹, 12,6 mg·100 g⁻¹ de fenoles totales y entre 48,9 y 134,8 µmol eq Trolox·100 g⁻¹ de capacidad antioxidante. Los genotipos nativos se destacaron por su alto contenido de licopeno, entre 4544 y 8247 µg·100 g⁻¹, superior a las variedades comerciales, al igual que los sólidos solubles totales y fenoles; sin embargo, el contenido de vitamina C fue menor. Los frutos provenientes de genotipos nativos presentaron la mayor concentración de sólidos solubles y licopeno por lo que podrían resultar de gran utilidad como un material de selección en mejoramiento genético.

Palabras clave: evaluación poscosecha, ácido ascórbico, licopeno, fenoles totales.

Abstract

Solanum lycopersicum L. possesses great diversity of native genotypes and many of these produce fruits with important characteristics in the genetic improvement. The objective of this research was to evaluate the content of some biochemical components as well as the antioxidant capacity in tomato fruits from commercial varieties and native genotypes. The study was carried out at the Department of Plant Science, Universidad Autonoma Chapingo. The experimental design used was completely randomized. The evaluated variables were: titratable acidity, total soluble solids, roundness index, firmness, fresh biomass, vitamin C, lycopene, total phenols and antioxidant capacity. It was found that commercial varieties had a vitamin C content that fluctuated between 13.92 and 52.47 mg ac.asc·100 g⁻¹, a lycopene content between 1391.5 and 2695.7 µg·100 g⁻¹, 12.6 mg·100 g⁻¹ total phenols and between 48.9 and 134.8 µmol eq Trolox·100 g⁻¹ antioxidant capacity. Native genotypes were noted for their high lycopene content, between 4544 and 8247 µg·100 g⁻¹ higher than commercial varieties, as well as total soluble solids and phenols; however, vitamin C content was lower. The fruits of native genotypes presented the highest concentration of soluble solids and lycopene, which could be very useful as a selection material in genetic improvement.

Key words: postharvest evaluation, ascorbic acid, lycopene, total phenols.

Resumo

Solanum lycopersicum L. possui grande diversidade de genótipos nativos e muitas delas produzem frutas com características de interesse na melhoria genética. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o conteúdo de alguns componentes bioquímicos, bem como a capacidade antioxidante em frutos de tomates de variedades comerciais e genótipos nativos. O estudo foi realizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Autónoma Chapingo. O desenho experimental utilizado foi completamente aleatório. Foram avaliadas as seguintes variáveis:

acidez titulável, sólidos solúveis totais, índice de arredondatura, firmeza, biomassa fresca, vitamina C, licopeno, fenóis totais e capacidade antioxidante. Verificou-se que as variedades comerciais tinham um teor de vitamina C que variou entre 13,92 e 52,47 mg de ac. asc $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$, um teor de licopeno entre 1391,5 e 2695,7 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, 12,6 mg $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de fenóis totais e entre 48,9 e 134,8 $\mu\text{mol eq Trolox} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de capacidade antioxidante. Os genótipos nativos se destacaram pelo alto teor de licopeno, entre 4544 e 8247 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, superior às variedades comerciais, bem como os sólidos e fenóis solúveis totais; no entanto, o conteúdo de vitamina C foi menor. Os frutos dos genótipos nativos tiveram a maior concentração de sólidos solúveis e licopeno, de modo que poderiam ser muito úteis como material de seleção na melhoria genética.

Palavras-chave: avaliação pós-colheita, ácido ascórbico, licopeno, fenóis totais.

Introducción

Las principales investigaciones señalan a México y Perú como posibles centros de origen y domesticación de *Solanum lycopersicum* L., debido a la presencia del mayor acervo genético (Ríos-Osorio *et al.*, 2014). Entre la gran diversidad de tipos de jitomate silvestre existentes en México, se tiene registro de que muchos de ellos producen frutos que se destacan por su alto contenido de sólidos solubles, licopeno y vitamina C (Juárez-López *et al.*, 2009; Sim *et al.*, 2011). Es por ello, que los diferentes programas de mejoramiento genético en jitomate siempre se buscan genes o grupos de genes que además de conferir resistencia al ataque de plagas y enfermedades, puedan coadyuvar a la expresión de caracteres relacionados con la calidad nutricional del fruto (Bhandari *et al.*, 2016), lo que hace necesaria la recurrencia a los acervos genéticos de los diferentes bancos de germoplasma para poder satisfacer dicha necesidad (Sim *et al.*, 2011). Las principales características que se

Introduction

The main investigations point Mexico and Peru as possible origin and domestication centers of *Solanum lycopersicum* L., due to the presence of the most important genetic background (Ríos-Osorio *et al.*, 2014). Among the high diversity of wild tomato in Mexico is registered that many of the types produce fruits known by their high content of soluble solids, lycopene and vitamin C (Juárez-López *et al.*, 2009; Sim *et al.*, 2011). That is the reason the different breeding genetic programs in tomato always look for genes or groups of genes that grant resistance to the attack of pests and diseases and contribute to the expression of traits related to the nutritional quality of the fruit (Bhandari *et al.*, 2016), making necessary the recurrence to genetic background of the different germplasm banks to satisfy that need (Sim *et al.*, 2011). The main characteristics of interest are acidity level, content of total soluble solids, ascorbic acid, tocopherols and

buscan son el nivel de acidez, contenido de sólidos solubles totales, ácido ascórbico, tocoferoles y polifenoles (Vinha *et al.*, 2014; Lahoz *et al.*, 2016). Esto aunado a que en la última década, se han suscitado una serie de cambios en las tendencias y hábitos de alimentación que han favorecido un incremento considerable en la producción y consumo de productos frescos con algún tipo de valor funcional, es decir, que presentan una o varias características referentes a su constitución y/o función en la prevención de algún padecimiento (Martín-Hernández *et al.*, 2012), donde el jitomate es considerado un elemento importante para este propósito (Kacjan *et al.*, 2011), debido a que es un fruto que se caracteriza por su alto contenido de compuestos bioactivos como los sólidos solubles (fructosa y glucosa), carotenoides, beta-carotenos, licopeno, vitamina C y polifenoles (Lahoz *et al.*, 2016), compuestos que han mostrado tener posibles efectos benéficos en la salud, desde el punto de vista antioxidante, anticancerígeno, antihipertensivo, antimutagenico e inhibidor de la angiogénesis (Vinha *et al.*, 2014). Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de algunos componentes bioquímicos, fisiológicos, así como la capacidad antioxidante en frutos de jitomate provenientes de variedades comerciales y nativas (regiones centro y sur de México).

Materiales y métodos

Ubicación y material vegetal

El experimento se realizó durante los meses de abril a septiembre de 2015,

polyphenols (Vinha *et al.*, 2014; Lahoz *et al.*, 2016). Additionally, in the last decade different changes have occurred in the tendencies and food habits that have favored a considerable increase in the production and consumption of fresh products with functional value, that is, with one or different characteristics related to its constitution and/or function in the prevention of any disease (Martín-Hernández *et al.*, 2012), where tomato is considered a key element for this purpose (Kacjan *et al.*, 2011), since it is a fruit characterized by its high content of bioactive compounds such as soluble solid (fructose and glucose), carotenoids, beta-carotenes, lycopene, vitamin C and polyphenols (Lahoz *et al.*, 2016), compounds that have shown to have possible beneficial effects in the health from different perspectives such as antioxidant, anti-cancer, antihypertensive, antimutagenic and inhibitor of angiogenesis (Vinha *et al.*, 2014). Therefore, the aim of this research was to evaluate the content of some biochemical and physiological components, as well as the antioxidant capacity in tomato fruits coming from commercial and native varieties (center and south regions of Mexico).

Materials and methods

Location and plant material

The experiment was carried out from April to September 2015, under greenhouse conditions, at the experimental field "San Martín", geographically located at 19°29' N and 98°53' W and an altitude of 2,240 masl; the greenhouse belongs

bajo condiciones de invernadero en el Campo Experimental “San Martín” ubicado geográficamente a 19°29' N y 98°53' O y una altitud de 2.240 msnm, el cual pertenece al Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, estado de México, México. Se utilizaron frutos provenientes de 16 genotipos: ocho variedades comerciales de jitomate con hábito de crecimiento indeterminado: Staccato, Tourist e Imperial (tipo bola); Tointer, Tormenta, Tónico, Bejo y BSS486 (tipo saladette) y 14 recolectas nativas (seis pertenecientes al Banco

to the Phytotechniques Department, Universidad Autónoma Chapingo, Mexico State, Mexico. Fruits coming from 16 genotypes were used: eight commercial varieties of tomato with determined growing habits: Staccato, Tourist and Imperial (rounded); Tointer, Tormenta, Tónico, Bejo and BSS486 (saladette) and 14 native collections (six belonging to the Germplasm Bank of Universidad Autónoma Chapingo and nine from the genetic breeding programs of the same institution (table 1).

Cuadro 1. Descripción de las características y origen de los genotipos nativos de jitomate.

Table 1. Description of characteristics and origin of native genotypes of tomato.

Recolecta	Nombre	Tipo de fruto	Procedencia/Programa
1	Arriñonado	Riñón	Ixcatlán, Hgo. 01-03-06
2	Arriñonado 1	Riñón	Huautla Hgo. 11-03-06
3	Arriñonado 3	Riñón	Necaxa, Pue. 05-11-05
4	Cereza 1	Cereza	Banco Germoplasma UACH
5	Cereza 2	Cereza	Banco Germoplasma UACH
6	Cherri Hu	Cereza	Huautla Hgo. 11-03-06
7	Cherri Co	Cereza	Comitán Chiapas 01-05-06
8	Cherri Md	Cereza	Martínez de la Torre 01-05-06
9	Cherri Te	Cereza	Tehuatlán 01-2009
10	Cuautomate	Riñón	Xilotepec de Juárez, Pue. 31-10-05
11	Simarrona 1	Cereza	Banco Germoplasma UACH
12	Simarrona 2	Cereza	Banco Germoplasma UACH
13	Totonaca 1	Cereza	Banco Germoplasma UACH
14	Totonaca 2	Cereza	Banco Germoplasma UACH

Abreviaturas: Hgo.= Hidalgo, Pue.= Puebla, UACH= Universidad Autónoma Chapingo.

de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo y nueve al Programa de Mejoramiento Genético de la misma institución (cuadro 1).

Manejo del cultivo

La siembra se realizó en recipientes de poliestireno expandido de 200 cavidades usando turba Growing Mix® como sustrato; posteriormente, a los 30 días se llevó a cabo el trasplante en bolsas de polietileno de color negro previamente rellenas con 13 kg de tezontle rojo tipo sello. El suministro de los elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo se realizó de acuerdo con los parámetros que establece la solución de Steiner (Steiner, 1984) más el multiquelato Tradecorp A-Z® aportando 3 ppm de Fe²⁺ mediante la aplicación diaria de riego con un volumen de 0,3-2,5 L planta⁻¹ esto, en función de la etapa fenológica. Las plantas se condujeron a un solo tallo con una densidad de 3,7 plantas m⁻², donde se procedió a su despunte por arriba de la tercera hoja posterior al quinto racimo. Los frutos que se utilizaron para los análisis correspondientes, fueron aquellos ubicados entre el primero y quinto racimo en el estado de madurez 4 “rosa” (coloración rosa mayor al 30% de la superficie del fruto pero no mayor al 60%) (variedades comerciales) y con coloración “rojo-rosado o rojo” no mayor al 90% de la superficie (madurez 5) para los genotipos nativos (UFFVA, 1975).

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con seis repeticiones, la unidad experimental consistió de un fruto y las variables

Handle of the crop

The sowing was done using expanded polysterene containers of 200 chambers using Growing Mix® peat as substrate; after 30 days the sowing was transplanted to black polyethelene bags previously filled with 13 kg of red tezontle. The supply of the essential elements for the growing and development was done according to the parameters established by Steiner solution (Steiner, 1984) and the multichelate Tradecorp A-Z®, providing 3 ppm of Fe²⁺ with the daily irrigation application with a volume 0.3-2.5 L plant⁻¹ in function of the phenologic phase. Plants were transplanted with a single stem at a density of 3.7 plants m⁻², and were cut over the third leaf posterior to the fifth cluster. The fruits used for the corresponding analyses were the ones located from the first and fifth brunch in the ripening phase 4 “pink” (pink coloring higher to 30% of the fruit surface but not higher to 60%) (commercial varieties) and coloring “red-pink or red” not higher to 90% of the surface (ripening 5) for the native genotypes (UFFVA, 1975).

Experimental design

A experimental design completely random with six replications was used, the experimental unit consisted on one fruit and the evaluated variables were titratable acidity, total soluble solids, roundness index, firmness, fresh biomass, vitamic C, lycopene, total phenols and antioxidant capacity.

Evaluated variables

Titratable acidity (TA) was determined according to the methodology proposed by AOAC

evaluadas fueron acidez titulable, sólidos solubles totales, índice de redondez, firmeza, biomasa fresca, vitamina C, licopeno, fenoles totales y capacidad antioxidante.

VARIABLES EVALUADAS Acidez titulable (AT)

La acidez titulable se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC (Anónimo, 1990) con 10 g de pulpa que fue neutralizada con NaOH (J.T. Baker, E.U.A.) 0,1 N. Se utilizó fenolftaleína al 1% como indicador. El cálculo de ésta variable se realizó mediante la ecuación:

$$\% \text{Ácido} = \frac{\text{mL NaOH} \times \text{N} \times \text{Meq Ac} \times \text{V}}{\text{peso de la muestra alicuota}} \times 100;$$

donde:

N= normalidad NaOH.

V= volumen total (mL de extracto después de homogeneizar).

Meq Ac= miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción.

$$\text{Meq Ac} = \frac{\text{PM ácido orgánico}}{\text{valencia} \times 1000}$$

Los resultados se reportaron en porcentaje de ácido cítrico.

Sólidos solubles totales (SST)

La concentración de sólidos solubles fue cuantificada con un refractómetro digital portátil PAL-1® (ATAGO, E.U.A.), el cual utiliza una escala de 0-53°. Los resultados se expresaron en °Brix.

Índice de redondez

Para su determinación se utilizó un vernier digital marca GENERAL®, para lo cual se midió el diámetro polar (dp) y diámetro ecuatorial (de) de cada fruto, y posteriormente se calculó la relación mediante la siguiente expresión:

(Anónimo, 1990) with 10 g of pulp that was neutralized with NaOH (J.T. Baker, EEUU) 0.1 N. Phenolphthalein was used at 1% as an indicator. The calculus of this variable was done using the following equation:

$$\% \text{acid} = \frac{\text{mL NaOH} \times \text{N} \times \text{Meq Ac} \times \text{V}}{\text{weight of the aliquot sample}} \times 100;$$

Where:

N= normality NaOH.

V= total volume (mL extract after homogenize).

Meq Ac= milliequivalent of acid found in higher proportion.

$$\text{Meq Ac} = \frac{\text{PM organic acid}}{\text{valencia} \times 1000}$$

The results were reported in percentage of citric acid.

Total soluble solids (TSS)

The concentration of soluble solids was quantified with a portable digital refractometer PAL-1® (ATAGO, EEUU), which uses a scale of 0-53°. The results were expressed in °Brix.

Roundness index

A GENERAL® vernier was used for its determination, for which was measured the polar diameter (pd) and equatorial diameter (ed) of each fruit, and later the relation was measured using the following expression:

$$RI = \frac{pd}{ed}$$

Fresh biomass

This variable was determined using an Ohaus® electric balance model Scout Pro SP2001 with approximation of 0.1 g.

$$IR = \frac{dp}{de}$$

Biomasa fresca

Esta variable se determinó mediante balanza electrónica marca Ohaus® modelo Scout Pro SP2001 con aproximación de 0,1 g.

Firmeza

Se midió en la zona ecuatorial de los frutos, en las que se utilizó un texturómetro digital compact Gauge (Mecmesin®, EE.UU.) con puntal en forma de cono con diámetro y altura de 9 mm, registrándose la lectura en Newtons (N) que es la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

Vitamina C (ácido ascórbico)

Se estimó de acuerdo con el método de Tillman (Anónimo, 1990), conocido como DFI 2, 6 diclorofenol-indofenol. Se homogeneizaron 5 g de tejido en 50 mL de solución de ácido oxálico (0,5%); se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución de Tillman (0,01%) hasta que permaneció una coloración rosa visible durante 1 min. La concentración se expresó en mg ác. asc · 100 g⁻¹ utilizando como estándar una curva de ácido ascórbico.

Lycopene

La determinación del contenido de licopeno se realizó con base en la metodología propuesta por Perkins-Veazie *et al.* (2001) y Fish *et al.* (2002) con algunas modificaciones. Para ello se trituraron 0,5 g de pulpa (mesocarpo) los cuales se mezclaron con 50 mL de una solución hexano:acetona:etanol (2:1:1) agitando durante 10 minutos. Posteriormente, se agregaron 7,5 mL de agua destilada y se agitó por 5 minutos, hasta la separación de la

Firmness

It was measured in the equatorial area of the fruits using a digital compact Gauge texturometer (Mecmesin®, EEUU) with a cone-type prop with 9 mm of diameter and height, registering a reading in Newstons (N) which is the strength applied until the penetration of the prop.

Vitamin C (ascorbic acid)

It was estimated according to Tillman method (Anónimo, 1990), known as DFI 2, 6 dichlorophenol-indophenol. Five grams of the tissue homogenized in 50 mL of solution with oxalic acid (0.5%); an aliquot of 5 mL was used and added with Tillman solution (0.01%) until obtaining a visible pink coloring for 1 min. The concentration was expressed in mg of asc.ac. · 100 g⁻¹ using a curve of ascorbic acid as standard.

Lycopene

The determination of the lycopene content was done based on the methodology proposed by Perkins-Veazie *et al.* (2001) and Fish *et al.* (2002) with some modifications. For that, 0.5 g of pulp (mesocarp) were crushed and mixed with 50 mL of a solution hexane:acetone:ethanol (2:1:1) agitating it for 10 minutes. Later, 7.5 mL of distilled water were added and agitated for 5 minutes, until the division of the hexane later, from which was taken an aliquot of 3 mL and measured the absorbance reading at 503 nm with a digital spectrophotometer UV-VIS ® Perkin Elmer (EEUU). The lycopene solution was calculated using the formula indicated by Fish *et al.* (2002):

capa de hexano de la cual se tomó una alícuota de 3 mL a la cual se tomó lectura de absorbancia a 503 nm mediante un espectrofotómetro digital UV-VIS® Perkin Elmer (E.U.A.). La concentración de licopeno se calculó mediante la fórmula indicada por Fish *et al.* (2002):

$$\text{Licopeno} = \frac{A_{503\text{nm}} \times 3,1}{\text{g tejido}}$$

Los resultados se expresaron en $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

Fenoles totales (FT)

El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Litwack (1967), el cual consistió en tomar 2 mL de jugo de jitomate a los cuales se adicionaron 0,4 mL de solución extractora compuesta por metanol, cloroformo y agua (2:1:1) y se centrifugó 15 min a 2200 rpm. Se extrajo el sobrenadante, se adicionó 10 mL de Na_2CO_3 (10% m/v), se incubó durante 15 min a 38 °C, se tomó 1 mL de la solución, se agregó 1 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se dejó reposar 15 min en oscuridad y se obtuvo la absorbancia a 660 nm. Los datos se expresaron en $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, tomando como referencia una curva estándar de ácido gálico.

Capacidad antioxidante (CA)

La capacidad antioxidante se determinó mediante el método N,N-dimetil-p-fenil-N-diamina dihidrocloro (DMPD) (Sigma-Aldrich, E.U.A.) (Fogliano *et al.*, 1999) con algunas modificaciones: se preparó una solución de DMPD con agua destilada, de la cual se tomó 1 mL y se agregó a 100 mL de una solución

$$\text{Licopeno} = \frac{A_{503\text{nm}} \times 3,1}{\text{tissue}}$$

The results were expressed in $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

Total phenols (TP)

The content of total phenols was determined by Litwack (1987) method, which consisted on taking 2 mL of tomato juice adding 0.4 mL of extracting solution composed by methanol, chlorophorm and water (2:1:1) and centrifuged for 15 min at 2200 rpm. The supernatant was extracted, 10 mL of Na_2CO_3 (10% m/v) were added and incubated for 15 min at 38 °C, 1 mL of the solution was taken, 1 mL of Folin-Ciocalteu reactive was added and set aside for 15 min in the dark, until obtaining absorbance at 660 nm. The data was expressed in $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, considering as reference a standard curve of gallic acid.

Antioxidant capacity (AC): the antioxidant capacity was determined using the method N,N-dimethyl-p-phenyl-N-diamine dihydrochloride (DMPD) (Sigma-Aldrich, EE.UU) (Fogliano *et al.*, 1999) with some modifications; a DMPD solution was prepared with distilled water, from which was taken 1 mL and added to 100 mL of buffer acetate solution 0.1 M, 0.05 M of ferric chloride was added to the solution obtained, having a final concentration of 0.1 mM. Absorbance readings were done at 505 nm, which corresponded to the non-inhibited (Ao). The results were expressed as percentage of the non-inhibited radical cation solution through the equation:

amortiguadora de acetato 0,1 M. A la solución obtenida se agregó cloruro férrico 0,05 M, logrando una concentración final de 0,1 mM. Se procedió a realizar las lecturas de absorbancia a 505 nm, lo que correspondió a la señal no inhibida (A_o). Los resultados se expresaron como porcentaje de la solución del catión radical no inhibido mediante la ecuación:

$$A_{505}(\%) = \frac{(1-A_f)}{A_o} \times 100$$

donde A_o = absorbancia del catión radical no inhibido; A_f = absorbancia medida 10 min después de haber agregado la solución estándar de TROLOX o la muestra del extracto de jugo.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0,05$), en la que se empleó el paquete de análisis estadístico SAS versión 9.0 (SAS, 2002).

Resultados y discusión

Variedades comerciales

Todas las variedades presentaron contenido de acidez, entre 0,53 y 0,71% de ácido cítrico (cuadro 2) no existiendo diferencias entre estas, con valores similares a los reportados por Martín-Hernández *et al.* (2012) con valores de 0,60 y 0,65 en el híbrido Caimán cultivado con diferentes diámetros de tezontle.

El sabor fue el resultado de una compleja interacción entre el contenido

$$A_{505}(\%) = \frac{(1-A_f)}{A_o} \times 100$$

Where A_o = absorbance of the non-inhibited radical cation; A_f = absorbance measured 10 min after having added the standard solution of TROLOX or the sample of juice extract.

Statistical analysis

The data obtained was analyzed using variance analysis (ANOVA) and Tukey mean comparison tests ($\alpha=0.05$), employing the statistical software SAS version 9.0 (SAS, 2002).

Results and discussion

Commercial varieties

All variables presented acidity content from 0.53 to 0.71% of citric acid (table 2) without differences in between, and with similar values to the ones reported by Martín-Hernández *et al.* (2012) with values from 0.60 to 0.65 in the hybrid Caiman, cropped with different diameters of tezontle.

The taste was the result of a complex interaction between the sugar content and organic acids (Beckles, 2012), for which it was extremely important measuring not only the acidity of the fruit but also the content of total soluble solids (Martín-Hernández *et al.*, 2012). This variable did not present differences between the variables studied, which had from 4.8 to 5.8 °Brix (table 2), similar to the values reported in tomato by different authors, who reported in commercial cropped varieties in conventional, organic and hydroponic systems a content of total soluble solids from 4.3

Cuadro 2. Acidez titulable, sólidos solubles totales, índice de redondez y firmeza en ocho variedades comerciales de jitomate.**Table 2. Titratable acidity, total soluble solids, roundness index and firmness in eight commercial varieties of tomato.**

Variedad	AT ^y (% ácido cítrico)	SST (°Brix)	IR (dp-de ⁻¹)	F (N)	BF (g)
Stacatto	0,60 a*	5,30 a	0,82 d	7,8 b	123,8 b
Tointer	0,59 a	5,78 a	1,29 b	11,6 ab	105,2 b
Tormenta	0,69 a	5,09 a	1,55 a	12,6 ab	98,5 b
Tourist	0,53 a	5,57 a	0,80 d	10,2 ab	121,1 b
BSS486	0,68 a	5,38 a	1,09 c	13,3 ab	107,1 b
Bejo	0,71 a	4,74 a	1,33 b	11,0 ab	89,7 b
Tonico	0,68 a	4,96 a	1,53 a	10,8 ab	98,8 b
Imperial	0,53 a	5,04 a	0,74 d	13,9 a	247,6 a
DMSH [†]	0,27	1,15	0,10	5,8	75,2

Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. ^yAT: acidez titulable; SST: sólidos solubles totales IR: índice de redondez; F: firmeza; BF: biomasa fresca.

de azúcares y ácidos orgánicos (Beckles, 2012), por lo cual fue de gran importancia medir no solamente la acidez del fruto, sino también el contenido de sólidos solubles totales (Martín-Hernández *et al.*, 2012). Esta variable no presentó diferencias entre las variedades estudiadas, las cuales presentaron entre 4,8 y 5,8 °Brix (cuadro 2), valores similares a los reportados en jitomate por diferentes autores, quienes encontraron en variedades comerciales cultivadas en sistema convencional, orgánico e hidropónico, un contenido de sólidos solubles totales entre 4,3 y 5,9 °Brix (Javanmardi y Kubota, 2006; Barrett *et al.*, 2007).

to 5.9 °Brix (Javanmardi and Kubota, 2006; Barrett *et al.*, 2007).

The roundness index as well as the fruit biomass were necessary parameters to create the typical pattern of each variety (Montoya *et al.*, 2014), and in table 2 shows that varieties Imperial, Stacatto and Tourist presented the lowest roundness index. It corresponded to the shape of the fruit, which had a round shape, and characterized by having a higher equatorial diameter than polar, different to the rest of the varieties that presented saladette-type shape.

The degradation of the cellular wall constituted the main post-harvest loss

El índice de redondez al igual que la biomasa del fruto, fueron parámetros necesarios para formar el patrón característico de cada variedad (Montoya *et al.*, 2014), y en el cuadro 2 se puede apreciar que las variedades Imperial, Stacatto y Tourist, presentaron los menores índices de redondez. Esto correspondió con la forma del fruto que fue del tipo bola, y se caracterizó por tener un mayor diámetro ecuatorial que polar, a diferencia del resto de las variedades que tuvieron frutos tipo saladette.

La degradación de la pared celular constituyó el principal factor de pérdida poscosecha en frutas y hortalizas, lo cual involucró la actividad de diversas enzimas y donde el calcio jugó un papel importante (Kacjan *et al.*, 2011). En este estudio, la variedad imperial destacó por su firmeza, la cual difirió ($P \leq 0,05$) de Stacatto con similar grado de madurez. Esta característica resultó ser una ventaja importante de calidad debido a que presentó menor susceptibilidad a sufrir daño mecánico durante su transporte y comercialización (Batu, 2004). También presentó la mayor biomasa fresca entre las variedades comerciales (247,6 g), esto aunado a su uniformidad en el tamaño, forma, firmeza y color hicieron que satisficiera adecuadamente las exigencias del mercado (Lahoz *et al.*, 2016).

La mayor concentración de vitamina C fue de 52,4 mg ác. asc. $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (cuadro 3), donde la variedad Imperial (tipo bola) supero estadísticamente a las variedades Bejo, Tormenta y Tónico (tipo saladette). El contenido de vitamina C encontrado para la variedad Imperial

factor in fruits and vegetables, which required the activity of different enzymes and where calcium had an important role (Kacjan *et al.*, 2011). In this research, the imperial variety was known by its firmness, which differed ($P \leq 0.05$) from Stacatto with similar ripening. This characteristic was an important advantage of quality since it had less disposal of suffering mechanical damage during the transportation and commercialization (Batu, 2004). It also presented the highest fresh biomass among the commercial varieties (247.6 g), and along to its uniformity in the size, shape, firmness and color it satisfied the market exigencies (Lahoz *et al.*, 2016).

The highest concentration of vitamin C was 52.4 mg asc.ac $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (table 3), where the Imperial variety (round) exceeded statistically the varieties Bejo, Tormenta and Tónico (saladette). The content of vitamin C found in the Imperial variety was higher to the one observed by Kapur *et al.* (2012) and Vinha *et al.* (2014) who reported values from 10 to 33 mg asc. ac. $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$. The results of this research related to the content of vitamin C was similar with fruits considered excellent sources of this vitamin, such as orange, strawberry and kiwi, that presented values from 37 to 50 mg asc. ac. $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Barberis *et al.*, 2012).

Significant differences were not observed in lycopene among varieties, finding concentrations that varied from 1391.5 to 2695.7 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (table 3). Javanmardi and Kubota (2006) reported a higher content from 3000 to 4000 μg of lycopene $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ for

Cuadro 3. Contenido de vitamina C, licopeno, fenoles totales y capacidad antioxidante en ocho variedades comerciales de jitomate.**Table 3. Vitamin C content, lycopene, total phenols and antioxidant capacity in eight commercial varieties of tomato.**

Variedad	VC ^y (mg ác. asc.·100 g ⁻¹)	Li (µg·100 g ⁻¹)	FT (mg ác. gálico·100 g ⁻¹)	CA (µmol eq Trolox·100 g ⁻¹)
Stacatto	29,5 ab*	2338,4 a	9,94 ab	86,6 ab
Tointer	21,7 ab	1998,4 a	11,05 ab	83,5 ab
Tormenta	20,6 b	2424,2 a	13,78 ab	48,9 b
Tourist	40,8 ab	2695,7 a	15,32 a	94,1 ab
BSS486	23,0 ab	2318,2 a	12,27 ab	88,9 ab
Bejo	13,9 b	2257,3 a	13,77 ab	111,8 a
Tonico	19,7 b	787,8 a	16,23 a	134,8 a
Imperial	52,4 a	1391,5 a	8,14 b	110,8 a
DMSH [†]	31,0	2191,0	6,71	54,0

*Medias con la misma letra dentro de columnas fueron iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. VC^y: vitamina C; Li: licopeno; FT: fenoles totales; CA: capacidad antioxidante.

fue mayor a lo observado por Kapur *et al.* (2012) y Vinha *et al.* (2014) quienes reportaron valores entre 10 y 33 mg ác. asc.·100 g⁻¹. Lo observado en este trabajo en relación al contenido de vitamina C fue similar con frutos que se consideran excelentes fuentes de esta vitamina, tales como la naranja, frambuesa y kiwi, que presentaron valores entre 37 y 50 mg ác. asc.·100 g⁻¹ (Barberis *et al.*, 2012).

Para licopeno no se lograron detectar diferencias significativas entre variedades encontrando concentraciones que variaron entre 1391,5 y 2695,7 µg·100 g⁻¹ (cuadro 3).

tomato cv. Clermon produced under hydroponic conditions.

All the evaluated variables presented a lower TP concentration in relation to other commercial varieties, whose values reached a concentration of 2365.3 mg of gallic acid·100 g⁻¹ (table 3) (Bhandari *et al.*, 2016). As observed in table 3, varieties Imperial, Bejo and Tonico even when presented the highest values of antioxidant capacity, showed the lowest content of TP (8.14 mg gallic acid·100 g⁻¹); however, according to Corral-Aguayo *et al.* (2008), the antioxidant activity

Por su parte Javanmardi y Kubota (2006) reportaron un contenido mayor a los 3000 a 4000 μg de licopeno $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ para jitomate cv. Clermon producidos bajo condiciones de hidroponía.

Todas las variedades evaluadas presentaron una concentración de FT menor en relación con otras variedades comerciales, cuyos valores alcanzaron una concentración de 2365,3 mg de ácido gálico $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (cuadro 3) (Bhandari *et al.*, 2016). Como se puede apreciar en el cuadro 3, la variedad Imperial, Bejo y Tónico, aun cuando presentó los mayores valores de capacidad antioxidante, presentaron el menor contenido de FT (8,14 mg ácido gálico $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$); sin embargo, de acuerdo con lo señalado por Corral-Aguayo *et al.* (2008), la actividad antioxidante en el fruto de jitomate se encuentra fuertemente asociada con la concentración de fenoles; sin embargo, la presencia de ácido ascórbico también se considera con efecto relevante, donde esta última variable fue significativa para la variedad Imperial.

Genotipos nativos

Los valores hallados en AT fueron desde 0,53 a 1,09 para Cherri Co y Cherri Hu, respectivamente; sin embargo, este último fue similar a Arriñoñado1 (cuadro 4). En general, estos resultados fueron superiores a 0,2% señalado como referencia por Bhandari *et al.* (2016) para su consumo en fresco, de la misma forma a lo indicado por Pulvento *et al.* (2008) en dos cultivares de jitomates tipo cereza con valores de 0,50 y 0,71% de ácido cítrico. Por otro lado, Juárez-López

en tomato is strongly associated to the concentration of phenols; however, the presence of ascorbic acid is also considered a relevant effect, where it was significant for the Imperial variety.

Native genotypes

Values found in TA were from 0.53 to 1.09 for Cherri Co and Cherry Hu, respectively; however, the last value was similar to Arriñoñado 1 (table 4). Generally, these results were superior to 0.2% mentioned as reference by Bhandari *et al.* (2016) for its fresh consumption, as indicated by Pulvento *et al.* (2008) in two cultivars of cherry tomato with values from 0.50 to 0.71 of citric acid. On the other hand, Juárez-López *et al.* (2009) reported acidity values from 0.50 to 1.01 in native genotypes of tomato in Mexico. These results related to the acidity might affect the taste of cherry tomato, reason from which may be considered as a disadvantage since it is mainly consumed as fresh food and/or decoration for some preparations.

Regarding the TSS, genotypes Arriñoñado, Cereza 2 and Simarrona 2 presented ($P \leq 0.05$) values from 9.13; 5.58 and 5.83 °Brix, respectively (table 4). These results contrasted to the ones presented by Casierra-Posada and Aguilar-Avenidaño (2008) for commercial varieties with values from 3.50 to 5.96 °Brix. On the other hand, Bonilla-Barrientos *et al.* (2014) indicated for wild material of varieties arriñoñado and pimienta values of 4.4 °Brix. This contrast might be related to the size of the fruit as stated by Beckles (2012) who indicated a variation from 9 to 15% of small

Cuadro 4. Acidez titulable, sólidos solubles totales, índice de redondez y firmeza evaluados en 14 genotipos nativos de jitomate.**Table 4. Titratable acidity, total soluble solids, roundness index and firmness evaluated in 14 native tomato genotypes.**

Variedad	AT ¹ (% ác. cítrico)	SST (°Brix)	IR (dp-de ⁻¹)	F (N)	BF (g)
Arriñonado	0,80 ab*	9,13 a	0,84 a	1,53ab	9,83 bc
Arriñonado 1	1,05 a	7,24 ab	0,55 c	1,49ab	16,58 bc
Arriñonado 3	0,76 ab	6,09 ab	0,56 c	2,14 a	51,23 a
Cereza 1	1,09 a	6,74 ab	0,83 a	1,27 ab	9,76 bc
Cereza 2	0,76 ab	5,58 b	0,89 a	1,33 ab	9,33 c
Cherri Co	0,53 b	7,06 ab	0,88 a	0,78 b	4,32 c
Cherri Hu	1,09 a	6,42 ab	0,75 ab	1,76 ab	12,92 bc
Cherri Md	0,94 ab	7,49 ab	0,90 a	0,71 b	4,01 c
Cherri Te	0,96 ab	7,88 ab	0,87 a	1,02 ab	4,46 c
Cuautomate	0,72 ab	6,70 ab	0,62 bc	1,91 ab	19,08 bc
Simarrona 1	0,71 ab	6,51 ab	0,89 a	1,18 ab	10,57 bc
Simarrona 2	0,78 ab	5,83 b	0,87 a	1,91 ab	10,17 bc
Totonaca 1	0,90 ab	7,81 ab	0,55 c	1,91 ab	26,10 b
Totonaca 2	0,89 ab	8,46 ab	0,56 bc	1,20 ab	19,62 bc
DMSH	0,44	3,07	0,20	1,27	16,57

*Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. ¹AT: acidez titulable; SST: sólidos solubles totales; IR: índice de redondez; F: firmeza; BF: biomasa fresca.

et al. (2009) reportaron valores de acidez entre 0,50 y 1,01 en genotipos nativos de jitomate de México. Estos resultados relacionados con la acidez podrían afectar el sabor de los frutos de jitomate del tipo cereza por lo que se consideró como desventaja debido a que su consumo se realizó principalmente en fresco y como decoración en algunas preparaciones.

tomato, 5 to 7% of medium tomato and from 3-5 of big tomato.

None important variation was found in the characteristics of the fruit (roundness index) and firmness (table 4). All fruits presented a flat shape with roundness index lower to one, and firmness values that exceeded the reported by Juárez-López *et al.* (2009) for the commercial hybrid cherry

En cuanto a los SST, los genotipos Arriñonado, Cereza 2 y Simarrona 2 presentaron ($P \leq 0,05$) valores de 9,13; 5,58 y 5,83 °Brix, respectivamente (cuadro 4). Resultados que contrastaron con lo indicado por Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño (2008) para variedades comerciales con valores entre 3,50 y 5,96 °Brix. Por su parte, Bonilla-Barrientos *et al.* (2014) indicaron para material silvestre de jitomates arriñonados y tipo pimiento valores de 4,4 °Brix. Este contraste podría estar asociado con el tamaño del fruto, como lo señaló Beckles (2012) quien indicó una variación de 9 a 15% de tomate pequeño, 5 a 7% de fruto mediano y de 3 a 5% de fruto grande.

No se encontró variación importante en las características del fruto (índice de redondez) y firmeza (cuadro 4). Todos los frutos presentaron forma achatada, con índice de redondez menor a uno, y valores de firmeza que superaron a los reportados por Juárez-López *et al.* (2009) para el híbrido comercial de jitomate tipo cherry (H-790) con un valor máximo de 7,7 N·mm⁻¹; así mismo, materiales evaluados en esta investigación presentaron un contenido de pulpa mayor a 50%.

En este trabajo todos los genotipos fueron tipo cereza, los cuales se caracterizaron por su tamaño pequeño con una biomasa que varió entre 10 y 30 g (Kacjan *et al.*, 2011); no obstante, los genotipos Cherry Md, Cherri Co y Cherri Te, cuyo fruto fue de tipo cereza, solo tuvieron una biomasa fresca de 4,01, 4,32 y 4,46 g, respectivamente (cuadro 4).

tomato (H-790) with a maximum value of 7.7 N·mm⁻¹; likewise, the materials evaluated in this research had a pulp content higher to 50%.

In this research all genotypes were cherry-type, characterized by having a small size with biomass that varied from 10 to 30 g (Kacjan *et al.*, 2011); nevertheless, genotypes Cherry Md, Cherri Co and Cherri Te, whose fruit was cherry tomato, only had a fresh biomass of 4.01, 4.32 and 4.46 g, respectively (table 4).

With relation to the content of ascorbic acid (table 5) it was found that the fruits coming from arriñonado genotype presented the highest value (26.62 mg of asc. ac. ·100 g⁻¹), and only superior to the genotype Cereza 2, whose concentration was 12.79 mg of asc.ac. ·100 g⁻¹. These differences might be related to the commercial varieties with the crop system, as stated by Hernández *et al.* (2008), who indicated values from 13 to 17 asc. ac. ·100 g⁻¹ for tomato cropped under hydroponic, organic and intensive systems.

None significant statistical differences were detected related to the content of lycopene (table 5), where genotypes presented values that fluctuated from 4409 to 8247 µg·100 g⁻¹. This behavior was similar to the reported by Juárez-López *et al.* (2009) who found in native genotypes a lycopene concentration from 3340 to 5190 µg ·100 g⁻¹. Nevertheless, more than 50% of the studied genotypes presented contents higher to 5190 µg·100 g⁻¹, maximum value to the one found in other studies in commercial and wild tomato (Bhandari *et al.*, 2016).

Con relación al contenido de ácido ascórbico (cuadro 5) se encontró que los frutos provenientes del genotipo arriñonado presentaron el valor más alto (26,62 mg de ác. asc. ·100 g⁻¹), pero solamente fue superior al genotipo Cereza 2, cuya concentración fue de 12,79 mg de ác. asc. ·100 g⁻¹. Estas diferencias podrían estar asociadas de la misma forma que con las variedades

Likewise, TP concentration did not present statistical variation (table 5) among the genotypes, observing values lower to 372.5 mg ·100 g⁻¹, reported by Kacjan *et al.* (2011) in cherry tomato. AC fluctuated from 19.4 and 16.2 μmol eq Trolox ·100 g⁻¹, highlighting the genotypes Simarrona 1, Simarrona 2 and Totonaca 2, statistically superior to Arriñonado 1, Cereza 1, Cherri Co,

Cuadro 5. Contenido de vitamina C, licopeno, fenoles totales y capacidad antioxidante en 14 genotipos nativos de jitomate.

Table 5. Vitamin C content, lycopene, total phenols and antioxidant capacity in 14 native tomato genotypes.

Variedad	VC ^y (mg ác. asc.·100 g ⁻¹)	Li (μg·100 g ⁻¹)	FT (mg ác. gálico·100 g ⁻¹)	CA (μmol eq Trolox·100 g ⁻¹)
Arriñonado	18,16 ab*	4949 a	8,66 a	145,2 ab
Arriñonado 1	26,62 a	6069 a	12,45 a	65,2 bcde
Arriñonado 3	24,32 ab	5129 a	8,25 a	87,6 a-e
Cereza 1	15,71 ab	5731 a	5,90 a	19,4 e
Cereza 2	12,79 b	4771 a	10,19 a	124,6 abc
Cherri Co	21,40 ab	5640 a	7,34 a	57,3 cde
Cherri Hu	16,78 ab	4409 a	5,32 a	67,2 bede
Cherri Md	20,16 ab	8247 a	7,14 a	39,7 de
Cherri Te	14,78 ab	4813 a	7,23 a	99,9 abcd
Cuautomate	17,86 ab	5002 a	14,71 a	103,2 abcd
Simarrona 1	18,47 ab	7964 a	21,60 a	160,2 a
Simarrona 2	19,70 ab	5902 a	7,34 a	154,1 a
Totonaca 1	14,48 ab	4544 a	6,66 a	84,5 a-e
Totonaca 2	21,09 ab	6562 a	14,45 a	153,5 a
DMSH	13,07	5172	26,28	80,4

*Medias con la misma letra dentro de columnas fueron iguales de acuerdo con la prueba de Tukey (P<0,05). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. ^yVC: vitamina C; Li: licopeno; FT: fenoles totales; CA: capacidad antioxidante.

comerciales, con el sistema de cultivo como lo señaló Hernández *et al.* (2008), quienes indicaron valores de 13 a 17 mg ác. asc. $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ para frutos de jitomate cultivados bajos sistemas hidropónicos, orgánicos e intensivos.

No se lograron detectar diferencias estadísticas significativas relacionadas con el contenido de licopeno (cuadro 5), donde los genotipos presentaron valores que fluctuaron entre 4409 a 8247 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Este comportamiento fue similar a lo reportado por Juárez-López *et al.* (2009) quienes encontraron en genotipos nativos una concentración de licopeno de 3340 y 5190 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. No obstante, cabe destacar que más de 50% de los genotipos estudiados tuvieron contenidos mayores a 5190 $\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, valor máximo encontrado en otros estudios tanto en jitomate comercial como silvestre (Bhandari *et al.*, 2016).

De igual manera, la concentración de FT no presentó variación estadística (cuadro 5) entre los genotipos, donde se observaron valores menores a 372,5 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, reportados por Kacjan *et al.* (2011) en jitomate cereza. La CA fluctuó entre 19,4 y 16,2 $\mu\text{mol eq Trolox} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, donde destacaron los genotipos Simarrona 1, Simarrona 2 y Totonaca 2, estadísticamente superiores a Arriñonado 1, Cereza 1, Cherri Co, Cherri Hu y Cherri Md; sin embargo, no se pudo apreciar un comportamiento diferenciado por tipo de fruto.

Variedades comerciales y genotipos nativos

Se realizó una comparación de valores promedios de los frutos

Cherri Hu and Cherri Md; however, none differentiated behavior was observed by type of fruit.

Commercial variables and native genotypes

A comparison of average values was done from fruits coming from commercial varieties and native genotypes including the variables titratable acidity, total soluble solids, vitamin C, lycopene, total phenols and antioxidant capacity. A higher acidity value was observed for the native genotypes (table 6). All fruits (commercial varieties and native genotypes) exceeded the reference level of 0.20% reported by Bhandari *et al.* (2016), but were similar to 0.67% of citric acid in cherry tomato cropped when the color was from orange to red (Cantwell *et al.*, 2009).

The content of total soluble solids in tomato oscillated from 4 to 6 °Brix related to the availability of water and other environmental factors (Beckles, 2012). In the current research, the native genotypes exceeded this rank with values of 7.07 °Brix; nevertheless, the commercial varieties were the results of these reference values (5.23), and according to Lahoz *et al.* (2016) are also observed in an increment of taste.

The concentration of vitamic C was higher for the commercial variables (table 6) which exceeded the reference values of 20 $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (Kacjan *et al.*, 2011); as well as for nine commercial varieties evaluated by Bhandari *et al.* (2016) with maximum values of 22.67 $\text{asc.ac.} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. However, none variety presented values higher to the ones found by Juárez-López *et al.* (2009) in

Cuadro 6. Acidez titulable, sólidos solubles totales, contenido de licopeno, vitamina C, fenoles totales y capacidad antioxidante en variedades comerciales y genotipos nativos de jitomate.**Table 6. Titratable acidity, total soluble solids, lycopene content, vitamin C, total phenols and antioxidant capacity in commercial varieties and native genotypes of tomato.**

Variedad	AT ^a	SST	Li	VC	FT	CA
	(% ac. cítrico)	(°Brix)	($\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)	(mg ác. asc/100 g ¹)	(mg ác. gálico/100 g ¹)	($\mu\text{mol eq Trolox} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)
Comercial	0,63 b ^c	5,23 b	2151,4 b	27,74 a	12,56 a	94,93 a
Nativo	0,86 a	7,07 a	5695,2 a	18,26 b	9,80 a	97,30 a
DMSH	0,12	0,72	850,6	7,89	3,48	34,21

Medias con la misma letra dentro de columnas fueron iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta. ^aAT: ácidéz titulable; SST: sólidos solubles totales; Li: licopeno; VC: vitamina C; FT: fenoles totales; CA: capacidad antioxidante.

provenientes de las variedades comerciales y genotipos nativos en la que se incluyeron las variables acidez titulable, sólidos solubles totales, vitamina C, licopeno, fenoles totales y capacidad antioxidante. Se detectó un mayor valor de acidez para los genotipos nativos (cuadro 6). Todos los frutos (variedades comerciales y genotipos nativos) superaron el nivel de referencia de 0,20% reportado por Bhandari *et al.* (2016), pero fueron similares al 0,67% de ácido cítrico de jitomates tipo cereza, cosechados cuando su color era de anaranjado a rojo (Cantwell *et al.*, 2009).

El contenido de sólidos solubles totales en jitomate osciló de 4 a 6 °Brix, fluctuación que estuvo relacionada con la disponibilidad de agua y otros factores ambientales (Beckles, 2012). En este estudio, los genotipos nativos superaron este rango con valores de

wild genotypes and by Cantwell *et al.* (2009) in cherry tomato (37 to 121 mg asc.ac. $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Regarding the content of TP and AC (table 6), none statistical significant differences were found between the different commercial and native variables, and the content of total phenols was lower to 325.3 mg of gallic acid $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ reported by Bhandari *et al.* (2016) for 34 materials of cherry tomato, while the antioxidant capacity was lower to the interval from 170 to 420 $\mu\text{mol eq Trolox} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ reported by Raffo *et al.* (2006) in commercial tomato. Native genotypes presented a higher concentration ($P \leq 0,05$) of lycopene in relation to the commercial varieties (table 6), making them a good germplasm option for the genetic breeding.

7,07 °Brix; no obstante, las variedades comerciales resultaron entre estos valores de referencia (5,23), lo que de acuerdo con Lahoz *et al.* (2016) se ve reflejado también en un incremento del sabor

La concentración de vitamina C fue mayor para las variedades comerciales (cuadro 6) los cuales superaron los valores de referencia de 20 mg·100 g⁻¹ (Kacjan *et al.*, 2011); así como para nueve variedades comerciales evaluadas por Bhandari *et al.* (2016) con valores máximos de 22,67 ác. asc.·100 g⁻¹. Sin embargo, ninguna variedad presentó valores superiores a los encontrados por Juárez-López *et al.* (2009) en genotipos silvestres, y por Cantwell *et al.* (2009) en jitomates tipo cereza (37 a 121 mg ác. asc.·100 g⁻¹).

Con respecto al contenido de FT y CA (cuadro 6), no se encontraron diferencias estadísticas entre las diversas variedades comerciales y nativas, y el contenido de fenoles totales fue menor a los 325,3 mg de ác. gálico·100 g⁻¹ reportados por Bhandari *et al.* (2016) para 34 materiales de jitomate tipo cherry, mientras que la capacidad antioxidante fue menor al intervalo de entre 170 y 420 µmol eq Trolox·100 g⁻¹ reportado por Raffo *et al.* (2006) en frutos de jitomate comercial.

Los genotipos nativos presentaron una concentración ($P \leq 0,05$) mayor de licopeno con relación a las variedades comerciales (cuadro 6), lo que los hace una buena opción de germoplasma para el mejoramiento genético.

Conclusions

Fruits coming from commercial varieties presented more acidity and concentration of vitamic C but low content of total phenols as well as low values of antioxidant capacity. On the other hand, native genotypes were noted by their high content of lycopene and total soluble solids. It is important to mention that the native materials evaluated in this research might be an interesting source for the selection of quality traits of the fruit in the genetic breeding such as total soluble solids, lycopene, total phenols and antioxidant capacity, that in the future might result in useful varieties that would not only highlight from their gastronomic point of view but also for their functional characteristics.

End of English version

Conclusiones

Los frutos provenientes de variedades comerciales presentaron mayor acidez y concentración de vitamina C pero con bajo contenido de fenoles totales, así como en los valores de capacidad antioxidante. Por otro lado, los genotipos nativos se destacaron por su alto contenido de licopeno y sólidos solubles totales. Es importante señalar que los materiales nativos evaluados en esta investigación podrían resultar una fuente interesante para la selección de caracteres de calidad de fruto en

mejoramiento genético, como sólidos solubles totales, licopeno, fenoles totales y capacidad antioxidante que en el futuro podrían resultar en la liberación de variedades útiles, donde no solo se resalten bondades desde el punto de vista agronómico, sino que también éstas puedan mostrar características de tipo funcional.

Literatura citada

- Anónimo. 1990. Official Methods and Analysis. 14th Ed. Published for the Association of Official Analytical Chemists Inc. Airlington, VA., USA.
- Barberis, A., A. Fadda, M. Schirra, G. Bazzu and P.A. Serra. 2012. Detection of postharvest changes of ascorbic acid in fresh-cut melon, kiwi, and pineapple, by using a low cost telemetric system. *Food Chem.* 135(3):1555-1562.
- Barrett, D.M., C. Weakley, J.V. Díaz and M. Watnik. 2007. Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. *J. Food Sci.* 72(9):441-451.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *J. Food Eng.* 61(3):471-475.
- Beckles, D.M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 63(1):129-140.
- Bhandari, S.R., M.C. Cho and J.G. Lee. 2016. Genotypic variation in carotenoid, ascorbic acid, total phenolic, and flavonoid contents, and antioxidant activity in selected tomato breeding lines. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 57(5):440-452.
- 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(2):129-139.
- Cantwell, M., X. Nie and G. Hong. 2009. Impact of storage conditions on grape tomato quality. *In: Erkan, M. and U. Aksoy (Eds.). Proceedings of the 6th International Postharvest Symposium. International Society for Horticultural Science. Volumen 1. Antalya, Turkey.*
- Casierra-Posada, F. y O. Aguilar-Avendaño. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agron. Colomb.* 26(2):300-307.
- Corral-Aguayo, R., E. Yahia, A. Carrillo-López and G. González-Aguilar. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *J. Agric. Food Chem.* 56(22):10498-10504.
- Fish, W.W., P. Perkins-Veazie and J.K. Collins. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *J. Food Comp. Anal.* 15:309-317.
- Fogliano, V., V. Verde, G. Randazzo and A. Ritieni. 1999. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *J. Agric. Food Chem.* 47(3):1035-1040.
- Hernández, M.I., L. Nasarova, M. Chailloux y J.M. Salgado. 2008. Evaluación agronómica de fertilizantes líquidos cubanos en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicon* L.) híbrido HA 3019. *Cultivos Tropicales* 29(1):73-81.
- Javanmardi, J. and C. Kubota. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biol. Technol.* 41(2):151-155.
- 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 en frutos nativos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(2):5-9.

- Kacjan, M.N., L. Gašperlin, V. Abram, M. Budič and R. Vidrih. 2011. Quality parameters and total phenolic content in tomato fruits regarding cultivar and microclimatic conditions. *Turk. J. Agric. For.* 35(2):185-194.
- Kapur, A., A. Hasković, A. Čopra-Janičićević, L. Klepo, A. Topčagić, I. Tahirović and E. Sofić. 2012. Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina* 38(4):39-42.
- Lahoz, I., A. Pérez de Castro, M. Valcárcel, J.I. Macua, J. Beltrán, S. Roselló and J. Cebolla-Cornejo. 2016. Effect of water deficit on the agronomical performance and quality of processing tomato. *Sci. Hort.* 200(1):55-65.
- Litwack, G. 1967. *Bioquímica Experimental*. Primera Edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.
- Martín-Hernández, C.S., V.M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, M.T.B. Colinas-León y L. Borges-Gómez. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46(3):243-254.
- Montoya, H.C., O.J.A. Cortés y O.J.A. Chaves. 2014. Sistema automático de reconocimiento de frutas basado en visión por computador. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería* 22(4):504-516.
- Perkins-Veazie, P., J.K. Collins, S.D. Pair and W. Roberts. 2001. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *J. Sci. Food Agric.* 81(10):983-987.
- Pulvento, C., M. Riccardi, R. d'Andria, A. Lavini and D. Calandrelli. 2008. Effects of deficit irrigation on two cherry tomato cultivars in hilly areas. p. 177-184. *In: Santini A., N. Lamaddalena, G. Severino and M. Palladino (Eds.). Irrigation in Mediterranean agriculture: challenges and innovation for the next decades. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens. Mediterranean Agronomic Institute of Bari. N° 84.*
- Raffo, A., G. La Malfa, V. Fogliano, G. Maiani and G. Quaglia. 2006. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *J. Food Comp. Anal.* 19(1):11-19.
- Ríos-Osorio, O., J.L. Chávez-Servia y J.C. Carrillo-Rodríguez. 2014. Producción tradicional y diversidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) nativo: un estudio de caso en Tehuantepec-Juchitán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 11(1):35-51.
- SAS Institute, Inc. 2002. *SAS user's guide: Statistics: Statistic. Ver. 9.00*. SAS Institute, Inc. Cary, N.C., USA.
- Sim, S.C., M.D. Robbins, A. Van Deynze, A.P. Michel and D.M. Francis. 2011. Population structure and genetic differentiation associated with breeding history and selection in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Heredity* 106(6):927-935.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. p. 633-650. *In: International Society for Soilless Culture (Ed.). Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. First Edition. Wageningen, the Netherlands: Secretariat of ISOSC.*
- UFFVA. 1975. Color classification requirements in US standards for grades of fresh tomatoes. United Fresh Fruit and Vegetable Association in cooperation with U.S.D.A. Agricultural Marketing Service Fruit and Vegetable Division. USA.
- Vinha, A.F., R.C. Alves, P.S.V. Barreira, A. Castro, G.A.S. Costa and M.B.P.P. Oliveira. 2014. Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. *LWT - Food Sci. Technol.* 55(1):197-202.