

Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)[•]

Importance, contribution and stability of antioxidants in fruits and products of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

Luna-Guevara, M. L.^{1*} y Delgado-Alvarado, A.²

¹Universidad Autónoma de Puebla-Colegio de Ingeniería en Alimentos
Puebla, Puebla; México.

²Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas - Campus Puebla
Puebla, Puebla; México.

*Correspondencia: maria.luna@correo.buap.mx

[•]Estudio de revisión

Resumen

Los antioxidantes (AA) son compuestos capaces de inhibir o retardar la oxidación, mediante la “captación” de radicales libres; también estabilizan hidroperóxidos o inactivan el oxígeno singlete. Los frutos de tomate han sido considerados una fuente importante de AA “nutricionales” (vitaminas A, C y E) y AA “fitoquímicos no nutritivos” (licopeno, flavonoides, flavonas y compuestos fenólicos totales), cuyo consumo está relacionado con su potencial antimutagénico y propiedades anticancerígenas. Las condiciones ambientales durante el cultivo como: intensidad de luz, pH del suelo, frecuencia de riego, tipo de fertilización, pueden afectar la composición química del fruto. Asimismo, durante la maduración del tomate, se inducen varios cambios metabólicos relacionados con la biosíntesis de compuestos, incluyendo el licopeno y otros carotenoides. También se ha demostrado que ciertas operaciones de manejo post cosecha y procesamiento del tomate (cortado, empacado y almacenado) pueden alterar la concentración de micronutrientes (vitaminas y minerales) y de compuestos AA. De acuerdo

Abstract

Antioxidants (AAs) are compounds capable of inhibiting or retarding oxidation by scavenging free radicals, stabilizing hydroperoxides or inactivating singlet oxygen. Tomato fruit has long been considered an important source of both nutritional (vitamins A, C and E) and non-nutritional (lycopene, flavonoids, and phenolic compounds) AAs with potential antimutagenic and anticarcinogenic properties. Environmental conditions during growing such as light intensity, soil pH, irrigation frequency and fertilizer application affect the chemical composition of tomato. Also, metabolic changes during ripening are related to the biosynthesis of lycopene and other carotenoids. Moreover, it has been proved that postharvest handling and processing (cutting, packaging and storage) of tomato affect both micronutrients (vitamins, minerals) and AA concentration. According to the above mentioned, this review will address the importance of understanding those pre and postharvest factors affecting AA content in tomatoes. Also, this review will emphasize the stability of phytochemicals contained in fruits

con los antecedentes mencionados, en la presente revisión se abordará la importancia de conocer los factores pre y post cosecha que afectan el contenido de AA en el tomate; asimismo, se destacará la estabilidad de los compuestos fitoquímicos contenidos en frutos sometidos a diferentes condiciones de procesamiento. Esta información resulta útil para la industria de los alimentos, además de fomentar el consumo de compuestos funcionales.

Palabras clave

Propiedades funcionales, composición química, carotenoides, licopeno, efectos del procesamiento, condiciones pre y post cosecha.

subjected to different processing conditions; this information is useful for the food industry as well as for promoting the consumption of functional compounds.

Keywords

Functional properties, chemical composition, carotenoid, lycopene, processing effects, pre and postharvest conditions.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es considerado uno de los principales cultivos a nivel mundial, debido a su elevado potencial alimenticio (FAOSTAT, 2006); además, posee altos contenidos de licopeno, vitaminas C y A y flavonoides (Willcox *et al.*, 2003). Actualmente estos compuestos son considerados como “antioxidantes”, ya que se encuentran asociados con la prevención de enfermedades de tipo carcinogénicas y cardiovasculares (Ramandeep y Geoffrey, 2005; Juroszek *et al.*, 2009). Particularmente, el licopeno y el β -caroteno junto con la clorofila, pertenecen al grupo de pigmentos responsables de la coloración del tomate, durante los diferentes estadios de madurez. Específicamente, en el proceso de maduración las clorofilas se degradan y se sintetizan los carotenoides, los cuales le confieren al tomate la coloración anaranjada tenue que culmina en un rojo intenso. Estos pigmentos influyen en la percepción de frescura del tomate que, junto con la textura y el color, son los atributos de calidad más importantes (Liu *et al.*, 2009).

Además, la maduración del tomate involucra una serie de cambios cualitativos y cuantitativos de la composición química del fruto en el que participan ácidos orgánicos, azúcares solubles, aminoácidos, pigmentos y alrededor de 400 compuestos volátiles que determinan el sabor y el aroma del fruto (Petro-Turza, 1987).

Estas variaciones en el contenido y composición química del tomate están relacionados con la variedad, grado de madurez, prácticas de cultivo, condiciones de temperatura y luminosidad, existentes durante la producción y comercialización del fruto (Binoy *et al.*, 2004; Abushita *et al.*, 2000).

También es importante mencionar que estos compuestos pueden sufrir alteraciones de tipo químico, durante las operaciones unitarias correspondientes al procesamiento y diferentes etapas de almacenamiento del fruto. De ahí que en la industria alimentaria existe un amplio interés por los antioxidantes presentes y adicionados a los alimentos;

donde, específicamente, el tomate es ampliamente utilizado como materia prima en la producción de jugos, purés y salsas, entre otros productos (Hernández *et al.*, 2007).

La presente revisión considera la importancia de conocer las propiedades funcionales, biosíntesis y condiciones que afectan el contenido de antioxidantes durante la producción y procesamiento del fruto del tomate.

Importancia de los antioxidantes en la prevención de enfermedades

Existen evidencias epidemiológicas que sugieren que el consumo regular de vegetales y frutas trae consigo numerosos beneficios a la salud; entre ellos, se encuentran la reducción de riesgos por contraer enfermedades de tipo cancerígeno, estimulación del sistema inmune, mejora en el metabolismo del colesterol, propiedades antivirales y antimicrobianas, entre otros (Ortega *et al.*, 2004).

Particularmente, compuestos como polifenoles, vitamina C, Vitamina E, β -caroteno y otros carotenoides son reportados como antimutágenos, anticarcinógenos y son referidos como vitaminas “antioxidantes”. Específicamente, el β -caroteno, es considerado como la provitamina A; se conoce que inhibe el daño celular a nivel de ADN causado por especies reactivas al oxígeno y radicales libres, los cuales pueden dar lugar a enfermedades de tipo crónico degenerativas (Brecht *et al.*, 2004).

Baynes (2007) considera que las especies reactivas al oxígeno (ERO o ROS, por sus siglas en inglés) son producidas naturalmente como resultado de las reacciones de la fosforilación oxidativa. Las ERO más comunes son los aniones superóxidos (O_2^-), radical hidroxilo (OH^\cdot), radical hipoclorito (OCl^-), radical libre óxido nítrico (NO^\cdot), peróxido de hidrógeno H_2O_2 y oxígeno singulete 1O_2 .

Las estructuras químicas y mecanismos de acción de los compuestos antioxidantes llegan a ser muy variados. Así, los antioxidantes pueden ser moléculas capaces de neutralizar los radicales libres aceptando o donando electrones para eliminar la condición desapareada del radical. Inclusive, las moléculas antioxidantes pueden reaccionar directamente con los radicales reactivos y destruirlos, aunque también puedan convertirse en nuevos radicales libres que son menos activos, de vida más larga y menos peligrosos que los radicales que neutralizaron (Jian-Ming *et al.*, 2010).

Matkowski *et al.* (2008) definen a los antioxidantes como aquellos compuestos “capaces de inhibir o retrasar la oxidación de sustratos, incluso en una concentración significativamente menor que el sustrato oxidado”.

Se estima que una molécula de β -caroteno puede reaccionar captando hasta 1,000 moléculas de oxígeno singulete. También se sabe que los carotenos son capaces de captar radicales peroxilo a través de la adición de este radical a sistemas conjugados; de tal forma, que el radical se estabiliza por resonancia. Cuando la concentración de oxígeno es baja se adiciona un segundo radical peroxilo, para producir un producto final no radical (García-García, 2004).

Otro antioxidante, la vitamina C, está presente en frutas y verduras en forma de ácido L-ascórbico y ácido dehidroascórbico. El ascorbato es, probablemente, el antioxidante hidrosoluble más efectivo presente en el plasma, capaz de atrapar y reducir nitritos; inhi-

biendo, por tanto, la formación en el estómago de compuestos carcinogénicos N-nitrosos (Loannidi *et al.*, 2009).

Los estudios *in vitro* sugieren que la vitamina C ejerce un papel protector contra el daño oxidativo de los constituyentes celulares y lipoproteínas circulantes. Las pruebas epidemiológicas son consistentes del efecto protector de la vitamina C contra el cáncer de estómago, faringe y esófago (Johnston, 2001). Además, se ha demostrado que el ácido ascórbico es un aceptor de radicales muy efectivo frente a superóxidos, peróxido de hidrógeno, hipoclorito, radical hidroxilo, radical peroxilo y oxígeno singulete (Yanishlieva-Maslarova, 2001).

Adicionalmente a la importancia de consumo de tomate en la dieta diaria, se le ha asociado con la reducción de algunas enfermedades; actualmente se considera que estas propiedades benéficas a la salud se deben al contenido de ciertos compuestos conocidos como “bioactivos” o “fitoquímicos”.

Los mecanismos de acción de estos compuestos, pueden ser complementarios con la modulación de enzimas detoxificantes, estimulación del sistema inmune, reducción de la agregación plaquetaria, modulación de la síntesis de colesterol, reducción de la presión sanguínea, efectos antioxidantes y antimicrobianos, entre otros (Fernández-Ruiz *et al.*, 2007).

Entre las principales moléculas bioactivas presentes en el tomate se encuentran los carotenoides, donde especialmente la ingesta de ciertas cantidades de licopeno está asociada con reducir el riesgo de cáncer de próstata, páncreas y estómago (Clinton, 1998; Gerster, 1997). De acuerdo con Shi y Marc (2000), 20 mg diarios de licopeno son suficientes para evitar esas enfermedades; debido a estas propiedades el licopeno es considerado un “antioxidante”.

Cruz-Bojórquez *et al.* (2013) mencionan que el licopeno además de encontrarse en los alimentos, se encuentra principalmente en suero humano y en tejidos de hígado, riñón, glándulas renales, testículos, ovarios y próstata, su concentración depende de su ingesta alimentaria.

También se considera que el tomate contiene otros antioxidantes “nutricionales”, como las vitaminas A, C y E; además de antioxidantes “fitoquímicos no-nutritivos”, como el β -caroteno, flavonoides, flavonas y compuestos fenólicos totales, entre otros (Havsteen, 1983; Takahama, 1985; Wang *et al.*, 1996; Matkowski, 2008).

Los carotenoides existen principalmente en forma del isómero E o trans, donde ciertos factores —como el calor, la luz y el oxígeno— tienen un efecto sobre la isomerización y autooxidación, reduciendo la concentración de este compuesto.

Compuestos antioxidantes presentes en el tomate

Los tomates son ricos en vitaminas A y C, β -caroteno y licopeno (Mangels *et al.*, 1993), aunque otros carotenoides también están presentes, como α y β -criptoxantina, α -caroteno, γ caroteno, ζ caroteno, neurosporeno, fitoeno, fitoflueno, ciclo licopeno y 5,6 epóxido β -caroteno (Carrillo *et al.*, 2010).

El α caroteno, β -caroteno y la β criptoxantina tienen actividad pro-vitamina A y son convertidos a retinal en los mamíferos (Burns *et al.*, 2003).

Los minerales y la vitamina C son nutrientes presentes en el tomate que pueden variar de acuerdo con las condiciones de cultivo; por ejemplo, frutos cultivados en hidroponía contienen más Ca y vitamina C que los cultivados en sistemas orgánicos; mientras que los contenidos de P y K son más estables a las condiciones de cultivo (Guil-Guerrero y Reboloso-Fuentes, 2009).

También, el contenido de antioxidantes en el tomate puede variar de acuerdo con la ubicación en el fruto. Al-Wandawi *et al.* (1985) reportaron que el pericarpio del tomate contiene los niveles más altos de antioxidantes en comparación con la pulpa y las semillas. Algunos ejemplos de estos antioxidantes en el pericarpio son, principalmente, flavonoides, compuestos fenólicos y ácido ascórbico. Mientras que las semillas contienen aminoácidos esenciales y minerales (Fe, Mn, Zn y Cu), así como ácidos grasos monoinsaturados, como el oleico (Steward *et al.*, 2000; Toor y Savage, 2005).

Entre los principales flavonoides se encuentran la chalcona, naringenina, rutina y quercetina glicósido (Bovy *et al.*, 2002). Lo anterior resulta importante debido a que durante el cocinado o procesado del fruto, con frecuencia se retiran tanto la piel como las semillas, ocasionándose una pérdida en los beneficios nutricionales adjudicados al consumo del tomate. Mientras que Steward *et al.* (2000) consideran como principales flavonoides a la quercetina conjugada y al kaempferol, en concentraciones de 13.8 ± 0.6 mg y 0.48 ± 0.03 mg por 100g de fruto fresco (FF) de tomate.

Por otra parte, en frutos de estadio maduro los niveles máximos de carotenoides totales y licopeno se encuentran en los tejidos más externos como el exocarpo y mesocarpo, disminuyendo considerablemente la concentración de estos pigmentos en los tejidos más internos, como columela y mucílago (López-Casado *et al.*, 2003).

Igualmente, los contenidos de vitaminas "antioxidantes" varían de forma notoria en el tomate; así, la vitamina C es la más abundante (22-48 mg/100 g FF) seguida de la vitamina E, principalmente α -tocoferol en semillas, desde 0.1 mg a 3.2 mg/100g FF. Otras vitaminas, como la tiamina 0.07g, riboflavina 0.04mg, niacina 0.9mg, vitamina B6 0.13mg, están presentes en 100g de porción comestible (Steward *et al.*, 2000).

Factores que influyen en la composición química

En general, se considera que las condiciones ambientales y de cultivo en frutas y hortalizas determinan en gran medida el contenido de nutrientes; entre algunos de ellos se encuentran: la intensidad de luz, pH del suelo, frecuencia de riego, tipo y momento de la fertilización. Así, por ejemplo, Ortega *et al.* (2004), consideran que la realización de un aporte temprano de nitrógeno en la producción de tomate favorece la formación de carotenos, pero si su aporte es excesivo se puede inducir un abundante desarrollo foliar, mala conservación de las raíces, disminución en el contenido de carotenos y un aumento de nitratos.

Raffo *et al.* (2006) realizaron investigaciones similares para identificar el efecto de la radiación fotosintética e influencia de temperatura sobre el contenido de antioxidantes. Con sus investigaciones se concluyó que las variaciones en los compuestos antioxidantes

en tomates cherry (cv Naomi F1) cultivados en condiciones de hidroponía y cosechados en diferentes épocas del año, presentaron —en ciertas estaciones, como el verano— una reducción significativa en el contenido de licopeno; sin embargo, se observó una acumulación relativamente alta en los niveles de otros antioxidantes como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos y carotenoides.

Actualmente se han estudiado cultivares de tomate con diferentes coloraciones (rojos, púrpuras, naranjas, rosas y amarillos), los cuales difieren no solamente en su composición de compuestos carotenoides, sino también en su actividad antioxidante. Específicamente, los tomates amarillos presentaron bajos contenidos de licopeno y altos de luteína, además de una baja actividad antioxidante, en comparación con los frutos rosas, rojos y púrpuras; los cuales, mostraron un incremento en su actividad antioxidante relacionada, en gran parte, con su contenido de licopeno (Li *et al.*, 2013).

También, la composición química del fruto de tomate puede verse afectada por los sistemas utilizados durante su producción. Al respecto, Lippert (1993) considera que los sistemas hidropónicos comparados con los sistemas en suelo en invernaderos, pueden mantener contenidos más altos de ácido ascórbico. Weibel *et al.* (2000) y Heaton (2001), señalan que los cultivos orgánicos contienen un mayor contenido de vitaminas, minerales y, en general, de antioxidantes en comparación con los sistemas de cultivo tradicionales.

a) *Influencia del estado de madurez*

La composición de antioxidantes presente en tomate se encuentra determinada por el proceso de *maduración del fruto*; en este fenómeno bioquímico se condicionan cambios metabólicos, modificaciones de aspecto y atributos de calidad. En las alteraciones metabólicas se inducen cambios en los contenidos de las clorofilas y carotenoides. Donde, generalmente, el curso de ambos compuestos (dentro y fuera de la planta) consiste en que las clorofilas son degradadas y se desencadena el proceso de carotenogénesis, que consiste en incrementar el contenido de carotenoides; en específico, de licopeno, el cual se encuentra directamente relacionado con el grado de madurez del fruto (Solovchenko *et al.*, 2005).

Durante el inicio del proceso de madurez, los cloroplastos están completamente saturados de clorofila, localizada en las granas; en especial, en las laminillas, formando un conglomerado esférico en forma de cristales unidos a lípidos, lipoproteínas, proteínas y a veces carotenoides (Bartley y Scolnik, 1995). La transición a los diferentes estados de madurez se denota por el cambio de coloración, dando como resultado el cambio de cloroplastos a cromoplastos.

Asimismo, la maduración es un proceso complejo y genéticamente programado que puede resultar en modificaciones considerables del fruto en color, textura, olor, sabor y aroma (Giovannoni, 2004).

Parte de los cambios relacionados con la maduración se encuentran determinados por la velocidad respiratoria de los frutos, la cual puede considerarse como un índice de los cambios de composición. A mayor velocidad respiratoria, mayores cambios en la composición; el episodio respiratorio en el cual la maduración del fruto culmina fuera de la planta y conviene recolectarlos antes de su maduración se conoce como climaterio; un ejemplo de frutos climatéricos es el tomate. De ahí que con relación al proceso de

maduración, Ortega *et al.* (2004) definieron la siguiente clasificación para la recolección del fruto del tomate:

- *Madurez de consumo*: momento en el que se alcanzan las mejores características organolépticas y el fruto es más adecuado para su consumo.
- *Madurez comercial*: momento en que la fruta debe ser colectada y, en general, es un periodo anterior a la madurez gustativa o de consumo.
- *Madurez fisiológica*: cuando las semillas del fruto han evolucionado lo suficiente para que sean viables.

De acuerdo con la relación del grado de madurez y el contenido de antioxidantes, se estima que en un tomate maduro el contenido de licopeno oscila entre el 80-90% de los carotenos totales; siendo, además, el que presenta un mayor efecto protector en contra de los radicales libres (Hadley *et al.*, 2002; Voutilainen *et al.*, 2006); mientras que los tomates cosechados en estadios de madurez verdes tienen bajos contenidos de licopeno.

Los diferentes estadios de madurez (verdes, amarillos, rojo claro y rojo) se relacionan con la composición de compuestos antioxidantes; así, por ejemplo, la luteína se mantiene constante en las dos primeras etapas; mientras que el β -caroteno se incrementa en tomates amarillos (Böhn, 2004).

Abushita *et al.* (1997) analizan los contenidos de ácido ascórbico, β -caroteno y tocoferoles en tomates y mencionan que los contenidos de ácido ascórbico son más altos en frutos verdes y se reducen conforme la maduración de los frutos. En contraste β -caroteno, α y β tocoferoles se incrementan con la madurez; mientras que los γ - tocoferoles presentan los mayores contenidos en frutos amarillos. Johnston *et al.* (2001) reportan las variaciones en diferentes tipos de xantofilas y carotenoides durante los estados de maduración del tomate (cuadro 1).

Cuadro 1
Contenidos de compuestos carotenoides y xantofilas
en los diferentes estadios de maduración del tomate.

<i>F</i>	<i>Carotenoides</i> <i>FF</i>	ζ C	<i>L</i>	γ C	β C	<i>Lut</i>	<i>Xantófilas</i> <i>Viola</i>	<i>Neo</i>	<i>Total</i>
<i>Madurez: Verde</i>									
0	0	0	0.1	0	2.1	4.7	1.7	1.5	10.1
<i>Madurez: Corte</i>									
1.9	0	0	3.7	0.4	5.6	1.5	0.4	1.1	15.9
<i>Madurez:24ddc</i>									
40.9	22.2	7.5	10.5	11.3	36.8	6.4	2.3	6.4	207

F: fitoeno, FF: Fitoflueno; ζ C: ζ caroteno; L: licopeno; γ C: γ carotenos; β C: β carotenos; Lut: Luteína; Viola: Violaxantina; Neo: Neoxantina; ddc: días después del corte; contenidos reportados en μ g/g de peso en fruto fresco.

b) Influencia de las condiciones ambientales

Los factores varietales y ambientales pueden incidir sobre la composición química del tomate (Abushita *et al.*, 1997). Se han encontrado diferencias consistentes en las concentraciones de licopeno de tomates de diversas variedades que, de acuerdo con las condiciones ambientales, como la temperatura e intensidad de luz, influyen directamente sobre la desnaturalización o acumulación de licopeno. Específicamente, los precursores del licopeno son inhibidos a temperaturas por debajo de 12°C y por encima de 32°C; el intervalo más favorable para la producción de licopeno se encuentra entre 22 y 25°C.

Adicionalmente a las condiciones de temperaturas, las humedades extremas también influyen reduciendo los contenidos de licopeno. De acuerdo con Nguyen y Schwartz (1999), el licopeno es susceptible a la oxidación por su exposición a la luz y pH extremos, presentando una mayor estabilidad en la matriz del tomate.

Los fertilizantes con diferentes proporciones de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) también muestran un incremento en las concentraciones de licopeno (Zhang *et al.*, 2006). Particularmente, Haukioja *et al.* (1998) señalan que cuando la disponibilidad de N es limitada, se puede afectar el balance de C/N en las plantas y se limitan también procesos metabólicos, incluyendo metabolitos secundarios, como compuestos fenólicos y terpenoides. También se considera que la biosíntesis de los carotenoides se encuentra altamente influenciada por la intensidad de luz solar; así, en sistemas de cultivo con sombra, puede verse afectado el contenido de licopeno, lo mismo en sistemas en cielo abierto, donde los frutos son expuestos a altas temperaturas.

Por otra parte, Merzlyak y Solovchenko (2002) consideran que las clorofilas pueden influir sobre la degradación de algunos carotenoides durante su exposición a la luz; es decir, los carotenoides pueden presentar una mayor estabilidad a la luz en ausencia de estos pigmentos. Particularmente, López *et al.* (1996) señalan que las limitaciones de azufre en plantas de tomate pueden afectar el color y causar alteraciones en el proceso fotosintético, inhibiendo, en específico, la biosíntesis de licopeno.

Paralelamente, en un estudio realizado por Hamazu *et al.* (1998) se evaluó el efecto de la temperatura (20, 30 y 35°C) en un periodo de cinco a diez días de almacenamiento post cosecha de tomate, detectándose que el contenido de licopeno se vio incrementado a 20°C; mientras que las concentraciones de β -caroteno fueron más altas, a 35°C.

Con relación al contenido de ácido ascórbico, Juroszek *et al.* (2009) y Marfil *et al.* (2008), encontraron diferencias significativas: desde 20.83 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FF hasta valores de 31.13 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FF, de acuerdo con la variedad de cultivo, contenido de humedad y temperatura detectados en los sistemas de producción. Dumas *et al.* (2003) reportan que, al haber una mayor exposición de luz sobre los frutos, se favorece la acumulación de ácido ascórbico.

De acuerdo con lo reportado por Ferrer-Dubois *et al.* (2013), una buena alternativa para incrementar el contenido total de compuestos polifenólicos y flavonoides, puede presentarse en frutos de tomate irrigados con agua magnéticamente tratada (MTW); este hallazgo tiene particular importancia desde el punto de vista nutricional y clínico, directamente relacionados con el consumo de tomate.

Influencia del procesado sobre los compuestos antioxidantes presentes en el tomate

La segunda función que tienen los compuestos antioxidantes es impartirles el color característico a frutas y vegetales; de ahí la importancia de estudiar aquellos procesos que permitan mantener los contenidos de compuestos carotenoides, garantizando la calidad nutricional, funcional y sensorial de los productos. Toor y Savage (2005) consideran al licopeno, flavonoides, compuestos fenólicos, vitaminas C y E, como responsables de la actividad antioxidante de tomates tanto crudos como procesados.

Se sabe que el contenido de carotenoides totales muestra una reducción en tomates deshidratados, en polvo o puré (Heredia *et al.*, 2007). Dichos contenidos pueden estar presentes en el pericarpio de frutos o tallos y llegan a contener cierta cantidad de clorofilas; las cuales pueden influir sobre la isomerización y degradación de los carotenoides durante el almacenamiento.

También, se ha demostrado que durante el procesado de vegetales en ciertas operaciones—como el cortado, condiciones de manejo, empaclado y almacenamiento— se reducen las concentraciones de algunas vitaminas, minerales y fitoquímicos. La pérdida de nutrientes puede presentarse como consecuencia de la ruptura de tejidos, además de asociarse con la inducción en la biosíntesis de varios compuestos que pueden afectar el contenido de antioxidantes y la calidad del producto. Por ejemplo, la síntesis de etileno después de las operaciones de cortado, pueden estimular una serie de respuestas fisiológicas incluyendo la pérdida de vitamina C y clorofilas, así como favorecer el metabolismo de algunos compuestos polifenólicos (Brecht *et al.*, 2004).

En el cuadro 2 se comparan los contenidos de ácido ascórbico en fruto fresco y en etapas correspondientes al procesamiento del tomate, donde las trituraciones con calentamiento (“hot-break”) y evaporación al vacío producen pérdidas del 38% y 16%, respectivamente.

Las diferencias entre los contenidos de ácido ascórbico en cada etapa permite considerar, a este compuesto, como un índice de degradación oxidativa, la cual es producida durante el almacenamiento y/o cocción del tomate (Abushita *et al.*, 2000).

Otros reportes asumen que los compuestos fenólicos contenidos en vacuolas de frutas y vegetales incrementan su concentración durante el procesamiento de estos productos. Lo anterior se debe a que se acelera el rompimiento celular y se favorece la desnaturalización de enzimas de tipo oxidativo e hidrolítico capaces de degradar los compuestos fenólicos (Rolle y Chism, 1987).

Cuadro 2

Contenido de ácido ascórbico presente durante el procesamiento de tomate.

<i>Etapas de procesamiento</i>	<i>Contenido de ácido ascórbico[†]</i>
Fruto fresco	3.17
Trituraciones con calentamiento	1.96
Pasta de tomate	1.45

[†]mg/g de materia seca.

Los carotenoides (licopeno, caroteno, xantofilas) responsables de los colores rojo, naranja y amarillo del tomate, así como los de acción vitamínica (como el α y β caroteno y la criptoxantina), se consideran estructuras estables al calor durante el procesamiento y cocción; sin embargo, al ser estructuras altamente insaturadas son especialmente susceptibles a la oxidación (Ortega *et al.*, 2004). Particularmente, el contenido de licopeno es más estable en tomates que han sido almacenados a temperaturas de congelación y, posteriormente, son sometidos a un tratamiento al término de la esterilización.

Adicionalmente, se sabe que 80% del licopeno proviene del consumo de tomate crudo o de productos derivados, tales como jugos y salsas para espagueti o pizza. Por ejemplo, el consumo de tres vasos de jugo diarios provee 40 mg de licopeno, concentración asociada con la reducción efectiva del colesterol LDL. También se ha demostrado que el licopeno es capaz de reducir el estrés oxidativo y la inflamación intestinal en animales de laboratorio, comprobándose las propiedades funcionales de este compuesto (Mahajan *et al.*, 2009; Carrillo *et al.*, 2010).

En el cuadro 3, se presentan los diferentes contenidos de antioxidantes, como licopeno, vitaminas C y E y folatos, en productos como salsa y pasta de tomate con relación a los alcanzados en fruto fresco (Riso *et al.*, 2004).

Cuadro 3

Contenidos de compuestos antioxidantes en fruto fresco y productos de tomate.

Antioxidante	Fruto Fresco	Producto	
		Salsa	Pasta
Licopeno	1.5 – 5.6	6.5 – 19	51 – 59
Vitamina C	19 – 25	13	42
Vitamina E	0.4	1.4	4.2
Folatos	15	9	22

Contenidos reportados de Licopeno, Vitamina C y E en mg/100g y Folatos en μ g/100g.

De acuerdo con lo reportado por Dewanto *et al.* (2002), los tratamientos térmicos pueden incrementar el contenido de fitoquímicos en la matriz del tomate y, además de inducir la isomerización de *trans* a *cis*. Lo anterior se debe a que los incrementos en la temperatura favorecen el rompimiento de las paredes celulares y enlaces entre licopeno y el tejido de la matriz, lo que vuelve más accesible este compuesto y enfatiza la isomerización *cis* (Chang y Liu, 2005).

La biodisponibilidad de los isómeros *cis* en los alimentos es mayor que la de los isómeros *trans*, además de incrementarse en productos de tomate en comparación con frutos no procesados (Shi y Marc, 2000).

Otro aspecto que mejora la biodisponibilidad del licopeno es la sinergia que se produce con otros antioxidantes, tales como las vitaminas E y C. Posterior a la ingesta, el licopeno se incorpora dentro de las micelas de los lípidos que forman parte de la dieta y se absorbe por difusión pasiva en la mucosa intestinal, donde se incorpora a los quilomicrones; y luego se libera, para ser transportado por las lipoproteínas de baja y muy baja densidad, a través del sistema linfático (Cruz-Bojórquez *et al.*, 2013).

Biosíntesis de compuestos carotenoides

Específicamente, los carotenoides son sintetizados a partir de cuatro moléculas de isopentenil pirofosfato (IPP) y una de C5 prenilfosfato que, a su vez, es sintetizada en los plástidos por la ruta de 2-C-metil-D-eritritol 4-fosfato (MEP). Se ha demostrado que los patrones de expresión de transcritos y proteínas de la ruta MEP, se acumulan principalmente en tejidos fotosintéticos y durante el desarrollo temprano de la plántula.

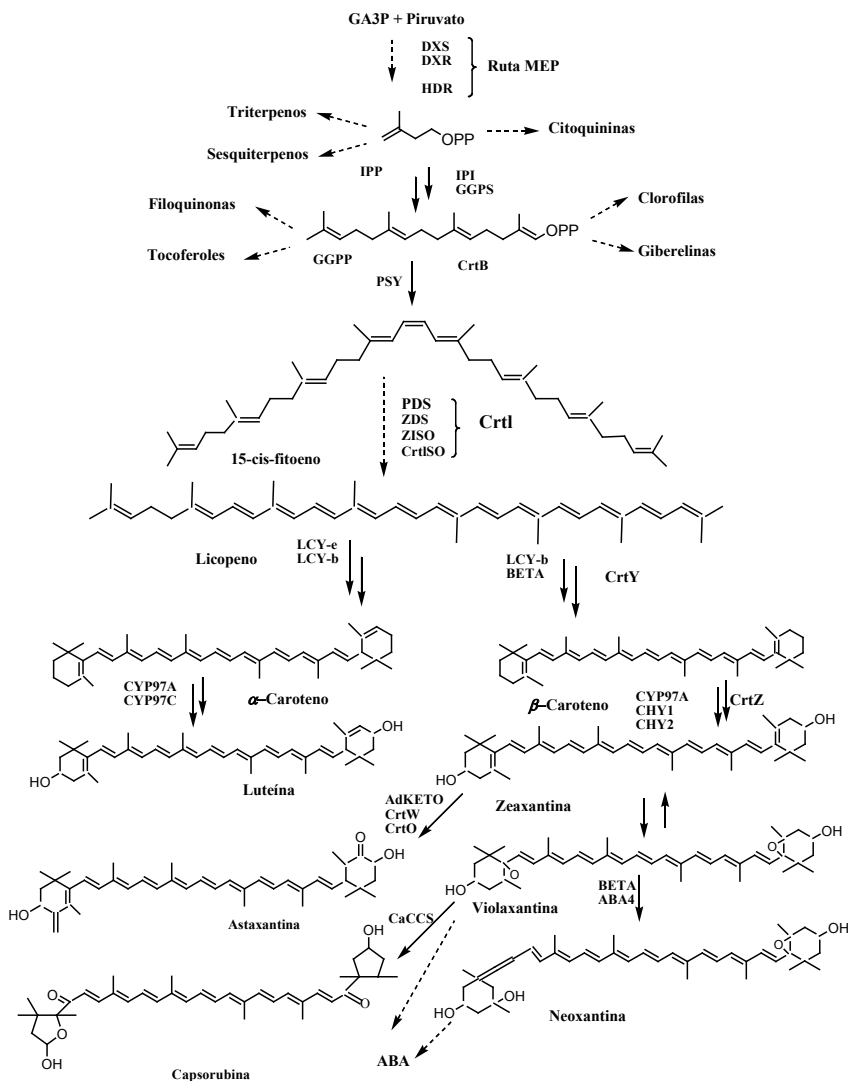
Es probable que estos patrones de expresión respondan a la alta demanda de pigmentos (clorofilas y carotenos) que se requieren para el establecimiento de los complejos fotosintéticos durante el desarrollo temprano de las plantas. También se considera que la expresión de los genes de la vía MEP se modula por distintas señales externas e internas, como son la luz y niveles de azúcares (León *et al.*, 2007).

Las moléculas de isoprenoides son convertidas a geranil geranildifosfato (GGPP) con C20, las enzimas que participan son la isopentildifosfatoisomerasa (IPI) y la geranil geranildifosfatosintetasa (GGPS). Se realiza la condensación de dos moléculas de GGPP por medio de la fitoensintetasa (PSY) en plantas; mientras que para bacterias es fitoensintetasa bacteriana (CrtB), produciendo 15 *cis* fitoeno, el cual es convertido a licopeno por la acción de dos enzimas desaturasas: la fitoendesaturasa en plantas (PDS) y la zeta-caroteno desaturasa (ZDS). Con esta ruta se producen compuestos poli-*cis* que son convertidos en *trans* a través de la acción de las carotenoides isomerasas CrtISO y ZISO.

Posteriormente, el licopeno es el sustrato de dos ciclasas la ϵ ciclasa y la β ciclasa (LCY-e y LCY-b), las cuales actúan juntas en la parte final de la molécula para permitir la formación del α -caroteno, mientras que la β ciclasa (LCY-b) actúa sola también para la síntesis del β caroteno. Mientras que la BetaLCY-b es responsable de la formación de anillos β en los cromoplastos de los tomates. Posteriormente, los α y β carotenos son hidroxilados por la no-hemocarotenohidroxilasas (CHY1 y CHY2) y las citocromo P450 caroteno hidroxilasas (CYP97A y CYP97C), en las flores de tomate la CHY1 es la principal β hidroxilasa (Galpaz, 2006). La CYP97C se encarga de la hidroxilación de los anillos ϵ de la luteína.

Las beta xantofilas pueden ser epoxi o desepoxidadas por medio de las enzimas zeaxantinaepoxidasa (ZEP) y la violaxantina des-epoxidasa (VDE), manteniendo el ciclo de las xantofilas. Se sugiere que la síntesis de la neoxantina sea controlada por una paróloga a la β ciclasa la BETA ABA4 a partir de la violaxantina (figura 1).

Figura 1
Ruta de síntesis de compuestos carotenoides.



Fuente: Giuliano *et al.* (2008).

Durante el metabolismo de algunos carotenoides especializados —como la capsorubina, un cetocarotenoide— se sintetizan a partir de la violaxantina a través de la acción de las capsantina-capsorubinasintetasa (CSS). Se ha encontrado que en ciertos organismos marinos la astaxantina es sintetizada por las enzimas cetolasas, CrtW, CrtO y AdKETO (Giuliano *et al.*, 2008). Finalmente, se relaciona la producción de ácido abscísico (ABA) a partir de Viola y Neoxantina, específicamente en tomate. Galpaz (2008) reporta que existe una

relación inversa entre los niveles de ABA y el número de plástidos, en mutantes deficientes de ABA (*flacca*, *sitiens* y *hp3*) y se presenta un incremento en los niveles de licopeno.

La ingeniería genética de los carotenoides en tomate tiene como principales líneas de investigación: incrementar los niveles de licopeno, β -caroteno y xantofilas. Para mejorar los niveles de licopeno se ha trabajado en la sobreexpresión de los genes tempranos, tales como *CrtB* y *DXS*, en el silenciamiento de ciertos genes involucrados en la síntesis de *LCY-b* o *BETA*, las cuales utilizan al licopeno como sustrato; y, finalmente, sobre la expresión de ciertos genes codificantes de proteínas que se unen directamente a los carotenoides (Simkin, 2007).

De igual manera, El-Gaied *et al.* (2013) estudiaron el efecto de ciertos biorreguladores, como el ácido naftaleno acético (NAA), ácido indol 3-acético (IAA) y ácido indol 3-butírico (IBA) acerca de la sobre producción de ciertos compuestos antioxidantes y concluyeron que NAA e IBA estimularon considerablemente la producción de ácido ascórbico en plantas de tomate.

Otra de las aportaciones de la ingeniería genética se relaciona con las investigaciones realizadas en una nueva variedad de tomate (*purple tomato V118*), el cual ha sido caracterizado mediante análisis fitoquímicos (Li *et al.*, 2011). Entre las propiedades antioxidantes evaluadas se analizaron los contenidos de carotenoides y compuestos fenólicos totales, obteniéndose mayores concentraciones de antocianinas, principalmente relacionadas con acil-glicósidos, petunidina y malvidina. Estos estudios mostraron que actualmente se están desarrollando frutos cuya composición fitoquímica refleja un potencial benéfico por su ingesta, mismo que puede ser utilizado como una medida de prevención no farmacológica para diferentes tipos de enfermedades.

Conclusiones

El consumo regular de vegetales incluyendo el tomate está asociado con numerosos beneficios a la salud, como la prevención enfermedades de tipo crónico-degenerativas y cardiovasculares. Los responsables de estas propiedades en los frutos, son los compuestos antioxidantes que comprenden al licopeno, flavonoides, fenoles y vitaminas como C y E. El contenido y estabilidad de estos compuestos depende del cultivar o de la variedad utilizada, condiciones ambientales de cultivo, estado de maduración del fruto y tratamientos post-cosecha como son escaldado, cortado, empacado y refrigeración. Asimismo, existen diferencias en la estabilidad y biodisponibilidad de los compuestos antioxidantes en los diferentes productos de tomate, esta información resulta importante para difundir el consumo de productos funcionales.

Literatura citada

- Abushita, A. A.; Hebshi, E. A.; Daood, H. G. y Biacs, P. A. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chem.* 60(2):207-212.
- Abushita, A. A.; Daood, H. G. y Biacs, P. A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *J. Agric. Food Chem.* 48(6):2075-2081.
- Al-Wandawi, H.; Abdul-Rahman, M. y Al-Shaikhly, K. (1985). Tomato processing wastes as essential raw material sources. *J. Agric. Food Chem.* 33(5): 804-807.

- Baynes, J. W. (2007). *Bioquímica médica*. Editorial Elsevier. Bioquímica Médica. España. 703pp.
- Binoy, G. K.; Charanjit, D.; Khurdiya, S. y Kapoor, H. C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem.* 84(4):45-51.
- Böhn, V. (2004). *Effects of agronomic practices and processing conditions on tomato ingredients*. Dris, R. y Jain, S. M. (Eds.). Production practices and quality assessment of food crops. Netherlands. Editorial Kluwer Academic Publishers. 285pp.
- Bovy, A.; Kemper, M.; Schijlen, E.; Pertejo, M. A. y Muir, S. (2002). High-flavonol tomatoes resulting from the heterologous expression of the maize transcription factor genes *lc* and *c1*. *Plant Cell.* 14(10):2509-2526.
- Bartley, G. E. y Scolnik, P.A. (1995). Plant carotenoids: pigments for photoprotection, visual attraction, and human health. *Plant Cell.* 7(8):1027-1038.
- Brecht, J. K.; Saltveit, M. E.; Talcott, S. T.; Schneider, K. R.; Felkey, K. y Bartz, J. A. (2004). Fresh-cut vegetables and fruits. *Hortic Rev.* 30(4):185-230.
- Burns, J.; Paul, D.; Fraser, P. y Bramley, M. (2003). Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry.* 62(2):939-947.
- Carrillo, L. A.; Yahia, E. M. y Ramírez, P. G. (2010). Bioconversion of carotenoids in five fruits and vegetables to vitamin A measured by retinol accumulation in rat livers. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 5(2):215-221.
- Chang, C. y Liu, Y. (2005). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *J. Food Eng.* 77(3):478-485.
- Clinton, S. K. (1998). Lycopene: chemistry, biology and implications for human health and disease. *Nutr. Rev.* 56(2):35-51.
- Cruz-Bojórquez, R. M.; González, G. J. y Sánchez, C. P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud de licopeno. *Nutr. Hosp.* 28(1):6-15.
- Dewanto, V.; Wu, X. Z.; Adom, K. K. y Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 50(10):3010-3014.
- Dumas, Y.; Dadomo, M.; Di Lucca, G. y Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 83(5):369-382.
- El-Gaied, L. F.; Abu El-Heba, G. A. y El-Sherif, N. A. (2013). Effect of growth hormones on some antioxidant parameters and gene expression in tomato. *GM Crops Food.* 4(1):67-73.
- FAOSTAT. (2006). *Estadísticas datos agrícolas*. <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture> (Consultada el 5 mayo de 2013).
- Ferrer-Dubois, A. E.; Leite, G. O. y Rocha, J. B. T. (2013). Irrigation of *Solanum lycopersicum* L. with magnetically treated water increases antioxidant properties of its tomato fruits. *Electromagn Biol. Med.* 1:1-8.
- Fernández-Ruiz, V.; Cámara, M. y Quintela, J. C. (2007). Ingredientes bioactivos de jitomate: el licopeno. *Nutr. Clin. Diet. Hosp.* 27(3):36-40.
- Galpaz, N. (2006). A chromoplast-specific carotenoid biosynthesis pathway is revealed by cloning of the tomato white-flower locus. *Plant Cell.* 18(8):1947-1960.
- Galpaz, N.; Wan, Q.; Menda, N.; Zamir, D. y Hirschberg, J. (2008). Abscisic acid deficiency in the tomato mutant high-pigment 3 (*hp3*) leading to increased plastid number and higher fruit lycopene content. *The Plant J.* 53(5):717-730.
- García-García, I. (2004). *El balance redox y la alimentación*. Balance antioxidante/pro-oxidante: salud y enfermedad. Cuba. Editorial Palcograf. 309 pp.
- Gerster, H. (1997). The potential role of lycopene for human health. *J. Am. Coll. Nutr.* 16(2):109-126.
- Giovannoni, J. J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *Plant Cell.* 16: S170-S180.
- Giuliano, G.; Tavazza, R.; Diretto, G.; Beyer, P. y Taylor, M. (2008). Metabolic engineering of carotenoid biosynthesis in plants. *Trends Biotechnol.* 26(3):139-145.
- Guil-Guerrero, J. L. y Reboloso-Fuentes, M. M. (2009). Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *J. Food Comp. Anal.* 22(2):123-129.
- Hadley, C. W.; Clinton, S. K. y Schwartz, S. J. (2002). The consumption of processed tomato products enhances plasma lycopene concentrations in association with a reduced lipoprotein sensitivity to oxidative damage. *J. Nutr.* 133(3):727-732.
- Hamazu, Y.; Chachin, K. y Ueda, Y. (1998). Effect of postharvest storage temperature on the conversion of C-mevalonic acid to carotenes in tomato fruit. *J. Japan Soc. Hortic. Sci.* 67(4):549-555.

- Haukioja, E.; Ossipov, V.; Koricheva, V.; Honkanen, T.; Larsson, S. y Lempa, K. (1998). Biosynthetic origin of carbon based secondary compounds cause of variable responses of woody plants to fertilization. *J. Chem. Oncol.* 8:133-139.
- Havsteen, B. (1983). Flavonoids, a class of natural products of high pharmacological potency. *Biochem. Pharmacol.* 32(7):1141-1148.
- Heaton, S. (2001). *Organic farming, food quality and human health, A review of the evidence*. Editorial Soil Association report. UK. 86 pp.
- Heredia, A.; Barrera, C. y Andre, A. (2007). Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. *J. Food Eng.* 80(1):111-118.
- Hernández, S. M.; Rodríguez, R. E. y Díaz, R. C. (2007). Analysis of organic acid content in cultivars of tomato harvested in Tenerife. *Eur. Food Res. Technol.* 26(3):423-435.
- Jian-Ming, Lü; Lin, P.H.; Yao, Q. y Chenet, C. (2010) Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: Experimental approaches and model systems. *J Cell Mol Med.* 14(4): 840–860.
- Johnston, C. S. (2001). Vitamin, C.; Bowman, B. A. y Russell, R. M (Eds.). *Present knowledge of nutrition*. USA. Editorial Intl Life Science Inst. 805pp.
- Juroszek, P.; Lumpkin, H. M.; Yang, R. Y.; Ledesma, D. R. y Ma, C. H. (2009). Fruit quality and bioactive compounds with antioxidant activity of tomatoes grown on-farm: comparison of organic and conventional management systems. *J. Agric. Food Chem.* 57(4):1188-1194.
- León, R.; Couso, I. y Fernández, E. (2007). Metabolic engineering of ketocarotenoids biosynthesis in the unicellular microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*. *J. Biotechnol.* 130(2):143-152.
- Lippert, F. (1993). Amounts of organic constituents in tomato cultivated in open and closed hydroponic system. *Acta Horticulturae.* 339:113-123.
- Liu, L. H.; Zabarar, D.; Bennett, L. E.; Aguas, P. y Woonton, B. W. (2009). Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem.* 115(2):495-500.
- Li, H.; Deng, Z.; Liu, R.; Loewen, S. y Tsao, R. (2013). Carotenoid compositions of coloured tomato cultivars and contribution to antioxidant activities and protection against H₂O₂-induced cell death in H9c2. *Food Chem.* 136:878-888.
- Li, H.; Deng, Z.; Liu, R.; Loewen, S.; Young, C.; Zhu, H.; Loewen, S. y Tsao, R. (2011). Characterization of phytochemicals and antioxidant activities of a purple tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 59:11803-11811.
- Loannidi, E.; Kalamaki, M.; Engineer, C.; Pateraki, I.; Alexandrou, D.; Mellidou, I.; Giovannonni, J. y Kanellis, A. (2009). Expression profiling of ascorbic acid-related genes during tomato fruit development and ripening and in response to stress conditions. *J. Exp. Bot.* 60(2):663–678.
- López-Casado, G.; Matas, A. J.; Cuartero, J.; Heredia, A. y Romero-Aranda, R. (2003). *Mancha solar en el fruto de jitomate: análisis de carotenoides y estudio histológico*. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Pontevedra, España. Actas de Horticultura. (39): 401-403.
- López, J.; Tremblay, N.; Voogt, W.; Dube, S. y Gosselin, A. (1996). Effects of varying sulphate concentrations on growth, physiology and yield of the greenhouse tomato. *Hortic. Sci.* 67(3):207–217.
- Mahajan, R.; Chandana, A.; Choudhary, J.; Mann, N. y Mann, R. (2009). Lycopene. *Pharma Times.* 41(5):17-19.
- Mangels, A. R.; Holden, J. M.; Beecher, G. R.; Forman, M. R. y Lanza, E. (1993). Carotenoid contents of fruits and vegetables: an evaluation of analytical data. *J. Am. Diet. Assoc.* 93(3):284–96.
- Marfil, P.H.; Santos, E. M. y Telis, V. R. (2008). Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *J. Food Sci. Technol.* 41(9):1642-1647.
- Matkowski, A.; Tasarz, P. y Szypula, E. (2008). Antioxidant activity of herb extracts from five medicinal plants from Lamiaceae, subfamily Lamioideae. *J. Med. Plant. Res.* 2(11):321-330.
- Merzlyak, M. N. y Solovchenko, A. E. (2002). Photo stability of pigments in ripening apple fruit: a possible photo protective role of carotenoids during plant senescence. *Plant Sci.* 163(4):881-888.
- Nguyen, M. L. y Schwartz, S. J. (1999). Lycopene: chemical and biological properties. *J. Food Technol.* 53(2):38-45.

- Ortega, A.; Basabe, T. y Sobaler, L. (2004). *Frutas, hortalizas y verduras*. Bartrina-Aranceta, J. y Rodrigo-Pérez, C. (Eds). Frutas y verduras y salud. España. Editorial Elsevier. 268pp.
- Petro-Turza, M. (1987). Flavor of tomato and tomato products. *Food Rev. Int.* 2(3):309-351.
- Raffo, A.; La Malfa, G.; Fogliano, V.; Maiani, G. y Quaglia, G. (2006). Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *J Food Compos Ana.* 19:11-19.
- Ramandeep, K. T. y Geoffrey, P. S. (2005). Antioxidant activity in different fraction of tomatoes. *Food Res. Int.* 38(5):487-494.
- Riso, P.; Visioli, F.; Erba, D.; Testolin, G. y Porrini, M. (2004). Lycopene and vitamin C concentrations increase in plasma and lymphocytes after tomato intake. Effects on cellular antioxidant protection. *Eur. J. Clin. Nutr.* 58:1350-1358.
- Rolle, R. S. y Chism, G. (1987). Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. *J. Food Quality.* 10(3):157-177.
- Shi, J. y Marc, L. M. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Crit. Rev. Food Sci.* 40(1):1-42.
- Simkin, A. J. (2007). Fibrillin influence on plastid ultrastructure and pigment content in tomato fruit. *Phytochemistry.* 68(11):1545-1556.
- Solovchenko, A. E.; Chivkunova, O. B.; Merzlyak, M. N. y Gudkovsky, V. A. (2005). Relationships between chlorophyll and carotenoid pigments during on- and off-tree ripening of apple fruit as revealed non-destructively with reflectance spectroscopy. *Postharvest Biol. Tec.* 38(1):9-17.
- Steward, A. J.; Bozonnet, S.; Mullen, W. y Jenkins, G. I. (2000). Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. *J. Agric. Food Chem.* 48(7):2663-2669.
- Takahama, U. (1985). Inhibition of lipoxygenase-dependent lipid peroxidation by quercetin: Mechanism of antioxidative function. *Phytochemistry.* 24(7):1443-1446.
- Toor, R. K. y Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res. Int.* 38(5):487-494.
- Voutilainen, S.; Nurmi, T.; Mursu, J. y Rissanen, T. H. (2006). Carotenoids and cardiovascular health. *Am. J. Clin. Nutr.* 83(6):1265-1271.
- Wang, H.; Cao, G. y Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *J. Agric. Food Chem.* 44(3):701-705.
- Weibel, F. P.; Bickel, R.; Leuthold, S. y Alföldi, T. (2000). Are organically grown apples tastier and healthier? A comparative field study using conventional and alternative methods to measure fruit quality. *Acta Horticulturae.* 517:417-426.
- Willcox, J. K.; Catignani, G. L. y Lazarus, S. (2003). Tomatoes and cardiovascular health. *Crit. Rev. Food Sci.* 43(1):1-8.
- Yanishlieva-Maslarova, N. V. (2001). *Inhibición de la oxidación*. Pokorny, J.; Yanishlieva, N. y Gordon M. (Eds.). Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas. España. Editorial Acribia. 364pp.
- Zhang, T.; Chin, C. y Bruulsema, T. (2006). Fertigation boosts optimum nitrogen for tomatoes and peppers. *Better Crops.* 90(4):8-10.

Recibido: Junio 10, 2013

Aceptado: Noviembre 11, 2013