

Evaluación del contenido de antioxidantes en introducciones de tomate tipo cereza (*Solanum spp.*)

Assessment antioxidant content in introductions of cherry tomato (*Solanum spp.*)

Nelson Ceballos-Aguirre^{1*}, Franco Alirio Vallejo-Cabrera², y Natalia Arango-Arango³

¹I.A.; Dr.(c) en Ciencias Agrarias. Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia. ²I.A.; M.Sc.; Dr. Genética y Mejoramiento de Plantas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 237, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. ³I.A.; Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia.

*Autor para correspondencia: nelson.ceballos@ucaldas.edu.co

Rec.: 02.11.11 Acept.: 28.08.12

Resumen

La mayor diversidad genética de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se encuentra en especies silvestres, con variabilidad en características de calidad del fruto como sabor, aroma, coloración, y contenidos de licopeno y β -caroteno. El objetivo del presente trabajo fue determinar el contenido de antioxidantes (licopeno, β -caroteno y vitamina C) en frutos de tomate tipo cereza de 30 introducciones silvestres existentes en el Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. El estudio de campo se realizó en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas; temperatura promedio de 22.8 °C; a 1010 m.s.n.m.; 2200 mm de precipitación pluvial anual y una humedad relativa de 76%. El diseño experimental fue látice rectangular, con 30 tratamientos (introducciones) y un testigo comercial (Sweet million), con cuatro repeticiones por tratamiento y cinco plantas en cada una de ellas como unidad experimental. Las variables evaluadas fueron licopeno, β -caroteno, vitamina C y acidez del fruto, determinadas por espectrofotometría y titulación por cambio de color y pH. Adicionalmente se evaluó la producción de frutos. Los datos fueron analizados utilizando pruebas de varianza y prueba de medias por Duncan, con el programa SAS (SAS Institute Cary N.C). Finalmente se aplicó un índice de selección ponderado con base en las variables licopeno, β -caroteno y vitamina C, con aplicación de una presión de selección de 17%. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para las variables evaluadas. El mayor contenido de licopeno se halló en la introducción LA1455 con 0.32 $\mu\text{g}/\text{ml}$, el de β -caroteno en la introducción LA2076 (0.095 $\mu\text{g}/\text{ml}$), y el de vitamina C en el testigo comercial (Sweet million) (85 mg/100 g). El índice de selección mostró como introducciones promisorias: IAC 445, LA2076, LA2710, LA2845, y LA1546, lo cual indica que existe diversidad fenotípica entre las introducciones evaluadas para las variables licopeno, β -caroteno y vitamina C.

Palabras clave: β -caroteno, licopeno, recursos fitogenéticos, vitamina C.

Abstract

The greatest genetic diversity of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is found in wild species, with variability in fruit quality characteristics such as flavor, aroma, color, and content of lycopene and β -carotene. The aim of this study was to determine the content of antioxidants (lycopene, β -carotene and vitamin C) in cherry tomato fruits of 30 wild introductions from the Germplasm Bank of the National University of Colombia in Palmira. The field study was conducted at Montelindo farm, property of the University of Caldas, with an average temperature of 22.8 °C, at 1010 masl, 2200 mm of annual pluvial precipi-

tation and relative humidity of 76%. The experimental design used was a rectangular lattice, with 30 treatments (introductions) and a commercial control (Sweet million) in four replicates per treatment and five plants in each one as experimental unit. The evaluated variables were lycopene, β -carotene, vitamin C and acidity of the fruit, which were determined by spectrophotometry and titration by color change and pH. Additionally, fruit production of the introductions was assessed. Data were analyzed using ANOVA and Duncan mean test by using SAS software (SAS Institute, Cary NC). Finally, we applied a weighted selection index based on the variables lycopene, β -carotene and vitamin C, applying a selection pressure of 17%. Significant differences ($P < 0.05$) for the evaluated variables were found. The highest content of lycopene was found in the introduction LA1455 with $0.32 \mu\text{g} / \text{ml}$, that of β -carotene in the introduction LA2076 ($0.095 \mu\text{g} / \text{ml}$), and vitamin C in commercial control (Sweet Million) ($85 \text{ mg} / 100 \text{ g}$). The selection index showed as promising introductions: IAC 445, LA2076, LA2710, LA2845, and LA1546, indicating that phenotypic diversity exists among the introductions assessed for variables lycopene, β -carotene and vitamin C.

Key words: β -carotene, lycopene, plant genetic resources, vitamin C.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza más importante en Colombia y en el mundo. Constituye el 30% de la producción hortícola mundial, con aproximadamente 4.4 millones de hectáreas sembradas y 145,751,507 t de frutos cosechados en el 2010. En Colombia, la producción de tomate para el mismo año fue de 546,322 t, con un área de siembra de 16,227 ha y un rendimiento de 33.66 t/ha (Faostat, 2010).

Esta especie se encuentra difundida en todos los continentes y representa una de las principales fuentes de vitaminas, minerales y fibra (Esquinas-Alcázar y Nuez, 1995), importantes para la salud y la nutrición humana (Razdan y Matoo, 2007). Contiene diferentes nutrientes y moléculas como ácido ascórbico, vitamina E, flavonoides, ácidos fenólicos y carotenoides (Kuti y Konuru, 2005); es la principal fuente de licopeno para el humano y se consume en fresco y procesado (Candelas-Cadillo *et al.*, 2005).

Los carotenoides son una de las muchas familias de metabolitos vegetales derivados de la biosíntesis de los isoprenoides y comparten el precursor de cinco carbonos, isopentil pirofosfato (IPP), con cerca de 20,000 metabolitos vegetales. Cuatro unidades de IPP se unen para formar una subunidad de veinte carbonos: el geranylgeranyl pirofosfato (GGPP). El primer paso para la biosíntesis de los carotenoides es la unión de dos moléculas de GGPP para dar lugar al fitoeno de cuarenta carbonos. Se requieren cuatro pasos desde el precursor fitoeno para conseguir la serie de

11 enlaces dobles conjugados encontrados en licopeno. Las dos primeras desaturaciones están catalizadas por la fitoeno-desaturasa (PDS) y da lugar a la formación de fitoflueno seguida por el ζ -caroteno (revisión de Adalid, 2011). La conversión del ζ -caroteno a neurosporeno y entonces a licopeno se lleva a efecto por la ζ -caroteno-desaturasa (ZDS), la cual tiene una alta actividad ya que el fruto maduro de tomate contiene pequeñas cantidades de ζ -caroteno o neurosporeno (Fraser y Bramley, 2004). El licopeno es el principal carotenoide acumulado en el tomate maduro, y es a su vez un punto de partida en la ruta biosintética de otros carotenoides, como la formación de β -caroteno (Adalid, 2011).

La biosíntesis de la vitamina C se inicia a partir de dos compuestos presentes en las plantas, el ácido D-galacturónico y el éster metílico del ácido D-galacturónico, los cuales a través del proceso de Wheeler-Smirnoff producen ácido ascórbico (Wheeler *et al.*, 1998). Según Miller y Tanksley (1990) la mayor parte de la diversidad del tomate se halla en sus parientes silvestres, presentando variabilidad genética para características de calidad de fruto como sabor, aroma, color y textura, con alto valor nutritivo por su contenido de vitamina C, superior a $57 \text{ mg}/100 \text{ g}$ en tejido fresco, y por su alto contenido de licopeno, superior a $10 \text{ mg}/100 \text{ g}$. La tendencia actual en mejoramiento genético para desarrollar nuevos cultivares comerciales está orientada hacia la incorporación de características de calidad como el color, la firmeza, el sabor y el alto contenido en carotenoides. Todas ellas se hallan en mayor proporción en los cultivares

tradicionales, frente a los actuales en los que ha primado la productividad y las características agronómicas de la planta antes que la calidad de fruto (Valcárcel, 2009).

El consumo de frutas y verduras con altos niveles de antioxidantes se considera un medio de prevención de enfermedades cardiovasculares y cancerígenas, lo que ha incrementado su demanda en los últimos años. El consumo de tomate, por su parte, ha sido estable a través del tiempo, lo que estimula su mejoramiento genético para la obtención de nuevos cultivares con altos contenidos en licopeno, β -caroteno y vitamina C (Adalid *et al.*, 2007). Raffo *et al.* (2003) estudiaron fuentes de vitamina C, E y carotenoides específicos y establecieron que el tomate es la primera fuente de licopeno (71.6%), segundo como fuente de vitamina C (12%) y β -caroteno (17.2%) y tercero como fuente de vitamina E (6%). Los nutricionistas estiman que diariamente se requieren entre 3 y 7 mg de licopeno, lo que supone la necesidad de consumir semanalmente siete porciones ricas en productos derivados del tomate (Rodríguez, 1999). Abushita *et al.* (1997) estiman un requerimiento diario entre 60 y 100 mg de vitamina C para reducir el riesgo de contraer enfermedades crónicas y para gozar de una buena salud.

Según Abadie y Berretta (2001), el valor de las colecciones de recursos fitogenéticos reside en su utilización. Las colecciones deben proveer a los mejoradores de variantes genéticas, genes o genotipos, que les permitan responder a los nuevos desafíos planteados por los sistemas productivos, siendo para ello imprescindible conocer las características del germoplasma conservado. La adaptación de los tomates tipo cereza proveen alta posibilidad para ser incluidos en programas de mejoramiento, aprovechando sus valiosas características en cuanto a la diversidad genética para la elección de parentales y su amplia diversidad geográfica (Medina y Lobo, 2001). Algunas de las especies de tomate tipo cereza se consideran como promisorias para el mercado por su alto contenido de antioxidantes como licopeno y β -caroteno (Nuez, 1999). Estos caracteres de amplia variabilidad genética y los genes que aportan justifican la inclusión de especies silvestres en programas

de mejoramiento de tomate cultivado, para evaluar combinaciones heterocigotas por comportamiento de caracteres de interés agronómico (Pratta *et al.*, 2003).

Actualmente la búsqueda de calidad interna (nutritiva y organoléptica) es uno de los principales objetivos del mejoramiento de tomate para mercado en fresco (Roselló *et al.*, 2000). Además, es importante identificar fuentes de resistencia a estrés, tanto biótico como abiótico, y de alta calidad nutritiva que contribuyan al manejo de una agricultura sostenible.

En Colombia existen recursos genéticos de tomate tipo cereza que no han sido evaluados por caracteres de calidad, como licopeno, β -caroteno y vitamina C, por lo que se desconoce cuál podría ser su potencial para aprovechamiento en los programas de mejoramiento genético. La utilización de este recurso está sujeta a la previa identificación y selección de introducciones con potencial. En el presente estudio se evaluaron treinta introducciones silvestres de tomate tipo cereza (*Solanum* spp.) existentes en el Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira para seleccionar genotipos con base en sus contenidos de antioxidantes (licopeno, β -caroteno y vitamina C), que sirvan para el mejoramiento de tomate cultivado y tipo cereza comercial.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en la granja Montelindo, de la Universidad de Caldas, situada en Palestina (Caldas), Colombia, con una temperatura promedio de 22.8 °C, a 1010 m. s.n.m., 2200 mm de precipitación anual y humedad relativa de 76%, en suelos franco-arenosos derivados de cenizas volcánicas. Se emplearon treinta introducciones de tomate tipo cereza, sin reporte de caracterización, con el fin de incluirlos en programas de mejoramiento de tomate cultivado. El testigo comercial fue el tipo Sweet million (Cuadro 1).

Las plántulas se desarrollaron en bandejas de 72 lóculos con turba como sustrato y fueron trasplantadas cuando alcanzaron cuatro hojas verdaderas; la siembra tuvo lugar en el segundo semestre de 2010. El diseño experimental utilizado fue látice rectangular 5 x 6 (30 introducciones) con dos

Cuadro 1. Introducciones de tomate tipo cereza evaluadas por el contenido de antioxidantes.

Introducción (no.)	Tipo de tomate	Introducción (no.)	Tipo de tomate
IAC391 ^a	Red Cereza	LA1546	Cereza
IAC420	Cereja	LA1705	Cereza
IAC421	Cereja Alemão Vermelho	LA2076	Cereza
IAC424	Cereja	LA1334	Cereza
IAC426	Cereja Juliet	LA2131	Cereza
IAC445	Cereja Jundiai	LA168	Cereza
IAC1621	Cereja aleman 12	LA2640	Cereza
IAC1624	Cereja	LA2692	Cereza
IAC1685	Cereja 11B	LA2710	Cereza
IAC1688	Lili Cereja	LA2845	Cereza
IAC1622	Cereza	LA3139	Cereza
IAC1686	Cereza	LA3652	Cereza
IAC412	Cereza	LA1455	Cereza
IAC416	Cereza	LA1428	<i>S. pimpinelifolium</i>
LA 1480 ^b	Cereza	LA3158	<i>S. pimpinelifolium</i>
Testigo	Sweet million		

^a**IAC:** Introducciones procedentes del Instituto Agronómico de Campinas, Campinas, Brasil.

^b**LA:** Introducciones procedentes del Tomato Genetics Resources Center (TGRC). Universidad de California, Davis.

replicaciones por bloque principal y la unidad experimental fue de 5 plantas por introducción, sembradas a 1.5 m x 0.8 m. El manejo agronómico fue el convencional comercial para cultivos de tomate y la arquitectura de planta se definió como tres ejes/planta. Para el control de arvenses se utilizó acolchado plástico tipo blanco-negro de 0.8 m de ancho, calibre 1.2. Los frutos fueron cosechados cuando estuvieron totalmente maduros, según el comportamiento de cada introducción.

VARIABLES MEDIDAS

Acidez del fruto y contenido de vitamina C.

Para estas mediciones en cada introducción y repetición se tomaron muestras de 10 ml de jugo en 10 frutos del segundo racimo, cosechados en plena maduración. Cada muestra fue diluida en 100 ml de agua destilada y titulada con NaOH 0.1 N hasta un pH de 8.2, expresando el resultado como ácido cítrico (%) para la acidez del fruto. Para la vitamina C se tituló con solución de yodo 0.1N hasta observar cambio de coloración, expresando el resultado en miligramos/100 g de peso fresco (mg/100 g) (IPGRI, 1996).

Contenidos de licopeno y β-caroteno.

Para estas determinaciones se pesaron 0.6 g de pulpa de tomate de plantas de cada intro-

ducción y repetición, cosechadas en maduración completa. A continuación se agregaron 5 ml de la mezcla acetona-n-hexano en una relación 4:6. Posteriormente se centrifugó a 5000 r.p.m durante 5 min y 4°C; se extrajo el sobrenadante y se leyó en un espectrofotómetro de luz visible a longitudes de onda de 453 nm, 505 nm, 645 nm y 663 nm, usando la mezcla acetona-n-hexano como blanco de acuerdo con la metodología de Rosales (2008) estandarizada para frutos de tomate. Las concentraciones de licopeno y β-caroteno se cuantificaron usando las siguientes ecuaciones propuestas por Nagata y Yamashita (1992) para antioxidantes en frutos de tomate.

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g/ml}) = 0.0458 A_{663} + 0.204 A_{645} + 0.372 A_{505} - 0.0806 A_{453}$$

$$\beta\text{-caroteno } (\mu\text{g/ml}) = 0.216 A_{663} - 1.220 A_{645} - 0.304 A_{505} + 0.452 A_{453}$$

El rendimiento de tomate por introducción y repetición se expresó en gramos por planta (g/planta) y en toneladas por hectárea (t/ha).

El análisis de varianza de los datos se realizó mediante el procedimiento GLM de SAS (1992) (SAS Institute Cary N.C; version 9.0) para comparación de medias a través de la prueba de promedios de Duncan. A partir de los resultados obtenidos se aplicó una presión

de selección de 17% para elegir las mejores introducciones, utilizando como criterio el índice de selección ponderado. El índice de selección (IS_i), se construyó considerando los caracteres licopeno, β -caroteno y vitamina C, aplicando a cada uno de ellos el mismo peso para la ponderación (33.33%). Para el caso de vitamina C los valores obtenidos fueron expresados como gramos por cada 100 g de peso fresco, de manera que todas las variables fueron expresadas en decimales, para no alterar los resultados del índice de selección. Este índice se define de la manera siguiente:

$$IS_i = \sum [P_j (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_{.j})/S_j]$$

donde,

P_j = corresponde a la ponderación.

\bar{X}_{ij} = Promedio del genotipo i para el carácter j .

$\bar{X}_{.j}$ = Promedio de la población para el carácter j .

S_j = Desviación estándar para el carácter j .

Se seleccionó el 17% de genotipos con los mejores valores de IS_i mayores y superiores a cero.

Resultados y discusión

El análisis de los datos mostró que todas las variables evaluadas fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Producción de fruto.

Para la producción por planta, las introducciones con los rendimientos más altos fueron: IAC426 (2040 g/planta, equivalente a 17 t/ha) e IAC1624 (1937 g/planta y 16.1 t/ha); el testigo produjo 2055 g/planta y 17.1 t/ha, no obstante, éste presentó la mayor cantidad de frutos dañados (1570 g y 13 t/ha) (n.p.); la introducción LA3158 presentó la menor producción (277 g/planta y 2.3 t/ha) (Cuadro 2). Zaror (1996) encontró con tomate tipo cereza bajo invernadero el mayor rendimiento con la variedad Sweet cherry (2739 g/planta), valor similar a los hallados en este estudio con los materiales IAC426 e IAC1624 y con el testigo (tomate cereza comercial F1 Sweet million) (2055 g/planta). Macua *et al.* (2006, 2008) observaron en nueve variedades de tomate cereza un rendimiento promedio de 85.78 t/ha, y 2 años después, trabajando con once variedades de

tomate cereza, produjeron entre 66 y 103.68 t/ha. Uresti *et al.* (2007) en cultivo hidropónico de tomate alcanzaron rendimientos de 30.1 t/ha con una población de 25,650 plantas/ha.

En el presente estudio, las producciones máximas de tomate maduro se obtuvieron con el testigo Sweet million (17.1 t/ha) y con las introducciones IAC426 (17 t/ha) y IAC1624 (16.1 t/ha) y una densidad de 8333 plantas/ha (Cuadro 2).

Contenidos de licopeno y β -caroteno.

Las introducciones LA1455 y LA2845 presentaron los mayores contenidos de licopeno, con concentraciones similares de 0.32 $\mu\text{g/ml}$, seguidas por la introducción IAC426 con 0.30 $\mu\text{g/ml}$; no obstante, el contenido de β -caroteno en ambas se puede considerar bajo. Los materiales de menor contenido de licopeno fueron IAC412 (0.04 $\mu\text{g/ml}$) y LA2640 (0.02 $\mu\text{g/ml}$).

La introducción LA2076 mostró el contenido más alto de β -caroteno (0.096 $\mu\text{g/ml}$) seguida de la introducción IAC412 con 0.094 $\mu\text{g/ml}$. Un total de once introducciones, correspondientes al 35% de la población, no mostraron contenido de β -caroteno; por el contrario presentaron contenidos aceptables de licopeno (Cuadro 2). Se estima que entre 87% y 90% de los carotenoides presentes en tomate maduro son carotenos (Fraser y Bramley, 2004). El licopeno es el caroteno más abundante en tomates de color rojo y llega a representar más del 90% de los carotenoides totales (Adalid, 2011), resultados que concuerdan con los hallados en este estudio donde el porcentaje de licopeno fue de 86.1% del total de carotenoides. Según Adalid (2011) el fruto de tomate rojo típico contiene niveles menores de otros pigmentos como β -caroteno, δ -caroteno, γ -caroteno y neurosporeno. En este estudio, 14 introducciones con 80% de fruto rojo presentaron valores de licopeno superiores al promedio (0.18 $\mu\text{g/ml}$) (n.p.), mientras que las introducciones con fruto maduro, con colores entre rojo y rosado presentaron los valores más altos de β -caroteno. La concentración de licopeno en frutos de tomate depende de la composición genética y la interacción del genotipo con el ambiente en el que se desarrolla. La alta intensidad de luz favorece el contenido en carotenoides en general, en especial el de

Cuadro 2. Prueba de promedios (Duncan) en evaluación del contenido de antioxidantes en 30 introducciones de tomate tipo cereza.

Introducción	PDN (g/planta)	LYC (µg/ml)	β-caroteno (µg/ml)	Vitamina C (mg/100g)	Acidez (%)	Rto. (t/ha)
Testigo	2054 a*	0.181 efgh	0.032 c	85 a	1.392 fgh	17.1
IAC426	2039 a	0.301 ab	0 e	33 lm	1.208 hij	17.0
IAC1624	1937 a	0.269 bc	0 e	60 cd	1.569 ef	16.1
LA1480	1704 b	0.259 cd	0 e	44 fghijkl	1.144 ij	14.2
IAC391	1643 bc	0.173 ghij	0 e	38 jklm	1.352 fghi	13.7
IAC1688	1642 bc	0.135 jkl	0.042 c	51 cdefghi	1.904 cd	13.7
LA3652	1574 bcd	0.229 cde	0.023 cde	48 efghij	2.208 b	13.1
IAC1621	1432 cd	0.244 cde	0 e	41 hijkl	1.568 ef	11.9
IAC424	1421 cd	0.052 def	0 e	52 cdefghi	1.28 ghi	11.8
LA2692	1420 cd	0.119 lm	0.067 b	33 lm	1.944 cd	11.8
LA2131	1369 d	0.238 cde	0 e	41 hijkl	1.456 fg	11.4
IAC421	1348 d	0.152 ijkl	0.036 c	44 fghijkl	1.544 f	11.2
LA2076	1314 d	0.086 mn	0.096 a	59 cde	2.072 bc	11.0
LA2845	1032 e	0.316 a	0.009 de	56 cdef	1.552 f	8.6
LA1705	1013 e	0.077 no	0.005 e	49 defghij	1.2 hij	8.4
LA1428	979 ef	0.209 efg	0.03 cd	35 klm	2.048 bcd	8.2
IAC445	958 ef	0.163 hijk	0.084 ab	61 c	1.04 j	8.0
IAC420	887 efg	0.123 klm	0.087 ab	47 fghijk	1.872 cd	7.4
IAC1686	878 efgh	0.123 klm	0.033 c	41 hijkl	2.2 b	7.3
LA2640	817 efgh	0.024 p	0.002 e	35 klm	1.472 fg	6.8
LA168	814 efgh	0.228 cde	0 e	47 efghijk	1.472 fg	6.8
IAC412	739 fghi	0.038 op	0.094 a	43 ghijkl	2.44 a	6.2
IAC1685	629 ghij	0.179 efgh	0.007 e	34 lm	1.832 cd	5.2
LA2710	619 hij	0.204 efgh	0 e	73 b	2.008 bcd	5.2
LA3139	551 ij	0.146 ijkl	0.004 e	53 cdefgh	1.84 cd	4.6
IAC1622	517 ijk	0.178 efgh	0 e	54 cdefg	1.92 cd	4.3
LA1546	512 ijk	0.245 cde	0.038 c	55 cdefg	1.792 de	4.3
LA1455	475 ijk	0.318 a	0 e	52 cdefghi	1.888 cd	4.0
LA1334	418 jk	0.239 cde	0.032 c	40 ijklm	1.912 cd	3.5
IAC416	388 jk	0.055 nop	0.025 cde	29 m	1.552 f	3.2
LA3158	277 k	0.086 mn	0.033 c	45 fghijkl	1.896 cd	2.3

* Valores seguidos de letras diferentes difieren en forma significativa ($P < 0.05$) según la prueba de Duncan. PDN = Producción por planta, LYC = Contenido de licopeno, β-car = β caroteno, Vita C = Vitamina C. AF = Acidez titulable.

licopeno (Dumas *et al.*, 2002), lo cual concuerda con las condiciones de luminosidad en la zona de este estudio y la variabilidad genética del germoplasma evaluado, lo que favoreció un mayor contenido de licopeno en algunas introducciones, frente a β-caroteno.

Zambrano *et al.* (1995) evaluaron el contenido de licopeno en dos cultivares de tomate (variedad Río Grande y tipo pera) y concluyeron que la síntesis de licopeno aumenta progresivamente durante el transcurso de la maduración del fruto; en la variedad Río Grande desde 0.233 µg/g en estado de ma-

durez fisiológica hasta 28.720 µg/g en frutos maduros en la planta, y en el tipo pera desde 0.21 µg/g hasta 29.720 µg/g en los mismos estados anteriores de maduración. En la presente investigación, los frutos fueron cosechados en plena maduración y alcanzaron valores máximos de 0.318 µg/ml en la introducción LA1455 y mínimos de 0.024 µg/ml en la introducción LA2640.

Rodríguez-Amaya (1997) observó un considerable aumento en el contenido de carotenoides, especialmente en licopeno, durante la maduración del fruto de tomate. Siete días

después de la etapa de plena maduración, el nivel de licopeno fue de 44 µg/g, mientras que de β-caroteno fue de 3.0 µg/g. Después de 21 días, el licopeno alcanzó 65 µg/g mientras que el β-caroteno disminuyó levemente a 2.2 µg/g, lo cual indica que a mayor contenido de licopeno los niveles de β-caroteno disminuyen, resultados similares a los observados en este estudio.

Lenucci *et al.* (2006) encontraron variaciones entre cultivares de tomate, el contenido de β-caroteno varió entre 0.5 y 20 mg/kg y de licopeno entre 8 y 250 mg/kg, y en introducciones de tomate var. cerasiforme valores de licopeno entre 0.2 mg/100 g y 17.4 mg/100 g; mientras que el valor más alto se encontró en *S. pimpinellifolium* con valores de 18 y 25 mg/100 g en frutos de color rojo intenso. El promedio del contenido de licopeno para las introducciones evaluadas en el presente estudio fue de 0.18 µg/ml, se halló que 55% de ellas, incluido el testigo Sweet million, tenían valores superiores a este promedio. Hernández *et al.* (2007) encontraron valores de licopeno entre 1.89 y 2.56 mg/100 g en los cultivares comerciales Dunkan y Thomas.

En este estudio, las introducciones LA2710 e IAC445 presentaron concentraciones de vitamina C en fruto de 73 mg/100 g y 61 mg/100 g, respectivamente, mientras que el testigo mostró una concentración de 85 mg/100 g.; por el contrario, las introducciones IAC426 e IAC416 presentaron bajas concentraciones, de 33 mg/100 g y 29 mg/100 g, respectivamente (Cuadro 2).

La introducción con mayor acidez en fruto fue IAC412 con 2.44 %, seguida de las introducciones LA3652 e IAC1686 con 2.2% cada una; mientras que LA1480 (1.14%) e IAC445 (1.04%) presentaron la acidez más baja (Cuadro 2). Raffo *et al.* (2003) encontraron que el ácido ascórbico es altamente variable en tomate cereza producido bajo invernadero, no obstante su concentración se halla dentro del valor diario recomendado de vitamina C (60 mg). Las introducciones LA2710, IAC445, IAC1624 y LA2076, al igual que el testigo, mostraron concentraciones iguales o superiores a este valor, por lo que se consideran promisorias como variedades comerciales.

Todas las introducciones evaluadas en este estudio revelaron contenidos de vitamina C en fruto superiores a los encontrados por Lenucci *et al.* (2006) al evaluar 20 entradas de tomate var. cerasiforme y *S. pimpinellifolium*, existentes en el Banco de Germoplasma COMAV (Centro para la Conservación y Mejoramiento de la Agrobiodiversidad de la Universidad Politécnica de Valencia-España), entre ellas: LA2933 (37 mg/100 g), LA2656 (25 mg/100 g) y BGV009560 (21 mg/100 g). Galiana-Balaguer *et al.* (2000) encontraron que los niveles de vitamina C en tomate varían significativamente según la especie, desde 80 mg/kg en variedades cultivadas hasta 1.113 mg/kg de peso fresco en *S. pimpinellifolium* L. Rosales (2008) en frutos de tomate cereza, cosechados tres veces a lo largo del ciclo de producción del cultivo y en un estado similar de maduración, encontró valores de 3.57 mg/g y 3.70 mg/g de ácido cítrico. Urrestarazu (2004) encontró valores de acidez titulable para tomate cereza entre 520 y 807 mg/ml de ácido cítrico, mientras que para tomate común los valores variaron entre 370 y 550 mg/ml. Murray *et al.* (2004) evaluaron frutos de tomate cereza var. cerasiforme cv. Super sweet cultivados en invernadero y cosechados en diferentes grados de maduración, encontrando valores de acidez titulable (% ácido cítrico) de 1.01% en tomates rosados, 0.96% en tomates rojos y 0.81 en tomates pintón, valores inferiores a los hallados en este estudio con tomates en grado de maduración similares, los cuales variaron entre 1.04 y 2.44% de ácido cítrico.

El Índice de Selección mostró como mejores introducciones LA2076, LA2710, LA2845 y LA1546, provenientes del Banco de Germoplasma de Davis, California, e IAC445 del Banco de Germoplasma del Instituto Agronómico de Campinas, Brasil (Cuadro 3).

Conclusiones

- Las introducciones con mayor contenido de licopeno (0.32 µg/ml) fueron LA1455 y LA2845; las de mayor contenido de β-caroteno fueron LA2076 (0.096 µg/ml) e IAC412 (0.094 µg/ml). Catorce introducciones mostraron valores de licopeno

Cuadro 3. Índices de selección en las variables licopeno, β -caroteno y vitamina C en introducciones de tomate tipo cereza.

Introducción	PDN (g/planta)	LYC ($\mu\text{g/ml}$)	β -CAR ($\mu\text{g/ml}$)	Vita C (mg/100g)	IS
IAC445	958.7	0.163	0.084	61	1.085
LA2076	1314.7	0.086	0.096	58.75	0.839
LA2710	619.3	0.204	0	72.5	0.736
LA2845	1032.3	0.316	0.009	55.75	0.726
LA1546	512.2	0.245	0.038	54.75	0.721
Testigo	2054.6	0.18	0.032	0.085	-0.327

PDN = Producción por planta, LYC = Contenido de licopeno, β -car = β caroteno, Vita C = Vitamina C, IS = Índice de selección.

superiores al promedio (0.18 $\mu\text{g/ml}$), 80% de las cuales presentaron color rojo para el fruto maduro, lo que indica una relación directa entre este color y el contenido de licopeno.

- El Índice de Selección mostró como mejores introducciones LA2076, LA2710, LA2845 y LA1546, provenientes del Banco de Germoplasma de Davis, California, e IAC445 del Banco de Germoplasma del Instituto Agronómico de Campinas, Brasil, las cuales presentaron valores de licopeno, β -caroteno y vitamina mayores que el promedio. Adicionalmente los materiales LA2076 y LA2845 revelan rendimientos por planta superiores a 1000 g.
- Existe diversidad fenotípica entre las introducciones evaluadas para las variables licopeno, β -caroteno, vitamina C, acidez del fruto (% de ácido cítrico) y producción, siendo promisorias en programas de mejoramiento genético de tomate cereza y de la especie cultivada de manera comercial.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados de la Universidad de Caldas; la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira; y a Productos Químicos Andinos.

Referencias

Abadie, T. y Berretta, A. 2001. Caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos. Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. Procisur. 8 p.

- Abushita, A. A.; Hebshie, A.; Daood, H. G.; y Biacs, P. A. 1997. Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chem.* 2:207 - 212.
- Adalid, A. M. 2011. Mejora de la calidad nutritiva del tomate: búsqueda de fuentes de variabilidad, estudio de la influencia del ambiente y determinación del control genético. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España. 111 p.
- Adalid, A. M.; Roselló, S.; y Nuez, F. 2007. Mejora de la calidad nutritiva en tomate: búsqueda de nuevas fuentes de variabilidad con alto contenido en carotenoides y vitamina C. *Sociedad Española de Ciencias Hortícolas Actas de Horticultura* 48:121 - 124.
- Candelas-Cadillo, M. G.; Alanís-Guzmán, M. G.; Bautista-Justo, M.; Del Río-Olague, F.; y García-Díaz, C. 2005. Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. *Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México Rev. Mex. Ing. Química.* 4:299 - 307.
- Dumas, Y.; Dadomo, M.; Di Lucca, G.; y Grolier, P. 2002. Review of the influence of major environmental and agronomic factors on the lycopene content of tomato fruit. *Acta Hort.* 579:595 - 601.
- Esquinas-Alcazar, J. y Nuez, V. F. 1995. Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. Nuez Viñals, F. (ed.). *El cultivo del tomate.* Madrid, Mundi-Prensa. Pp. 15 - 43.
- Faostat. 2010. Agriculture. Statistics on crops. Core production data. [En línea] Disponible en: <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD> [Fecha revisión: Agosto 7 de 2012]
- Fraser, P. D. y Bramley, P. M. 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research* 43:228 - 265.
- Galiana-Balaguer, L.; Roselló, S.; y Nuez---?. 2000. Sources of high soluble solid and vitamin C content from *Lycopersicon pimpinellifolium* are interesting in breeding for internal quality of fresh market tomato. *Tomato Genetics Cooperative Report (TGCR).* 50:33 - 34

- Hernández, M.; Rodríguez, H.; y Díaz, C. 2007. Free hydroxycinnamic acids, lycopene, and color parameters in tomato cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 21:8604 - 8607.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1996. Descriptores para el cultivo del tomate (*Lycopersicon* spp.). IPGRI. Roma, Italia.
- Kuti, J. y Konuru, H. 2005. Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 85:2021 - 2023.
- Lenucci, M. S.; Cadinu, D.; Taurino, M.; Piro, G.; y Dalessandro, G. 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 54:2606 - 2613.
- Macua, J.; Lahoz, I.; Garnica, J.; Calvillo, S.; Zúñiga, J.; y Santos, A. 2006. Tomate de industria. Campaña 2006. *Navarra Agraria.* 172:19 - 21.
- Macua, J.; Lahoz, I.; Garnica, J.; Calvillo, S.; Zúñiga, J.; y Santos, A. 2008. Otras variedades de tomate. Campaña 2008. *Navarra Agraria.* 172:27 - 28.
- Medina, C. I. y Lobo, M. 2001. Variabilidad morfológica en el tomate pajarito (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*), precursor del tomate cultivado. *Rev. Corpoica.* 3(2):39 - 50.
- Miller, J. C. y Tanksley, S. D. 1990. RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theor. Appl. Gen.* 80:437 - 448.
- Murray, R.; Lucangeli, C.; Polenta, G.; y Budde, C. 2004. Calidad de tomate cereza cosechado en tres estados de madurez. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Disciplinas básicas e investigaciones - Producción vegetal. p. 47
- Nagata, M. y Yamashita, I. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Japanese Soc. Food Sci. Techn.* 39:925 - 928.
- Nuez, F. 1999. Desarrollo de nuevos cultivares. En: F. Nuez [ed.]. *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa, Madrid, España. Pp. 625 - 669.
- Pratta, G.; Cánepa, L.; Zorzoli, R. y Picardi, L. 2003. Efecto del germoplasma silvestre sobre caracteres de interés agronómicos en híbridos intra e interespecíficos del género *Lycopersicon*. *Rev. Inv. Facultad de Ciencias Agrarias* (3):13 - 21.
- Raffo, A.; Salucci, M.; Azzini, E.; Berton, E.; Quaglia, G. B.; Fogliano, V.; Graziani, G.; y La Malfa, G. 2003. Nutritional characteristics of greenhouse cherry tomatoes. *Acta Hort.* 19:11 - 19.
- Razdan, M. K. y Mattoo, A. K. 2007. Genetic Improvement of *Solanaceous* Crops, Tomato. Published by Science Publishers, Enfield, NH, EE.UU. 2:646.
- Rodríguez, A. 1999. Antioxidantes. El mundo. Suplemento de salud. 326:1-2 [En línea] Disponible en: <http://www.elmundo.es/salud/1999/326/02184.html> [Fecha revisión: Agosto 19 de 2012]
- Rodríguez-Amaya, D.B. 1997. Carotenoides y preparación de alimentos. La retención de los carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados. Departamento de Ciencias de Alimentos. Universidad Estatal de Campinas-Brasil. Pp. 32
- Rosales, M. 2008. Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cereza cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: Respuestas metabólicas y fisiológicas. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Facultad de ciencias. Granada, España. 231 p.
- Roselló, S.; Galiana-Balaguer, L. y Nuez, F. 2000. Sources of high soluble solid and vitamin C content from *Lycopersicon pimpinellifolium* interesting in breeding for internal quality of fresh market tomato. *Tomato Genetics Cooperative Report (TGCR)* 50:30 - 33.
- SAS. 1992. In: SAS Institute Cary, N.C. EEUU. Version 9.0.
- Uresti, R.; García, M. A.; Resendiz, Z, Bustos, G.; Basanta, R.; Padron, E.; Mata, H.; y Cervantes, J. 2007. Cultivo de tomate cereza en sistema hidropónico. Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) *Rev. Digital Universitaria* 2(3):1 - 2.
- Urrestarazu, G. M. 2004. Tratado del cultivo sin suelo. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Valcárcel, G. M. 2009. Optimización del proceso de evaluación y selección de germoplasma de tomate por características de calidad organoléptica: Uso de la tecnología NIR y sensores electrónicos. Tesis Doctoral. Escola Superior de Tecnologia e Ciències Experimentals. Departament de Ciències Agràries i del Medi Natural. Universitat Jaume I de Castellón. 201 p.
- Wheeler, G. L.; Jones, M. A.; y Smirnov, N. 1998. The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants. *Nature* 393:365 - 369.
- Zambrano, J.; Moyeja J.; y Pacheco, L. 1995. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. *Agron. Trop.* 46:61 - 72.
- Zaror, P. A. 1996. Evaluación de la productividad y la calidad del tomate cherry (*Lycopersicum esculentum* Mill. var. *cerasiforme*) cultivado en el sistema nutriente film technique (NFT). *Memorias de Agronomía. Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca -Chile.* Pp. 56 - 59.