



UNIVERSIDAD DE MURCIA

FACULTAD DE VETERINARIA

Estudio del Contenido de Compuestos Bioactivos
en Tomate: Evaluación de la Materia Prima,
Efectos del Tratamiento Tecnológico y
Caracterización del Subproducto

Dña. Verónica García Valverde
2014



D^a. María Jesús Periago Castón, Catedrática de Universidad del Área de Nutrición y Bromatología, y D. Francisco Javier García Alonso, Profesor Contratado Doctor del Área de Nutrición y Bromatología, ambos adscritos al Departamento de Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología,

AUTORIZAN:

La presentación de la Tesis Doctoral como compendio de publicaciones titulada **“Estudio del contenido de compuestos bioactivos en tomate: evaluación de la materia prima, efectos del tratamiento tecnológico y caracterización del subproducto”**, realizada por D^a Verónica García Valverde, bajo nuestra inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 7 de Marzo de 2014

Fdo.: Dra. María Jesús Periago Castón

Fdo.: Dr. Francisco Javier García Alonso

AGRADECIMIENTOS

Me parece muy difícil poder agradecer, en tan solo unas líneas, a todas aquellas personas que durante estos últimos años han estado a mi lado y que de alguna forma han hecho posible la realización de esta Tesis, por ello quisiera agradecer sinceramente:

En primer lugar, a los que siempre han estado ahí, a mis padres, Paco y Carmen. Muchas gracias por vuestro amor, dedicación y sacrificio, y por vuestro apoyo incondicional. Me encantaría llegar a estar a vuestra altura alguna vez, pero habéis puesto el listón muy alto. A mi hermano, por todo su cariño y su gran corazón. A toda mi familia, y especialmente a mis abuelos que me han dado y me dan tanto cariño. Muchas gracias.

A los directores de esta Tesis, la Dra. María Jesús Periago y el Dr. Javier García, gracias por vuestro trabajo y dedicación. Especialmente a ti María Jesús, por tu paciencia, trabajo incansable y por tu ayuda y motivación que han hecho posible sacar adelante este trabajo.

A los profesores y compañeros del Área de Nutrición y Bromatología porque desde el primer momento habéis hecho que me sintiera como en casa cuando me vine a vivir a Murcia. Para mí ha sido un privilegio poder trabajar con personas de vuestra talla humana y profesional. A Gaspar, por permitirme formar parte del grupo de investigación. A Mamen y a Marina, por estar siempre dispuestas a ayudar y siempre con una sonrisa. A Toñi, por ejercer de madre y amiga, y a *mi* Carlos (compañero de piso durante tantos años y gran amigo) gracias a ambos por vuestro cariño y por estar dispuestos a ayudarme siempre que podéis. A Inma, gracias amiga por escucharme y apoyarme en los momentos bajos, por tu trabajo incansable y tu colaboración en esta Tesis. A Gala y Elvira, por vuestra amistad y cariño, y por esos buenos ratos tanto dentro como fuera del departamento. A Victoria, Rocío, Patricia, Carmen, Rubén, Carlos Alberto, Amparo, Lorena, Gema, Nieves, Javi Santaella, Guillermo, Esmat, y a los que dejaron el departamento: Darío, Sergio, Ceci,

Dolo, Joaquín, Eduardo, Michelle y Valentina, Nicola, Karin y Alejandra.
Muchas gracias a todos

A la Dra. Cristina García Viguera del Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos del CEBAS-CSIC y a su equipo, especialmente al Dr. Diego Moreno, Elena y Santiago, que me enseñaron las técnicas de extracción y análisis mediante HPLC para la determinación y cuantificación de compuestos fenólicos.

A mi compañera de piso y amiga, la Dra. Bárbara Bonacasa, por su apoyo, su ayuda y sus consejos en la finalización de esta Tesis.

Por último, tengo especial ilusión en cerrar este apartado con la persona que en los últimos años no ha dejado de apoyarme. David, quiero agradecerte el cariño, la comprensión y el respeto a mi trabajo. Gracias por tu amor incondicional, tu paciencia y generosidad. Poco a poco me estás enseñando que todo es más sencillo si estamos juntos. Muchas gracias por estar a mi lado.

A mis padres

*“Aprender es como remar contra corriente: en cuanto se deja,
se retrocede”.*

Edward Benjamin Britten

Índice

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Bibliografía	5
OBJETIVOS	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DEL TOMATE	11
2. COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	14
2.1. Licopeno y otros carotenoides	14
2.1.1. Estructura y características químicas.....	14
2.1.2. Contenido de licopeno en el tomate.....	19
2.1.3. Biodisponibilidad y absorción del licopeno	23
2.2. Compuestos fenólicos	26
2.2.1. Estructura y características químicas.....	26
2.2.2. Contenido de compuestos fenólicos en el tomate	30
2.2.3. Biodisponibilidad y absorción de los compuestos fenólicos	32
2.3. Vitamina C	35
2.3.1. Estructura y características químicas.....	35
2.3.2. Contenido de vitamina C en el tomate.....	35
2.3.3. Biodisponibilidad y absorción de la vitamina C	36
2.4. Folatos	38
2.4.1. Estructura y características químicas.....	38
2.4.2. Contenido de folatos en el tomate.....	39
2.4.3. Biodisponibilidad y absorción de folatos	41
3. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	41
4. CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE PRODUCIDOS DURANTE EL PROCESADO TECNOLÓGICO.....	44
5. CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTO DEL PROCESADO DEL TOMATE: FIBRA DIETÉTICA DE TOMATE.....	48

5.1. Propiedades Funcionales y Tecnológicas de la Fibra Dietética...	51
Bibliografía	57
PUBLICACIONES	69
PUBLICACIÓN 1	69
PUBLICACIÓN 2	71
PUBLICACIÓN 3	73
Anexo PUBLICACIÓN 1	77
Aportación de la doctoranda en cada artículo incluido en la Tesis	
Doctoral como compendio de publicaciones.....	83
RESUMEN GLOBAL	87
Bibliografía	102
CONCLUSIONES	109
RESUMEN	113
SUMMARY	117

Introducción

General



Introducción General

El tomate es la hortaliza más consumida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción, procesado y comercialización. Según datos de *World Processing Tomato Council* (WPTC, 2013), en el año 2012 se produjeron en nuestro país 1.935 miles de toneladas, siendo las principales comunidades autónomas productoras y exportadoras de tomate Andalucía, Murcia, Canarias y Comunidad Valenciana (FEPEX, 2009). Sin embargo en los últimos años se ha producido un retroceso, y se ha apuntado la necesidad de apostar por la I+D+i que permita modernizar estructuras de producción, implantar nuevas variedades y diferenciar la calidad del producto español frente a terceros países muy competitivos como Marruecos.

En España, al igual que en otros países, el tomate es la hortaliza más consumida y el consumo per cápita en el hogar se encuentra cercano a los 15 Kg/persona y año (FEPEX, 2012). El tomate en fresco se consume principalmente en ensaladas, y se utiliza como ingrediente de muchas preparaciones culinarias, preparándolo cocido o frito. Aproximadamente, el 40% de la producción total se destina a la transformación industrial dando lugar a muchos subproductos derivados de la industria alimentaria, que van destinados a su uso por intermediarios o bien por el consumidor final. Así, existen en el mercado numerosos productos derivados de este fruto en forma de zumos, gazpacho, salsas, purés, pastas, conservas de tomate entero o partido, tomate en polvo, etc.

La mayor parte del peso fresco del tomate es agua, cuyo contenido medio se sitúa en torno al 94%. Excluida el agua, los hidratos de carbono son el componente mayoritario, y cuantitativamente los azúcares, que constituyen el 50-70% aproximadamente de los sólidos totales y la casi totalidad de los sólidos solubles (Primo *et al.*, 1998). La cantidad de azúcares presentes en el fruto y la cantidad de ácidos determinan el sabor del tomate, ya que el alto contenido de azúcares y de ácidos constituye la

mejor combinación para obtener un buen sabor. Por otro lado, las variedades de tomate que se utilizan para procesado son más firmes y de paredes más gruesas que las de los tomates para consumo fresco, lo que les permite conservar su forma después de la cocción. Además, como la reducción del contenido de agua del tomate es un proceso bastante costoso, para el procesado industrial se prefieren variedades con más pulpa, menor contenido en agua y mayor contenido de sólidos insolubles.

En la actualidad los tomates y sus productos derivados están reconocidos como alimentos funcionales por su composición química y concretamente por la presencia de compuestos bioactivos beneficiosos para el organismo (Willcox *et al.*, 2003; Sharoni y Levi, 2006; Periago *et al.*, 2009). Numerosos estudios epidemiológicos han descrito una correlación inversa entre dietas con un alto consumo de tomate y productos derivados, y la incidencia de enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Shi *et al.*, 2003; Willcox *et al.*, 2003, Mordente *et al.*, 2011, Jacques *et al.*, 2013). Estos efectos protectores se han atribuido al elevado contenido de varios compuestos con actividad antioxidante como carotenoides, compuestos fenólicos, vitamina E, vitamina C, folatos, potasio y selenio. Entre estos compuestos destaca el licopeno, carotenoide predominante del tomate, constituyendo el fruto en fresco y sus productos derivados la principal fuente de licopeno en la dieta (Shi *et al.*, 2003). También está presente el β -caroteno, aunque en menor concentración, y compuestos fenólicos, como flavonoides y ácidos hidroxicinámicos (Martínez-Valverde *et al.*, 2002; Bugianesi *et al.*, 2004) y vitamina C (Abushita *et al.*, 2000, Periago *et al.*, 2009). También presenta diferentes formas de folato, contribuyendo a la ingesta de esta vitamina que puede ejercer un efecto beneficioso en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Wilcox *et al.*, 2003; Periago *et al.*, 2009). En general, los compuestos bioactivos del tomate con actividad antioxidante (compuestos fenólicos y carotenoides) presentan la característica de que se mantienen relativamente estables tras los tratamientos térmicos (Dewanto *et al.* 2002; Roldán-Gutiérrez y Luque de Castro, 2007; Jacob *et al.*, 2010) y tras el almacenamiento de los

productos procesados (García-Alonso *et al.*, 2009), encontrándose en mayor concentración y en una forma más biodisponible en productos procesados que en el tomate fresco (Lin *et al.*, 2005; Roldan-Gutiérrez y Luque de Castro, 2007).

En España, los valores medios de tomate producido para la industria, entre los años 2010 y 2012, están en torno a las 2.000 miles de toneladas, aunque en el último año se ha observado una ligera disminución (WPTC, 2013). Este consumo a nivel mundial es muy elevado, ya que se ha registrado para estos mismos años, un valor medio de 36.178 miles de toneladas de tomate producidas para su transformación en la industria alimentaria (WPTC, 2013). Como consecuencia del gran volumen de tomate procesado en las diferentes industrias, se genera una gran cantidad de residuos sólidos (pieles y semillas) que representan un gran problema medioambiental. Por ello, en los últimos años se han realizado numerosas investigaciones para poder extraer de los residuos de tomate aquellos compuestos bioactivos que son considerados de gran interés para la industria alimentaria y farmacéutica entre los que se encuentran el licopeno y la fibra de tomate (Rozzi *et al.*, 2002; Topal *et al.*, 2006). Los residuos de tomate constituyen, por lo tanto, una fuente importante de carotenoides, compuestos fenólicos, proteínas, azúcares, fibras, ceras y aceites (75% de ácidos grasos insaturados).

La presente Tesis Doctoral se presenta como compendio de tres trabajos de investigación cuyos objetivos han sido estudiar los compuestos bioactivos antioxidantes presentes en distintas variedades de tomate destinados para consumo en fresco y tomates destinados a su procesado en la industria alimentaria, conocer las variaciones en los compuestos bioactivos tras determinados procesos industriales y evaluar las composición química y las propiedades de la fibra dietética del tomate como subproducto generado tras el procesado tecnológico.

TESIS DOCTORAL COMO COMPENDIO DE PUBLICACIONES

PUBLICACIÓN 1

Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars

Verónica García-Valverde, Inmaculada Navarro-González, Javier García-Alonso y María Jesús Periago.

Food and Bioprocess Technology

February 2013, Volume 6, Issue 2, Pages 391-402

DOI 10.1007/s11947-011-0687-3

PUBLICACIÓN 2

Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree

Darío Pérez-Conesa, Javier García-Alonso, Verónica García-Valverde, María-Dolores Iniesta, Karin Jacob, Luis Manuel Sánchez-Siles, Gaspar Ros y María Jesús Periago.

Innovative Food Science and Emerging Technologies

April 2009, Volume 10, Issue 2, Pages 179-188

DOI: 10.1016/j.ifset.2008.12.001

PUBLICACIÓN 3

Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber

Inmaculada Navarro-González, Verónica García-Valverde, Javier García-Alonso y María Jesús Periago.

Food Research International

June 2011, Volume 44, Issue: 5, Pages 1528-1535

DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.005

BIBLIOGRAFÍA

- Abushita, A. A., Dado, H. G., y Biacs, P. A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Food Chemistry*, 48, 2075-2081.
- Bugianesi R, Salucci M, Leonardi C, Ferracane R, Catasta G, Azzini E, Madani G. (2004). Effect of domestic cooking on human bioavailability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and β -carotene in cherry tomatoes. *Eur J Nutr*; 43:360-366.
- Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem.*; 50:3010-3014.
- FEPEX (Federación Española de Asociaciones de Productores y Exportadores de frutas, hortalizas, flores y plantas vivas). (2009). Producción de tomate en España. Disponible en: http://www.fepex.es/archivos/publico/datos_sector/EvoluciónProducciónFyHproductos.pdf [acceso: 20-2-2013]
- FEPEX (Federación Española de Asociaciones de Productores y Exportadores de frutas, hortalizas, flores y plantas vivas). (2013). Consumo per cápita en el hogar de las principales hortalizas frescas (kgs/persona). Disponible en: <http://www.fepex.es/publico/datosSector/Consumo.aspx> [acceso: 29-4-2013]
- García-Alonso, F.J.; Bravo, S.; Casas, J.; Pérez-Conesa, D., Jacob, K. y Periago, M.J. (2009). Changes in Antioxidant Compounds during the Shelf Life of Commercial Tomato Juices in Different Packaging Materials. *Agric. Food Chem.*, 57 (15), 6815-6822
- Jacob, K., García-Alonso, F.J., Ros, G. y Periago, M.J. (2010). Stability of carotenoids, phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant capacity of tomatoes during thermal processing. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 60 (2), 192-198.
- Jacques PF, Lyass A, Massaro JM, Vasanthakumari RS, D'Agostino Sr RB. (2013). Relationship of lycopene intake and consumption of tomato products to incident CVD. *British Journal of Nutrition*, 115:1-7.
- Lin, C.H. y Chen, B.H. (2005). Stability of carotenoids in tomato juice during processing. *European Food Research and Technology*, 221, 274-280.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Provan, G., Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science and Food Agriculture* 82, 323-330.
- Mordente A, Guantario B, Meucci E, Silvestrini A, Lombardi E, Martorana GE, Giardina B, Böhm V. (2011). Lycopene and Cardiovascular Diseases: An Update. *Current Medicinal Chemistry*, 18(8):1146-63.
- Periago, M. J.; García-Alonso, J.; Jacob, K.; Olivares, A. B.; Bernal, M. J.; Iniesta, M. D.; Martínez, C.; Ros, G. (2008). Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) during vine ripening. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 12, 1-15.
- Primo Yúfera, E. (1998). *Química de los alimentos*. Madrid: editorial Síntesis.
- Roldán-Gutiérrez, J.M. y Luque de Castro, M.D. (2007). Lycopene: the need for better methods for characterization and determination. *Trends in analytical Chemistry*, 26 (2): 163-170.
- Rozzi, N.L., Singh, R.K., Vierling, R.A., y Warkins, B.A. (2002). Supercritical

fluid extraction of lycopene from tomato processing byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2638-2643.

Shi J, Maguer ML, Bryan M, Kakuda Y. (2003). Kinetics lycopene degradation in tomato puree by heat and light irradiation. *J Food Process Eng*; 25:485-498.

Topal, U., Sasaki, M., Goto, M., & Hayakawa, K. (2006). Extraction of lycopene from tomato skin with supercritical carbon dioxide: Effect of operating conditions and solubility analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 5604-5610.

Willcox, J. K., Catignani, G. L., & Lazarus, S. (2003). Tomatoes and cardiovascular health. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43, 1-18.

WPTC World production estimate of tomatoes for processing. Date of last update: 29/03/2013. Disponible en: www.wptc.to [acceso: 20-2-2013]

Objetivos



Objetivo General

El objetivo general de la presente Tesis Doctoral ha sido analizar los compuestos bioactivos antioxidantes presentes en el tomate y estudiar las variaciones en su contenido de acuerdo a determinados factores relacionados con la variedad, aptitud industrial del tomate y procesado industrial, y caracterizar un subproducto derivado de la piel del tomate, con la finalidad de revalorizar los residuos generados en la industria.

Objetivos Específicos

Para la consecución del objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar las variaciones en los compuestos bioactivos antioxidantes del tomate (carotenoides, compuestos fenólicos, vitamina C y folatos) en función de la variedad, el estado de madurez y la aptitud industrial de los mismos.
2. Conocer las variaciones en la actividad antioxidante hidrofílica del tomate en función de la variedad y aptitud tecnológica, y establecer la relación con el contenido en compuestos bioactivos.
3. Estudiar el efecto del procesado industrial de homogeneización y pasteurización sobre los compuestos bioactivos antioxidantes y la actividad antioxidante hidrofílica.
4. Caracterizar la fibra dietética de tomate para conocer los distintos componentes que constituyen la fracción soluble e insoluble, así como la composición química en otros macronutrientes y micronutrientes asociados a la misma (proteínas, azúcares, grasas y minerales).

5. Estudiar el contenido de compuestos bioactivos (carotenoides y compuestos fenólicos) presentes en la fibra dietética con especial atención al contenido en licopeno y ácidos hidroxicinámicos, como componentes mayoritarios. Para obtener más información sobre su composición fenólica y contenido en licopeno, se ensayarán distintos métodos de extracción mediante la aplicación de ultrasonidos, enzimas y maceración.
6. Determinar las propiedades de la fibra dietética del tomate como la capacidad de retención de agua e hinchamiento, la capacidad de adsorción de grasa, la presión osmótica, el índice de retardo de absorción de glucosa y la actividad antioxidante, para poder establecer su posible utilización como ingrediente.

A continuación se detallan los objetivos específicos conseguidos en cada uno de los trabajos de investigación publicados y que constituyen la presente Tesis Doctoral:

PUBLICACIÓN 1: *Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars.* Food and Bioprocess Technology. February 2013, Volume 6, Issue 2, Pages 391-402. DOI 10.1007/s11947-011-0687-3

- **Objetivo 1**
- **Objetivo 2**

PUBLICACIÓN 2: *Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree.* Innovative Food Science and Emerging Technologies. April 2009, Volume 10, Issue 2, Pages 179-188. DOI: 10.1016/j.ifset.2008.12.001

- **Objetivo 3**

PUBLICACIÓN 3: *Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber.* Food Research International. June 2011, Volume 44, Issue: 5, Pages 1528-1535. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.005

- Objetivo 4
- Objetivo 5
- Objetivo 6

Revisión
Bibliográfica



Revisión Bibliográfica

1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DEL TOMATE

El tomate (*Lycopersicon esculentum*) es un ingrediente fundamental de la dieta mediterránea, tanto por su elevado consumo en fresco como por formar parte de una extensa variedad de platos, salsas y bebidas típicas de esta dieta. El tomate al ser un alimento de origen vegetal, tiene un bajo contenido en proteínas y grasas, y por ello un escaso valor energético. Por el contrario, es rico en minerales, vitaminas y compuestos antioxidantes, lo que hace que este fruto y por consiguiente, los productos derivados, tengan propiedades beneficiosas para la salud. En las últimas décadas, el consumo de tomate y productos derivados ha sido asociado con la prevención de algunas enfermedades crónicas como son el cáncer y las enfermedades cardiovasculares, (Willcox *et al.*, 2003; Sharoni y Levi, 2006; Mordente *et al.*, 2011) principalmente debido a su contenido en antioxidantes, incluyendo carotenos (licopeno y β -caroteno, principalmente), ácido ascórbico, tocoferol, compuestos fenólicos y folatos (Dewanto *et al.*, 2002; Martínez-Valverde *et al.*, 2002; Willcox *et al.*, 2003; Seybold *et al.*, 2004; Jacob *et al.*, 2008; Periago *et al.*, 2009; Hwang *et al.*, 2012).

La composición química del tomate varía en función de la variedad del fruto, así como por factores agronómicos, geográficos y ambientales (Davies y Hobson 1981; Martínez-Valverde *et al.* 2002; Dumas *et al.* 2003; Minoggio *et al.* 2003; Wold *et al.* 2004; Periago *et al.* 2009) hecho que determina variaciones en los componentes del tomate fresco y sus derivados. En las Tablas 1, 2 y 3 se muestran valores medios del contenido en nutrientes presentes en el puré y en el tomate fresco, de acuerdo a los datos publicados en la *USDA National Nutrient Database for Standard Reference, release 20 (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, USDA Nutrient Data Laboratory, 2007)*.

Tal como se observa en la Tabla 1, el componente mayoritario del tomate, al igual que de la mayoría de los vegetales, es el agua, cuyo contenido medio se sitúa entorno al 94%. Excluida el agua, los hidratos de carbono son el componente mayoritario, y cuantitativamente los azúcares, que constituyen el 50-70% aproximadamente de los sólidos totales y la casi totalidad de los sólidos solubles. Los monosacáridos glucosa y fructosa son los principales componentes, no encontrándose apenas sacarosa (Primo *et al.*, 1998). La fibra alimentaria representa el 1.2% en el tomate fresco maduro, en la que encontramos celulosa, hemicelulosa, lignina y pectinas (Martínez-Valverde *et al.*, 2002). Las pectinas, aunque presentes en pequeñas proporciones, son de gran interés tecnológico, ya que constituyen uno de los principales factores responsables de la textura de los tomates enlatados y frescos, y de la viscosidad o consistencia de los zumos concentrados. Se encuentran localizadas en las paredes celulares y sobre ellas pueden actuar enzimas pectolíticas, también presentes en el fruto, provocando su hidrólisis progresiva que se traduce en una pérdida de textura o ablandamiento del fruto (Primo *et al.*, 1998).

El contenido en lípidos totales es muy bajo (0.2%), estando constituido principalmente por los lípidos que forman las membranas celulares, como triglicéridos, glicolípidos y fosfolípidos (Belitz y Grosch, 1988). Este hecho determina que sea un alimento poco calórico, ya que 100 g de tomate aportan tan solo 18 Kilocalorías. El contenido en proteínas también es escaso, siendo inferior al 1%.

Tabla 1. Contenido en macronutrientes, agua, fibra y valor calórico por 100 g de porción comestible. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 20 (2007).

	Energía (Kcal)	Agua (g)	Proteína (g)	Carbohidratos (g)	Fibra alimentaria (g)	Lípidos totales (g)
Tomate rojo crudo	18	94.50	0.88	3.92	1.20	0.20
Puré de tomate	38	87.88	1.65	8.98	1.90	0.21

Tabla 2. Contenido en vitaminas por 100 g de porción comestible. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 20 (2007)

	Vitamina A (UI)	Vitamina C (mg)	Vitamina E (mg)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Ác. Nicotínico (mg)	Piridoxina (mg)	Folatos (µg)
Tomate rojo crudo	833	12.70	0.54	0.04	0.02	0.59	0.08	15
Puré de tomate	510	10.60	1.97	0.03	0.08	1.47	0.13	11

Tabla 3. Contenido en minerales por 100 g de porción comestible. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 20 (2007)

	Sodio (mg)	Potasio (mg)	Calcio (mg)	Magnesio (mg)	Hierro (mg)	Fósforo (mg)	Selenio (µg)
Tomate rojo crudo	5	237	10	11	0.27	24	0
Puré de tomate	28	439	18	23	1.78	40	0.70

Entre las vitaminas cabe destacar el contenido en vitaminas hidrosolubles, sobretodo vitamina C y vitaminas del grupo B, entre las que destacan los folatos (Periago *et al.*, 2009). Las vitaminas liposolubles son escasas, destacando su contenido en provitamina A, como β -caroteno, y vitamina E (Tabla 2).

De los elementos minerales (Tabla 3), el más destacado en general es el potasio, el cual se encuentra en mayores concentraciones que el sodio en el tomate fresco (Hernández-Rodríguez y Sastre-Gallego, 1999). Este alto contenido en potasio y bajo en sodio, es considerado beneficioso para la prevención de enfermedades cardiovasculares, contribuyendo junto con otros compuestos antioxidantes del tomate a los efectos preventivos de este alimento para estas enfermedades (Willcox *et al.*, 2003).

En relación al contenido de minerales y vitaminas, podemos decir que el tomate contiene cantidades similares de potasio y folatos comparado con otros

vegetales, aunque es una mayor fuente dietética de vitaminas C y E. En comparación con otros vegetales que se consumen habitualmente, sólo las zanahorias presentan una mayor cantidad de vitamina A, como β -caroteno, que el tomate (Canece-Adams *et al.*, 2005).

2. COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Los tomates presentan una amplia variedad de compuestos químicos con propiedades antioxidantes entre los que se incluyen los carotenoides, la vitamina C, los compuestos fenólicos, los tocoferoles y los folatos.

2.1. Licopeno y otros carotenoides

2.1.1. Estructura y características químicas

Los carotenoides son pigmentos naturales sintetizados por plantas y microorganismos, responsables en gran medida del color de los mismos (Clinton, 1998). La importancia de los carotenoides en nutrición humana se ha centrado principalmente en aquellos que poseen actividad provitamina A, como son α -carotenos y β -carotenos. Sin embargo, en las últimas décadas otros carotenoides han despertado interés nutricional como sustancias fitoquímicas. Entre los carotenoides con un efecto beneficioso potencial para la salud en función de sus propiedades biológicas se encuentra el licopeno, cuya actividad está relacionada con la prevención de distintas enfermedades (Nguyen y Schwartz, 1998).

Hay más de 600 carotenoides en la naturaleza, de los cuales, más de 50 están presentes en los alimentos y son consumidos en la dieta a partir de una gran variedad de frutas y verduras (Giugliano, 2000). Los más conocidos son el

α -caroteno, β -caroteno y licopeno. La Figura 1 muestra la estructura química de los carotenoides más importantes presentes en la naturaleza.

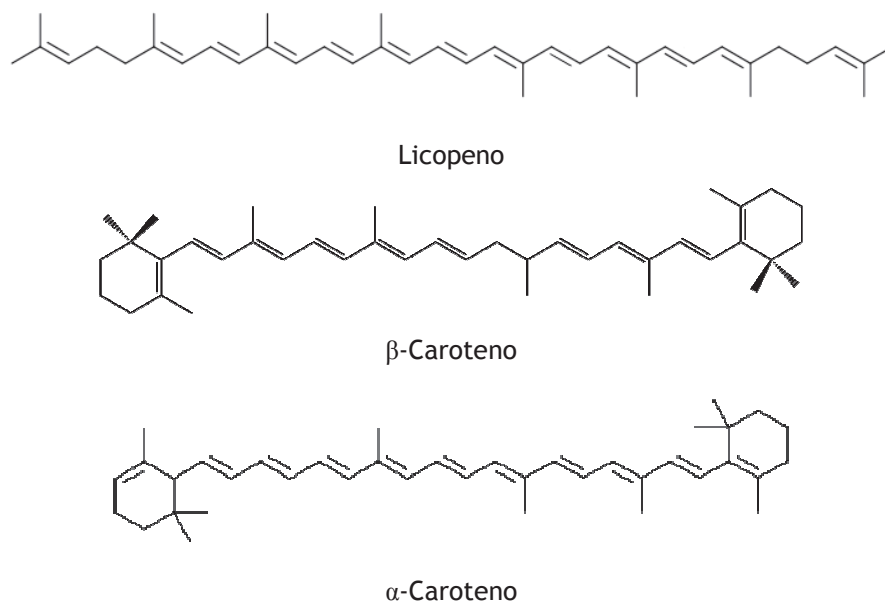


Figura 1. Estructura química del licopeno y otros carotenoides importantes.

Los carotenoides se presentan sobretodo en flores, hortalizas y frutas a los que proporcionan su coloración que va desde el amarillo al rojo. En menor cuantía y en proporciones muy variables, pueden encontrarse en ciertos alimentos de origen animal, tales como la leche o la yema de huevo, donde su contenido va a ser dependiente de la ingesta que realicen los animales productores de las fuentes originales de carotenoides (Clinton, 1998; Martín-Moreno y Gorgojo, 2002).

Desde el punto de vista químico, los carotenoides son una clase de pigmentos terpenoides con 40 átomos de carbono derivados biosintéticamente a partir de dos unidades de geranylgeranyl pirofosfato. En la Figura 2 se representa un esquema general de la ruta de biosíntesis de carotenoides en plantas, donde se indican las enzimas responsables de cada etapa. El primer paso específico de la ruta de carotenoides, mediado por la fitoeno sintasa

(PSY), consiste en la condensación de dos moléculas de geranilgeranil pirofosfato (GGPP) para dar lugar al fitoeno. Cuatro desaturaciones sucesivas de este compuesto, catalizadas por las enzimas fitoeno desaturasa (PDS) y ζ -caroteno desaturasa (ZDS), dan lugar al licopeno, cuya molécula es modificada por acción de las ϵ -y/o β -ciclasas (ϵ -LCY, β -LCY) formándose α - o β -caroteno, respectivamente. Oxidaciones secuenciales de estas dos moléculas, realizadas por ϵ - y/o β -caroteno hidroxilasas (ϵ -CHX, β -CHX) y zeaxantina epoxidasa (ZEP) dan lugar a la formación de xantofilas (carotenoides oxigenados), (Alquézar, 2007).

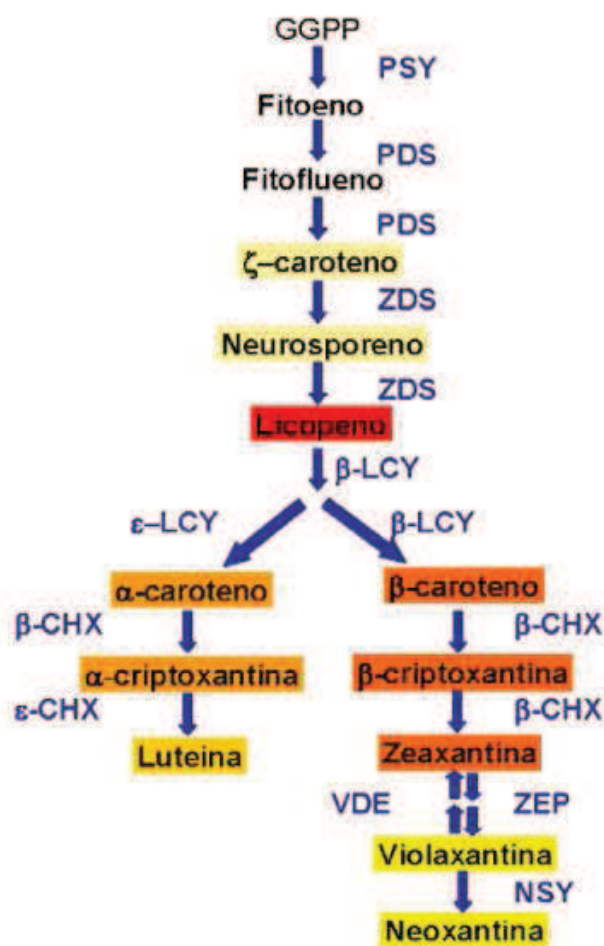


Figura 2: Esquema general de la biosíntesis de carotenoides en plantas. En azul se indican las enzimas que catalizan cada reacción: GGPP (geranilgeranil pirofosfato), PSY (fitoeno sintasa), PDS (fitoeno desaturasa), ZDS (ζ -caroteno desaturasa), β -LCY (β -licopeno ciclasa), ϵ -LCY (ϵ -licopeno ciclasa), β -CHX (β -caroteno hidroxilasa), ϵ -CHX (ϵ -caroteno hidroxilasa), ZEP (zeaxantina epoxidasa), VDE (violaxantina de-epoxidasa), NSY (neoxantina sintasa). (Alquézar, 2007).

El esqueleto carbonado básico de los carotenoides consiste en unidades repetidas de isopreno (2-metil-1,3-butadieno). Químicamente, los carotenoides se dividen en dos grupos principales: los carotenos (α , β , γ -caroteno, licopeno, etc.) y las xantofilas (zeaxantina, cantaxantina, etc.) derivados oxigenados de los carotenos (Martín-Moreno y Gorgojo, 2002). En cuanto a su actividad, no todos los carotenoides son precursores de la vitamina A, por lo que se pueden distinguir dos grandes grupos: provitamínicos (tienen la capacidad de convertirse en vitamina A cuando ésta falta en el organismo) y no provitamínicos (Stahl y Sies, 1996). Entre los carotenoides provitamínicos encontramos el α -caroteno (50-54% de actividad provitamina A), β -caroteno (100% de actividad provitamina A) y γ -caroteno (42-50% de actividad provitamina A), mientras que el licopeno, fitoeno y fitoflueno son carotenoides no provitamínicos (Bauernfeind, 1972). De las xantofilas con actividad provitamínica destaca la β -criptoxantina, y las no provitamínicas son la luteína, zeaxantina, cantaxantina y equinenona. De todos estos carotenoides, α -caroteno, β -caroteno, luteína y licopeno poseen acción antioxidante.

La mayoría de los carotenoides son solubles en solventes apolares, y presentan coloraciones que oscilan entre el amarillo (por ejemplo el β -caroteno) y el rojo (por ejemplo el licopeno). La estructura química de estos compuestos contribuye a su actividad química sobre los agentes oxidantes o radicales libres, efecto relevante que pueden desarrollar los carotenoides en aquellos individuos que consumen grandes cantidades en la dieta (Britton *et al.*, 1995).

El licopeno es uno de los primeros carotenoides que aparecen en la síntesis de este tipo de compuestos, constituyendo la base molecular para la síntesis de los restantes carotenoides. El licopeno presenta una estructura sencilla con una cadena alifática formada por cuarenta átomos de carbono. Es altamente lipofílico y se caracteriza por carecer de anillos cíclicos y poseer un gran número de dobles enlaces conjugados. Su obtención por síntesis química aún no está totalmente establecida y se obtiene fundamentalmente a partir de

fuentes naturales, hongos (*Blakeslea trispora*, autorizado por la Decisión 2009/365/CE de la Comisión Europea) y tomates.

La biosíntesis del licopeno tiene lugar en el interior de los plástidos. La forma natural en las plantas y más abundante en la naturaleza es la forma *trans*, que constituye la forma más estable, aunque también se puede presentar como isómero *cis*. Los isómeros *cis* del licopeno presentan distintas características químicas y propiedades en comparación con los isómeros *trans*, como son la disminución de la intensidad de color, menor punto de fusión, menor coeficiente de extinción molar y cambio en el valor máximo de absorción en el espectro ultravioleta-visible (Britton *et al.*, 1995; Periago *et al.*, 2001). Además, se ha observado que los isómeros *cis* tienen menor probabilidad de cristalización, presentan mejor solubilidad en soluciones lipofílicas y son más fácilmente solubilizadas en el interior de las micelas y transportados al interior de las células o de los tejidos (Shi y Le Maguer, 2000). Esto puede ser debido a que la introducción de un doble enlace *cis* en la molécula de licopeno reduce su longitud. Por el contrario, el *all-trans*-licopeno (Figura 3) es una larga molécula lineal (Boileau *et al.*, 2002).

Al igual que otros carotenoides, el licopeno puede verse afectado por las temperaturas elevadas, la exposición a la luz y al oxígeno, valores de pH extremos y superficies activas (Scita, 1992).

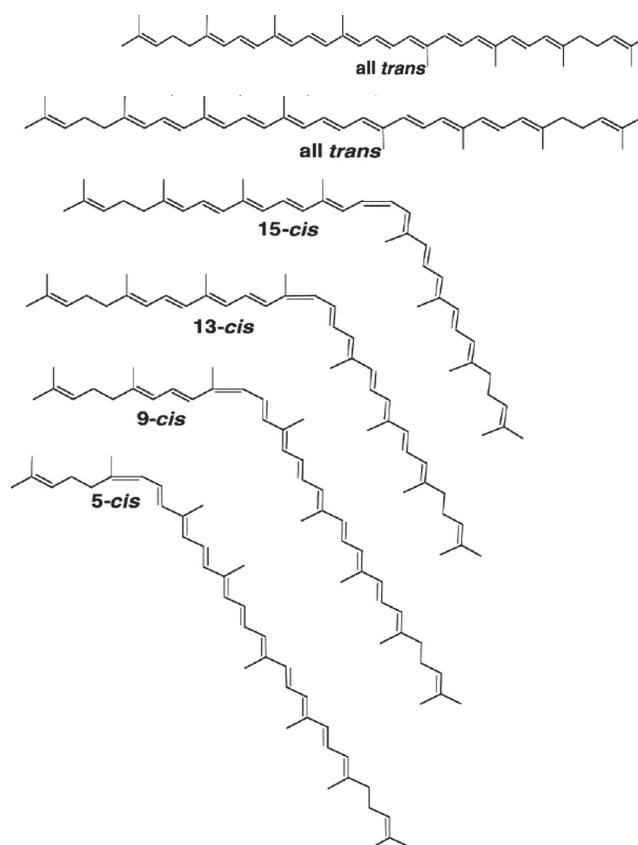


Figura 3. Estructuras de los isómeros *trans*- y *cis*- del licopeno (Agarwal y Rao, 2000).

2.1.2. Contenido de licopeno en el tomate

De los más de 50 carotenoides presentes en los alimentos, el licopeno se encuentra en un grupo reducido de los mismos, destacando el tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) y los productos elaborados con tomate como salsas, purés, zumos, sopas, concentrados, etc. (Tabla 4) como la principal fuente de licopeno de la dieta (Periago *et al.*, 2001). Otras frutas y vegetales que incluyen en su composición licopeno y que contribuyen a la ingesta de este compuesto en la dieta son el albaricoque, la sandía, la papaya, el pomelo rosa, la fruta de la pasión, la guayaba, la zanahoria y el pimiento, entre otros (Tabla 4) (Clinton, 1998; ILSI, 1999; Nguyen y Schwartz, 1999; Roldán-Gutiérrez y Luque de Castro, 2007).

En relación al contenido de licopeno en el tomate fresco, en la literatura científica se muestra una gran variabilidad de datos, debido en gran medida a que su contenido varía significativamente según el grado de madurez, variedad y condiciones estacionales (Periago *et al.*, 2001; Martínez-Valverde *et al.*, 2002; Periago *et al.*, 2009). En la Tabla 5 se puede observar la variabilidad en el contenido de licopeno en diferentes variedades de tomate habitualmente consumidas en España.

Durante el proceso de maduración del tomate tienen lugar importantes cambios que afectan a la composición química y nutricional del mismo. Conforme se completa el desarrollo del fruto desde el estado inmaduro hasta alcanzar la madurez completa, se produce un aumento en el contenido de carotenoides, asociado a un incremento en el contenido de licopeno en el interior de los plástidos (Figura 4). Según Thomson *et al.* (2000), la concentración aumenta desde 0.25 mg/kg en tomates verdes hasta valores mayores de 40 mg/kg en frutos completamente maduros. En muestras analizadas por Periago *et al.* (2009), el contenido en licopeno pasa de no ser detectado en distintas variedades de tomates en estado de maduración totalmente verde a 68.1 mg/kg en tomates rojos. En cuanto al contenido en β -caroteno, algunos autores como Koskitalo y Ormrod (1972) y Biacs *et al.* (1987) observaron que se produce un aumento desde el estado verde a pintón, disminuyendo posteriormente cuando el fruto madura completamente. Sin embargo, estos resultados no se correlacionan con los descritos en estudios posteriores que observaron un incremento constante de β -caroteno conforme avanza el proceso de maduración (Abushita *et al.*, 1997; Giovanelli *et al.*, 1999).

Tabla 4. Contenido de carotenoides y contribución (%) del tomate, productos derivados del tomate y otros vegetales en la ingesta de carotenoides de la población española (García-Closas *et al.*, 2004; Canene-Adams *et al.*, 2005; Maiani *et al.*, 2009; Mordente *et al.*, 2011).

Fuente alimentaria	α -caroteno	β -caroteno	Licopeno
Tomate fresco	-	0.4 mg/100 g	0.8-3.7 mg/100 g
	-	17.2%	71,6%
Zumo de tomate	-	0.4 mg/100 g	8-11 mg/100 g
	-	-	-
Ketchup	n.d.	0.1-0.5 mg/100 g	4.7-23.4 mg/100 g
	-	-	-
Tomate enlatado	n.d.	0.2-0.3 mg/100 g	8.5-11.8 mg/100 g
	-	-	-
Salsa de tomate	-	0.3 mg/100 g	15.2 mg/100 g
	-	3.9%	24.1%
Puré de tomate	n.d.	0.4-0.5 mg/100 g	13.2-26.1 mg/100 g
	-	-	-
Zanahoria	2.8-5 mg/100 g	4.4-8.8 mg/100 g	n.d.
	81.60%	24.40%	-
Judías verdes	-	0.5 mg/100 g	-
	7.70%	3%	-
Espinacas	n.d.	3.1-4.8 mg/100 g	n.d.
	-	10.70%	-
Pimiento rojo	n.d.-0.3 mg/100 g	1.4-2.4 mg/100 g	-
	-	1.30%	-
Sandía	n.d.	0.3-0.8 mg/100 g	4.8-13.5 mg/100 g
	-	-	2.90%
Naranja	n.d.	0.2-0.5 mg/100 g	n.d.
	4.20%	2%	-
Plátano	0.06-0.2 mg/100 g	0.04-0.1 mg/100 g	n.d.-0.2 mg/100 g
	2.30%	-	-
Albaricoque	n.d.-0.04 mg/100 g	0.6-3.8 mg/100 g	0.05 mg/100 g
	-	-	-
Pomelo rosa	-	-	0.8 mg/100 g
	-	-	-
Guayaba	n.d.	0.1-2.7 mg/100 g	0.8-1.8 mg/100 g
	-	-	-

Tabla 5. Contenido de licopeno en distintas variedades de tomate, expresado como mg/kg de peso fresco (Martínez-Valverde *et al.*, 2002).

Variedad	Licopeno
Rambo	31.97±0.45 ^c
Senior	32.24±0.55 ^c
Ramillete	31.49±1.17 ^c
Liso	18.60±1.00 ^e
Pera	63.37±3.21 ^a
Canario	49.44±2.73 ^b
Durina	64.98±5.12 ^a
Daniella	36.32±3.52 ^{cd}
Remate	42.96±3.29 ^{bc}

Diferentes letras indican diferencias significativas (P<0.05)

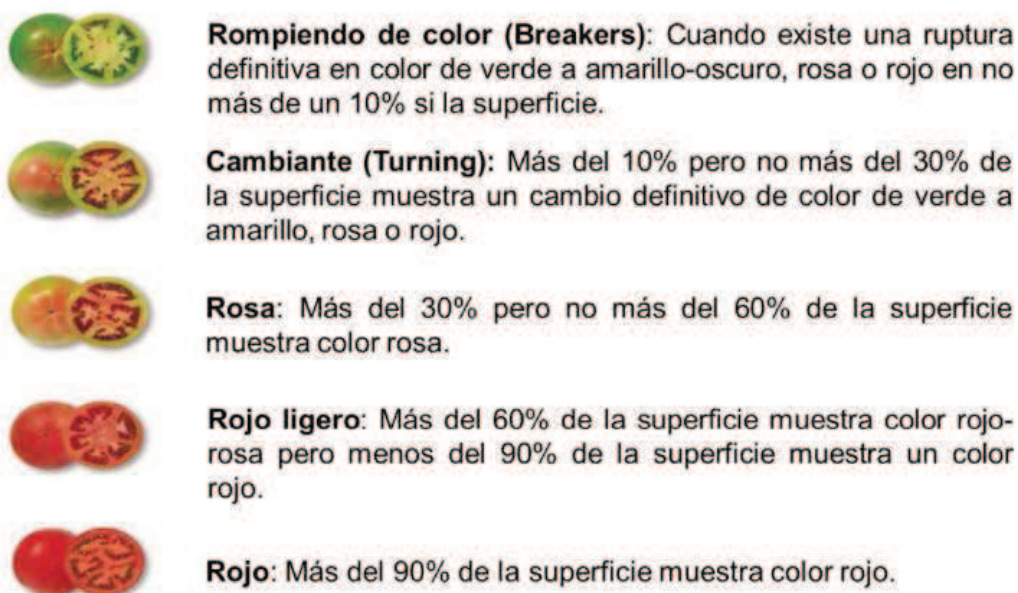


Figura 4. Clases de madurez fisiológica y comercial para tomates frescos.

2.1.3. Biodisponibilidad y absorción del licopeno

Para entender mejor muchos de los efectos saludables del licopeno es importante conocer los mecanismos por los cuales este carotenoide se incorpora a los tejidos para poder desarrollar su efecto *in vivo*. En general, la absorción del licopeno incluye la transferencia desde la matriz alimentaria hasta el interior de las micelas, la absorción por los enterocitos, la inclusión en los quilomicrones y finalmente, la secreción en el plasma (Roldan-Gutiérrez y Luque de Castro, 2007).

La absorción del licopeno, así como de otros carotenoides presentes en la dieta, depende de múltiples factores ya que generalmente estas sustancias se encuentran asociadas a macromoléculas en los alimentos, siendo necesaria su liberación de la matriz física para su absorción. Se ha observado que el proceso de calentamiento de los alimentos y la homogeneización pueden mejorar la biodisponibilidad de los carotenoides al disociarse estos de los complejos formados con las proteínas, y al producirse el ablandamiento o ruptura de las paredes celulares, facilitando la disociación y liberación desde la matriz alimentaria hacia la fase lipídica del alimento (Dewanto *et al.*, 2002; Seybold *et al.*, 2004; Lin y Chen 2005; Roldan-Gutiérrez y Luque de Castro, 2007). Por esta razón, el tomate cocinado tiene mayor cantidad de licopeno biodisponible que el tomate fresco. En este sentido, la pasta y el puré de tomate han demostrado ser fuentes de licopeno con mejor biodisponibilidad que el tomate crudo (Jacob *et al.*, 2010; Mordente *et al.*, 2011).

Dos de los principales factores que afectan a la absorción de los carotenoides son la presencia de grasa y de fibra dietética. El primero de ellos ejerce un efecto positivo al facilitar su absorción (Boileau *et al.*, 2002). Así, el consumo de zumo de tomate calentado con aceite de maíz aumenta 2-3 veces la concentración de licopeno en suero respecto a la ingestión de un zumo de tomate sin tratar (Stahl y Sies, 1992; Gartner *et al.*, 1997). La utilización de aceite de oliva también mejora la biodisponibilidad del licopeno (Clark *et al.*, 2000). Esto podría ser debido a que la presencia de grasa o aceite facilita la

solubilización del licopeno en las micelas (Tyssandier *et al.*, 2001; Huo *et al.*, 2007). Por esta razón la dieta mediterránea, en la cual se consume tomate cocinado con aceite de oliva favorece una eficiente absorción intestinal. Sin embargo, la presencia de fibra interfiere en la absorción al interactuar con los ácidos biliares, favoreciendo la eliminación de los mismos y reduciendo la absorción de los carotenoides presentes (Periago *et al.*, 2001).

Además, el tratamiento térmico también puede favorecer la isomerización del licopeno, siendo éste otro de los aspectos que podría favorecer la absorción. La isomerización del licopeno durante el procesado tecnológico se comentará más adelante en el *Apartado 4*.

Estudios realizados con técnicas *in vivo* e *in vitro*, han puesto de manifiesto que la mayor biodisponibilidad de los isómeros *cis* del licopeno sobre los isómeros *trans* se debe probablemente a que los isómeros *cis* son más solubles en las micelas de los ácidos biliares, por lo que pueden incorporarse con mayor facilidad a las células de la mucosa intestinal e incorporarse a los quilomicrones de las lipoproteínas (Lin y Chen, 2005).

Además, el licopeno sufre un proceso de isomerización *in vivo* tras su absorción. En un estudio reciente llevado a cabo utilizando modelos *in vivo* e *in vitro*, observaron que la isomerización del licopeno se produce fundamentalmente en el interior de los enterocitos donde el 29% del licopeno se encuentra en forma de isómeros *cis* (Richelle *et al.*, 2010). Aunque las condiciones de pH durante la digestión gástrica afectan al proceso de isomerización, incrementando el porcentaje de isomerización conforme disminuye el pH (Periago *et al.*, 2013), esta reacción es un proceso reversible, disminuyendo este porcentaje en condiciones de pH intestinal. Por lo que parece ser que la isomerización en el organismo se produciría en un nivel post-enterocitario (Tyssandier *et al.*, 2003).

En cuanto a la liberación de isómeros de licopeno desde el interior de los enterocitos al plasma, éste es transportado por las LDL (lipoproteínas de baja

densidad) y VLDL (lipoproteínas de muy baja densidad), representando hasta el 50% del total de carotenoides presentes en suero. Los niveles plasmáticos de licopeno varían según la población entre 50 y 900 nM/L (Clinton *et al.*, 1998), presentándose mayoritariamente como isómeros *cis*. En un estudio de intervención realizado en humanos Jacob *et al.* (2008) observaron que cuando el licopeno se encontraba en bajas concentraciones en plasma (por ejemplo, durante la fase de depleción o en dietas bajas en licopeno), el isómero 5-*cis* era el más abundante. Sin embargo, conforme aumentaba el consumo de licopeno en la dieta y por lo tanto la concentración de licopeno total en plasma, predominaba la forma *all-trans*. También se han identificado otros isómeros *cis*, como el 9-*cis*-licopeno que se encuentra en distintos tejidos a una concentración similar a la de los isómeros *all-trans*, el isómero 13-*cis* que contribuye al 20% del licopeno y el 15-*cis* que ha sido detectado en pequeñas cantidades (Stahl y Sies, 1992).

La posterior distribución del licopeno en los diferentes tejidos no se realiza de forma uniforme, ya que se cree que existen tejidos específicos en los que se acumula y realiza su acción. Diferentes estudios han detectado la presencia de licopeno en testículos, glándulas adrenales, hígado, próstata, tejido adiposo, glándulas mamarias, páncreas, pulmón, riñón, ovario, mucosa bucal y estómago (Clinton *et al.*, 1998; Nguyen y Schwartz, 1999; Periago *et al.*, 2001; Roldán-Gutiérrez y Luque de Castro, 2007). Sin embargo, la concentración *in vivo* de este compuesto depende de numerosos factores, como son la concentración en la dieta, la composición de la misma y la forma de preparación del alimento.

2.2. Compuestos fenólicos

2.2.1. Estructura y características químicas

Las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol, un anillo aromático con un grupo hidroxilo, y que reciben el nombre de compuestos fenólicos, polifenoles o fenilpropanoides (Ávalos y Pérez-Urria, 2009). Químicamente, presentan un anillo benceno hidroxilado como elemento común a sus estructuras (Parr y Bolwell, 2000), con uno o más grupos hidrófilos incluyendo derivados funcionales (ésteres, metil ésteres, glicósidos, etc.). Por ello constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, considerados metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y actividad, englobando más de 8.000 compuestos distintos (Del Rio *et al.*, 2013). Su variedad estructural es muy amplia, comprendiendo desde moléculas simples como los ácidos benzoicos hasta polímeros complejos como la lignina y los taninos (Hollman, 2001; Ávalos y Pérez-Urria, 2009). Pueden englobarse dentro de un importante grupo de fitoquímicos bioactivos no nutricionales, donde también se incluyen los terpenoides (carotenoides y fitoesteroles) y los compuestos azufrados (glucosinolatos y compuestos de aliáceas).

Existen dos rutas básicas implicadas en la biosíntesis de compuestos fenólicos: la ruta del ácido siquímico y la ruta del ácido malónico (Figura 5). La ruta del ácido malónico es una fuente importante de fenoles en hongos y bacterias, pero es poco empleada en plantas superiores. La ruta del ácido siquímico es responsable de la biosíntesis de la mayoría de los compuestos fenólicos de plantas. A partir de eritrosa-4-P y de ácido fosfoenolpirúvico se inicia una secuencia de reacciones que conduce a la síntesis de ácido siquímico y, derivados de éste, aminoácidos aromáticos (fenilalanina, triptófano y tirosina). La mayoría de los compuestos fenólicos derivan de la fenilalanina. Esta ruta (Figura 7) está presente en plantas, hongos y bacterias, pero no en animales (Ávalos y Pérez-Urria, 2009).

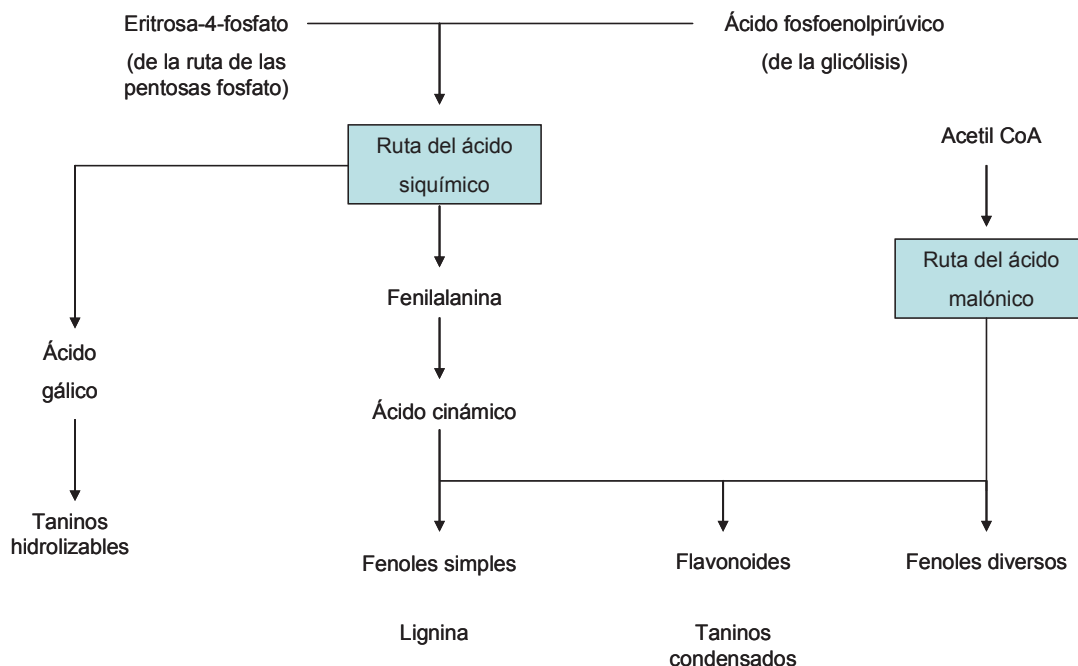


Figura 5. Rutas de síntesis de compuestos fenólicos (Ávalos y Pérez-Urria, 2009).

La enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) cataliza la formación de ácido cinámico por eliminación de una molécula de amonio de la fenilalanina (Figura 7). Las reacciones posteriores son básicamente adiciones de más grupos hidroxilo y otros sustituyentes. Los ácidos *trans*-cinámico y *p*-cumárico se metabolizan para formar ácido ferúlico y ácido cafeico cuya principal función es ser precursores de otros derivados más complejos: cumarinas, lignina, taninos, flavonoides e isoflavonoides (Ávalos y Pérez-Urria, 2009).

Unos pocos compuestos fenólicos, tienen un origen que no implica la participación de los aminoácidos aromáticos fenilalanina y tirosina, es el caso del ácido gálico, que se forma, en su práctica totalidad, directamente a través de la ruta del ácido siquímico (Figura 5), y algunas fitoalexinas que se forman por la ruta de los policétidos (Parr y Bolwell, 2000). La polimerización de los ácidos gálico y elágico (Figura 6), un derivado del anterior, da origen a un grupo de compuestos fenólicos, los taninos hidrolizables (galotaninos y elagitaninos) (Fennema, 1993).

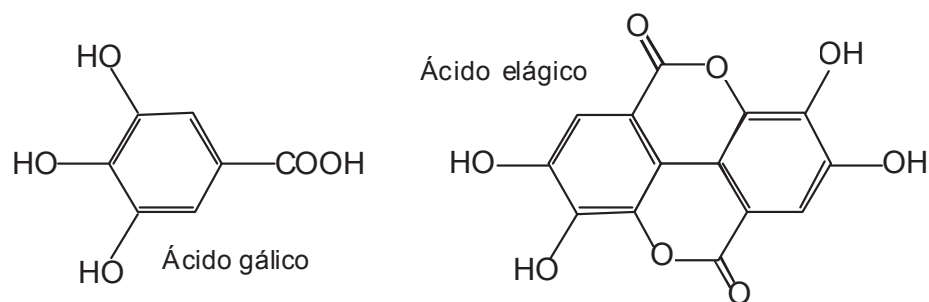


Figura 6. Estructura de los ácidos gálico y elágico.

En las plantas, los compuestos fenólicos se presentan conjugados con uno o más residuos de azúcar unidos a los grupos hidroxilo, aunque en ocasiones las uniones son directas entre el azúcar y un carbono del anillo aromático. Por ello, la forma más común de encontrarlos en la naturaleza es en forma de glicósido. Estas uniones los hacen solubles en agua y solventes orgánicos (Shahidi y Naczki, 1995). Los azúcares asociados pueden ser monosacáridos, disacáridos e incluso oligosacáridos, siendo los más frecuentes la glucosa, galactosa, arabinosa, rhamnosa, xilosa, los ácidos glucurónico y galacturónico. También pueden unirse a ácidos carboxílicos, ácidos orgánicos, aminas, lípidos y a otros compuestos fenólicos (Bravo, 1998). Los ácidos cinámicos o derivados del ácido hidroxicinámico suelen aparecer esterificados con ácido quínico, tartárico o glucosa (Robards *et al.*, 1999). Los más comunes en la naturaleza son los ácidos cafeico, ferúlico, sináptico y *p*-cumárico (Meyer *et al.*, 1998; Clifford, 2000).

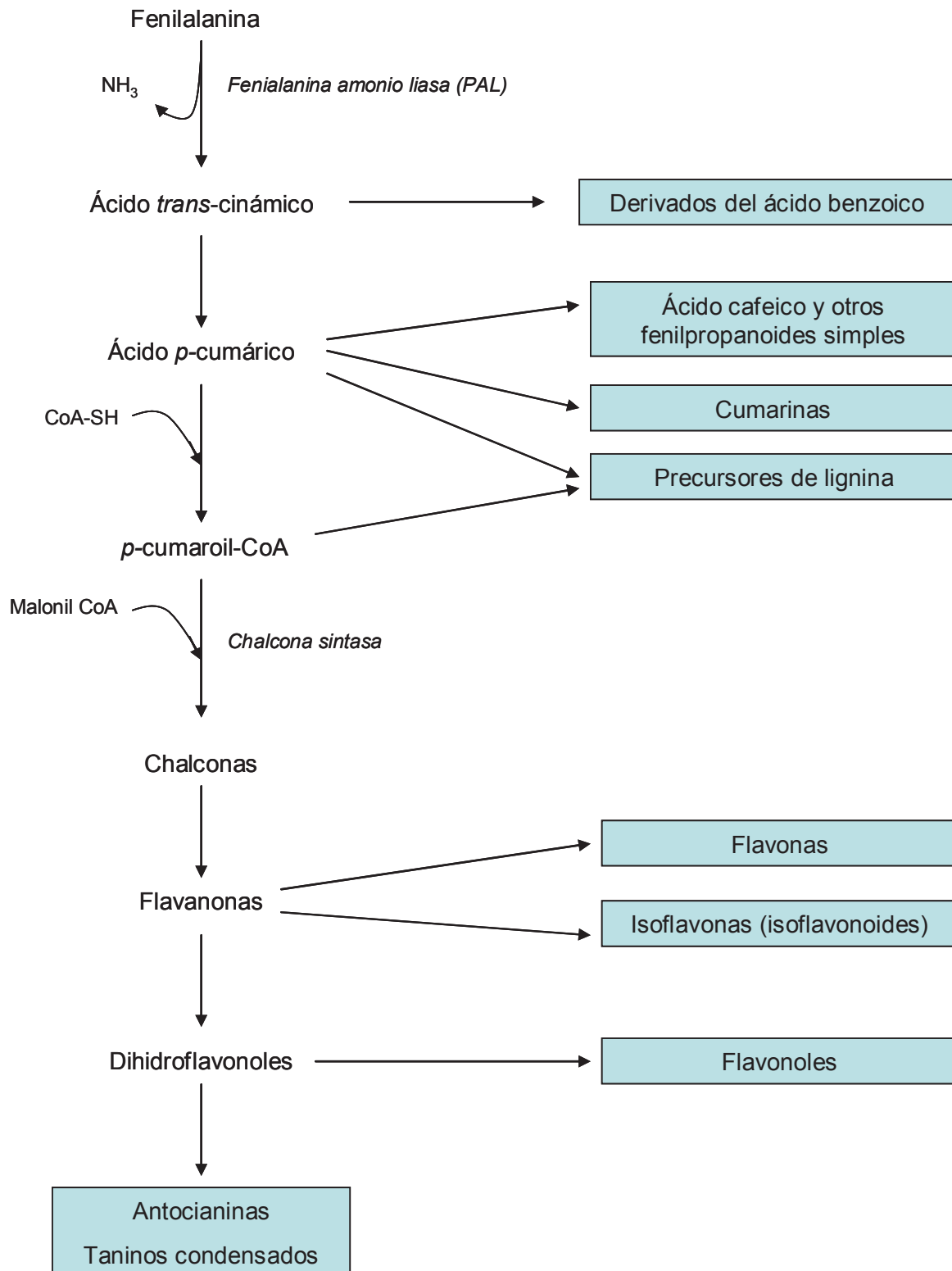


Figura 7. Ruta del ácido siquímico: desaminación de fenilalanina y formación de ácidos cinámico y cumárico, precursores de lignina, flavonas, isoflavonas y flavonoides (Ávalos y Pérez-Urria, 2009).

2.2.2. Contenido de compuestos fenólicos en el tomate

Los ácidos fenólicos y los flavonoides son los grupos más representativos presentes en el tomate. El conjugado más conocido es el ácido clorogénico (Figura 8), que resulta de la esterificación de los ácidos cafeico y quínico (Clifford, 2000) y constituye el derivado hidroxicinámico más importante en frutas, en las que en ocasiones aparece como compuesto fenólico predominante, como es el caso del tomate. En la Figura 8 se muestran las estructuras de los principales compuestos fenólicos presentes en tomates.

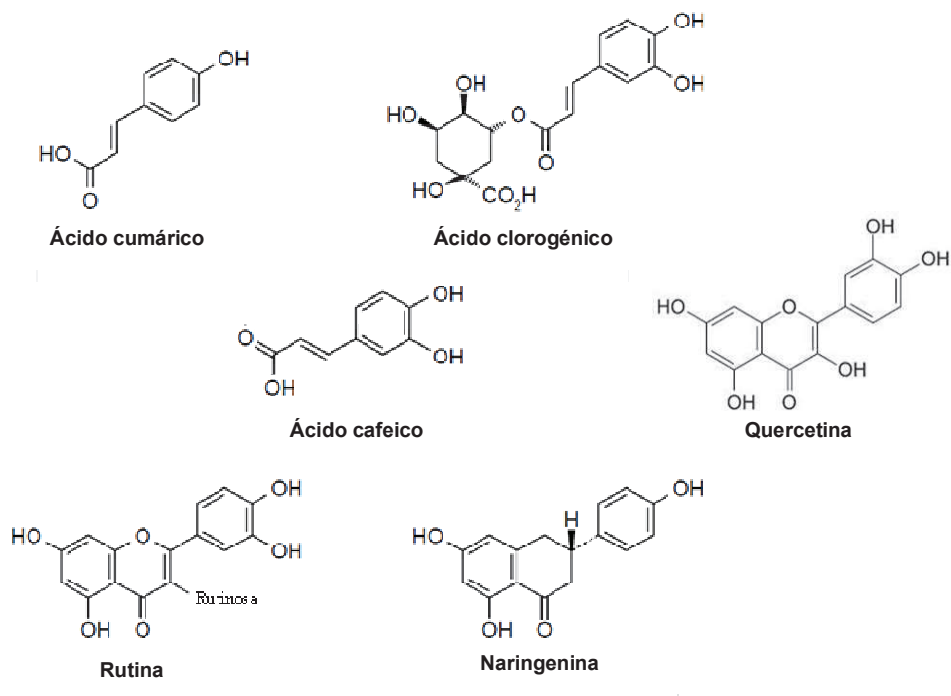


Figura 8. Estructura química de los principales compuestos fenólicos en tomates.

Hertog *et al.* (1992) analizaron un total de 28 vegetales, encontrando que los principales flavonoides presentes en ellos eran la quercetina seguida del canferol. El principal aporte de quercetina en la dieta lo constituye la cebolla (347 mg/kg), la col rizada (110 mg/kg), la lechuga (14 mg/kg), y el tomate (8 mg/kg). Estudios similares realizados en tomates cultivados en España mostraron una amplia variedad de resultados dependiendo de la variedad de

tomate y de la época del año, oscilando entre 2 mg/kg de peso fresco en la variedad Daniella y 203 mg/kg para la variedad Paloma enana (Crozier *et al.*, 1997). Por otra parte, se ha observado que los niveles de quercetina varían ampliamente entre las variedades cherry y las de tamaño normal (Crozier *et al.*, 1997) y disminuyen por diferentes métodos de cocinado. En general, los vegetales de la familia *Solanaceae* aportan gran parte tanto del ácido clorogénico de la dieta como de otros ácidos hidroxicinámicos (Bartolomé *et al.*, 1996). Martínez-Valverde *et al.*, (2002) determinaron el contenido de compuestos fenólicos individuales en tomates de distintas variedades, destacando la presencia de los ácidos cumárico (hasta 0.58 mg/100 g de peso fresco), clorogénico (1.43-3.28 mg/100 g de peso fresco) y cafeico (0.14-1.30 mg/100 g peso fresco), así como quercetina (0.72-4.36 mg/100 g peso fresco), canferol (hasta 0.21 mg/100g de peso fresco) y naringenina (hasta 1.26 mg/100 g de peso fresco).

La mayoría de los compuestos fenólicos presentes en el tomate se encuentran unidos a la cutícula. De los fenoles identificados en la cutícula de diferentes variedades de tomate (Hunt y Baker, 1980), los más abundantes son los ácidos cumáricos, naringenina, naringenina-7-glucósido y su correspondiente chalcona, chalconaringenina. Estos son sintetizados principalmente durante el climaterio.

Este amplio grupo de compuestos no sigue una misma tendencia en lo que respecta a su contenido durante la maduración del tomate. Mientras unos compuestos fenólicos disminuyen conforme avanza la maduración, otros no sufren apenas cambios o incluso aumentan. Buta *et al.* (1997) analizaron el contenido en dos variedades de tomate recolectadas en cinco estados de desarrollo del fruto (dos estados de crecimiento: verde inmaduro y verde maduro; tres estados de maduración: pintón, rosa y rojo). Los mayores niveles de ácido clorogénico se encontraron en la pulpa y el pericarpio de tomates en los primeros estados de desarrollo, disminuyendo rápidamente durante la maduración del fruto. La concentración de rutina seguía un patrón de cambio similar, mientras que el ácido *p*-cumárico conjugado con rutina se encontró en

una concentración más baja tanto en el crecimiento como en la maduración del tomate. También, se detectó un alto contenido de ácido *p*-cumárico glucósido únicamente en la pulpa del fruto maduro, no observando disminución en dicha concentración durante la maduración. En el caso de los compuestos fenólicos hidrofílicos totales, se ha observado un aumento durante la maduración del fruto (Cano *et al.*, 2003; Periago *et al.*, 2009). Sin embargo, el contenido en compuestos fenólicos totales, determinado mediante el método Folin-Ciocalteu, está sobreestimado, ya que este método cuantifica simultáneamente no sólo compuestos fenólicos sino también otros compuestos reductores como puede ser la vitamina C (Periago *et al.*, 2009). Según Cano *et al.* (2003), el contenido en compuestos fenólicos solubles en disolventes orgánicos no cambió significativamente durante la maduración, y su contribución a los compuestos fenólicos totales (suma de compuestos fenólicos solubles en agua y en disolventes orgánicos) no fue mayor de un 12%. Por el contrario, el contenido de compuestos fenólicos solubles en agua aumentó durante la maduración del tomate.

2.2.3. Biodisponibilidad y absorción de los compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se encuentran en la mayoría de las 350 especies vegetales consumidas regularmente por el hombre (Scalbert y Williamson, 2000) y son en parte responsables de las propiedades organolépticas de los alimentos de origen vegetal como por ejemplo el sabor astringente (Tomás-Barberán y Espín, 2001). En las plantas desempeñan funciones relacionadas con el crecimiento y reproducción, y en procesos defensivos frente a patógenos, depredadores o radiación ultravioleta. Los más comunes en los alimentos son generalmente los ácidos fenólicos, flavonoides, lignanos, estilbenos, cumarinas y taninos (Harbourne, 1993).

La estructura química de los compuestos fenólicos y la forma en que se ingieran (agliconas, ésteres, polímeros, glicósidos, etc.) van a determinar el tipo y el alcance de la absorción intestinal así como la naturaleza de los

metabolitos que circulan por el plasma (Scalbert *et al.*, 2002). Algunas agliconas de los compuestos fenólicos pueden ser absorbidas en el estómago (Piskula *et al.*, 1999; Crespy *et al.*, 2001) o en el intestino delgado. Sin embargo, la mayoría de los compuestos fenólicos se encuentran en la naturaleza en forma de polímeros, ésteres y glicósidos que no se pueden absorber en su forma original y previamente tienen que ser hidrolizados por las enzimas intestinales (lactasa florizina hidrolasa y β -glucosidasa localizadas en el borde en cepillo y en el citosol respectivamente) o por la microflora del colon (Hollman *et al.*, 2004; Manach *et al.*, 2004). Los compuestos fenólicos provenientes de la dieta que no son absorbidos en el intestino delgado (junto con aquellos expulsados vía bilis), alcanzan el colon donde son sometidos a modificaciones estructurales (Williamson y Clifford, 2010). Los compuestos resultantes de este proceso de metabolización son compuestos de un tamaño molecular inferior al de los compuestos de los que provienen. Este hecho hace que estos nuevos compuestos formados puedan ser absorbidos fácilmente en el colon o bien ser eliminados del cuerpo a través de las heces.

Antes de pasar al torrente sanguíneo, los compuestos fenólicos sufren otras modificaciones estructurales debido al proceso de conjugación (Felgines *et al.*, 2005) que tiene lugar en el intestino delgado y, principalmente, en el hígado. La conjugación representa un proceso de detoxificación metabólica común a muchos compuestos xenobióticos que limita sus efectos tóxicos potenciales y facilita su eliminación biliar y urinaria, debido a un aumento de su hidrofiliidad y peso molecular. La glucuronidación es particularmente importante para aumentar el peso molecular, necesario para la excreción en la bilis (Day *et al.*, 2000b). Los compuestos fenólicos que siguen la ruta biliar son secretados en el duodeno, donde son sometidos a la acción de enzimas bacterianas, especialmente la β -glucuronidasa, tras la cual son reabsorbidos. Este reciclaje enterohepático prolonga la presencia de los compuestos fenólicos en el organismo.

Todas estas modificaciones afectan a la actividad biológica de los compuestos fenólicos (Zhang *et al.*, 1999; Day *et al.*, 2000a; Wen y Walle

2006a; Wen y Walle 2006b; Landis-Piwowar *et al.*, 2008; Del Rio *et al.*, 2010). En consecuencia, los compuestos que alcanzan las células y tejidos son química, biológica y, en algunos casos, funcionalmente diferentes de la forma originalmente ingerida.

Los compuestos fenólicos se encuentran principalmente en aquellos tejidos donde se han metabolizado (tejido hepático, estomacal, intestinal, colónico y nefrítico (Clifford, 2004; Graf *et al.*, 2006; Bieger *et al.*, 2008), pero además también pueden acumularse en tejidos dianas específicos, como el tejido pulmonar, el pancreático, el cerebral, el cardíaco y el tejido esplénico (Hong *et al.*, 2002; Parkar *et al.*, 2008).

Los efectos beneficiosos derivados del consumo de compuestos fenólicos dependen de la cantidad consumida y de su biodisponibilidad. Muchos de los compuestos fenólicos muestran un amplio rango de efectos biológicos. A los flavonoides se les atribuyen potenciales efectos beneficiosos relacionados con la enfermedad cardiovascular y el cáncer. Los efectos beneficiosos sobre la enfermedad cardiovascular son fundamentalmente consecuencia de sus propiedades antioxidantes que pueden justificar sus acciones vasodilatadoras y vasoprotectoras, así como sus acciones antitrombóticas, antilipémicas, antiateroscleróticas, antiinflamatorias y antiapoptóticas (Quiñones *et al.*, 2012). Además de los flavonoides, el ácido clorogénico y sus derivados son los principales compuestos fenólicos presentes en el tomate. Los ácidos clorogénicos poseen propiedades beneficiosas relacionadas con su actividad antioxidante y efectos hepatoprotectores, hipoglucémicos y antivirales (Slimestad y Verheul, 2009). Un gran número de compuestos fenólicos (por ejemplo, ésteres cafeicos, catequinas, etc.) son buenos antioxidantes a concentraciones relativamente bajas, mientras que a altas concentraciones pueden comportarse como pro-oxidantes, ya que ellos mismos son susceptibles de oxidarse desencadenando reacciones de iniciación (Robards *et al.*, 1999). La actividad de estos compuestos como antioxidantes es beneficiosa tanto en los alimentos como en el organismo, donde los compuestos fenólicos son oxidados

antes que otros constituyentes de los alimentos o componentes celulares y tejidos (Robards *et al.*, 1999).

2.3. Vitamina C

2.3.1. Estructura y características químicas

La vitamina C se encuentra de forma natural como ácido L-ascórbico o ácido dehidroascórbico, una sustancia muy soluble con propiedades ácidas y fuertemente reductoras (Fennema, 1993). El ácido L-ascórbico (Figura 9) es una lactona provista de un grupo enodiol, que estructuralmente corresponde a un éster cíclico de un ácido hidroxicarboxílico (Wong, 1989).

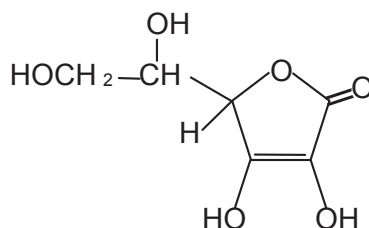


Figura 9. Estructura del ácido L-ascórbico.

2.3.2. Contenido de vitamina C en el tomate

El ácido ascórbico se encuentra ampliamente distribuido en alimentos vegetales frescos (Ramón *et al.*, 1997) entre los cuales, los cítricos y otras frutas (kiwi, fresa, melón, etc.) constituyen la mayor fuente de vitamina C (Lloret *et al.*, 1999), destacando también algunas hortalizas como el tomate y el pimiento. El contenido de vitamina C, tanto en tomate fresco como en productos procesados, varía considerablemente pudiendo oscilar entre valores

comprendidos entre 2 y 21 mg/100 g de peso fresco, según datos recogidos en la bibliografía científica (Frusciante *et al.*, 2007).

Entre los factores que más afectan al contenido vitamínico de los tomates, destacan los factores relacionados con el crecimiento del fruto. Factores como la luz o la escasez de agua, tienden a ejercer un efecto positivo sobre el contenido en esta vitamina (Dumas *et al.*, 2003). El uso de nitrógeno en tasas elevadas está relacionado con un menor contenido de vitamina C, probablemente debido a un mayor desarrollo del follaje de la planta y la menor incidencia de luz (Dumas *et al.*, 2003). El estado de maduración del fruto también parece influir de una manera directa sobre el contenido de esta vitamina (Jiménez *et al.*, 2002; Cano *et al.*, 2003). Durante la maduración del fruto se han observado diferentes resultados. Algunos autores observaron que el contenido en vitamina C permanece prácticamente constante en las primeras etapas de maduración (tomate verde, pintón y rosa), aumentando ligeramente en el tomate rojo maduro (Jiménez *et al.*, 2002; Cano *et al.*, 2003). En este sentido, Periago *et al.* (2009), encontraron diferencias en el contenido de vitamina C en tres estadios de maduración (verde inmaduro, rosa y rojo maduro) de tres variedades de tomate analizadas, encontrando un contenido creciente de esta vitamina conforme la maduración avanzaba. Sin embargo, otros investigadores obtuvieron resultados diferentes observando un aumento durante las primeras etapas de maduración, seguido de una disminución (Abushita *et al.*, 1997; Giovanelli *et al.*, 1999).

2.3.3. Biodisponibilidad y absorción de la vitamina C

La absorción del ácido ascórbico tiene lugar en el intestino delgado por un mecanismo de transporte activo y también por difusión pasiva, alcanzando niveles de entre el 80 y 90% cuando la ingestión de esta vitamina es baja. Por otro lado, cuando la ingestión es alta (1 g/día) se reduce significativamente su absorción (Birujete *et al.*, 2009), por lo que el mecanismo de absorción es

saturable. En el plasma, la vitamina C se encuentra en su forma reducida y es transportada al interior celular utilizando tanto transportadores de glucosa como transportadores específicos de esta vitamina. La concentración de vitamina C en plasma comienza a aumentar 15-20 minutos después de la ingestión y alcanza su máximo entre 1-2 horas después de la misma (Benzie y Strain, 1997; Graumlich *et al.*, 1997). Tras su absorción, pasa fácilmente hacia los tejidos suprarrenales, riñones, hígado y bazo, donde sus niveles parecen estar en equilibrio con los niveles séricos. En cuanto a su excreción, las cantidades excesivas ingeridas se eliminan en orina como ácido oxálico, y en ingestas superiores a 100 g/día los excesos se excretan como ácido ascórbico o se exhalan como CO₂ (Mahan y Escott-Stump, 1998).

En el organismo, la vitamina C participa en numerosos e importantes procesos metabólicos como son la síntesis de colágeno, el metabolismo del hierro o la síntesis de neurotransmisores y hormonas. Es necesaria en procesos inmunitarios (Mahan y Escott-Stump, 1998) y debido a sus propiedades antioxidantes, participa en la protección contra las lesiones producidas por radicales libres (Wong, 1989). El ácido ascórbico, por su carácter hidrofílico, es el principal antioxidante de las fases intra- y extracelular (Ramón *et al.*, 1997) y está considerado uno de los antioxidantes naturales más poderosos y menos tóxicos (Weber *et al.*, 1996). Puede actuar como cofactor enzimático de mono- y dioxigenasas, como antioxidante, interactuando de forma enzimática y no enzimática con radicales libres de oxígeno y sus derivados, y como donante/aceptor de electrones en el transporte en la membrana plasmática. El ácido ascórbico es capaz de neutralizar los radicales superóxido e hidroxilo, así como regenerar α -tocoferol (Davey *et al.*, 2000). Algunos estudios han demostrado que aunque el ácido ascórbico (hidrosoluble) reacciona en menor medida con radicales lipídicos que el licopeno (liposoluble), esta vitamina es capaz de interactuar con las formas oxidadas del licopeno y licoxantina para regenerar el licopeno y licoxantina en reacciones en cadena (Biacs y Daood, 2000).

2.4. Folatos

2.4.1. Estructura y características químicas

Folato y folacina son términos genéricos que incluyen sustancias con estructura química idéntica a la del ácido fólico. Tal como se puede observar en la Figura 10, se trata de compuestos formados por tres elementos principales: un núcleo pteridínico, una molécula de ácido *p*-aminobenzoico y una molécula de ácido glutámico (Entrala, 1995).

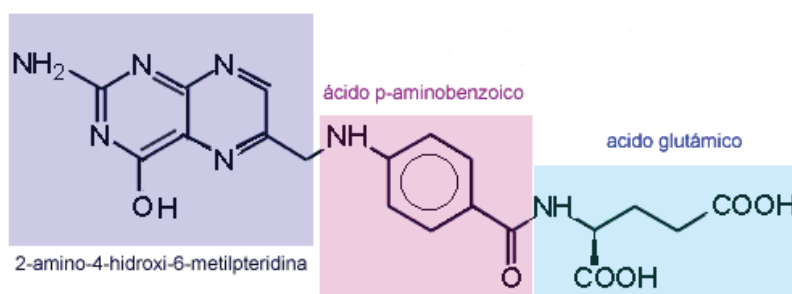
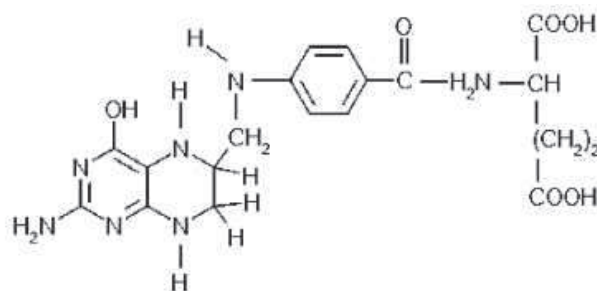
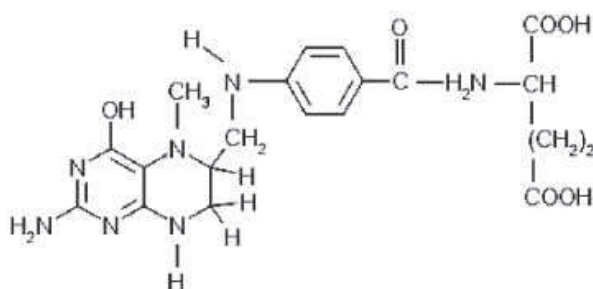


Figura 10. Estructura del ácido fólico

En las células podemos encontrar diferentes tipos de folatos que difieren en el estado de oxidación del anillo de pteridina, el grupo funcional sustituyente del carbono (formimino, formil, metil, metileno, etc.), y el número de residuos de glutamato (Rébeillé *et al.*, 2006). Tetrahydrofolato (H₄-folato) y 5-metiltetrahydrofolato (5-MTHF) son las principales formas presentes en los alimentos de origen vegetal, mientras que la forma 5-MTHF es la mayoritaria en el organismo humano (Figura 11).



Ácido 5,6,7,8-tetrahidrofólico



Ácido 5-metil-5,6,7,8-tetrahidrofólico

Figura 11. Estructura química de las formas reducidas de ácido fólico tetrahidrofolato y 5-metiltetrahidrofolato.

2.4.2. Contenido de folatos en el tomate

El ácido fólico se encuentra muy distribuido entre los alimentos de origen vegetal, especialmente en verduras de hoja verde oscura. Los principales contribuidores a la ingesta de folatos en Europa son verduras, frutas, cereales y patatas (De Bree *et al.*, 1997). La deficiencia de folatos en la dieta aumenta el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Van Guelpen *et al.*, 2005), defectos del tubo neural (De Wals *et al.*, 2007), cáncer colorrectal (Cole *et al.*, 2007) y artritis reumatoide (Khanna *et al.*, 2007). Sin embargo, el contenido de las diferentes formas de folatos y su distribución y estabilidad en verduras, frutas y cereales depende de numerosos factores como pueden ser los genéticos, condiciones de cultivo y manejo durante la cosecha y

poscosecha, procesado industrial y condiciones de almacenamiento (Scott *et al.*, 2000).

Los folatos constituyen uno de los compuestos bioactivos presentes en los tomates que son considerados beneficiosos para la salud, especialmente en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Willcox *et al.*, 2003). Aunque los tomates no se consideran generalmente como una fuente importante de folatos en la alimentación humana, dado su gran consumo en casi todos los tipos de dietas y culturas, pueden contribuir a su aporte de manera significativa (Willcox *et al.*, 2003). Se han realizado algunos estudios sobre el contenido de folatos en tomates, observándose que la variedad de tomate influye significativamente sobre el contenido (Olivares *et al.*, 2004). Sin embargo, son muy escasas las investigaciones sobre la influencia de la maduración y el procesado industrial sobre el contenido de folatos en el tomate y sus productos derivados. Periago *et al.* (2009) observaron que el contenido de 5-MTHF disminuye a lo largo de la maduración del tomate con valores que oscilan entre 4 y 13.56 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ en tomates verdes; entre 2.37 y 7 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ en tomates rosados, y entre 1.93 y 6.44 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ en tomates rojos. En las tres variedades estudiadas, el contenido de folato disminuyó en más de un 50% desde la forma verde a la roja. Este mayor contenido de 5-MTHF en los tomates verdes que en los maduros puede ser debido a que este compuesto es necesario para la puesta en marcha del aparato fotosintético, ya que interviene en la síntesis de S-adenosilmetionina, sustancia que produce la metilación de enzimas que intervienen en la fotosíntesis (Gambonet *et al.*, 2001). En cuanto al efecto del tratamiento térmico, Indrawati *et al.* (2004) observaron que los folatos permanecen relativamente estables hasta 120 °C. Además observaron que los antioxidantes, especialmente el ácido ascórbico, tienen un efecto protector retrasando la degradación de los folatos durante el tratamiento térmico.

2.4.3. Biodisponibilidad y absorción de los folatos

Los mamíferos no son capaces de sintetizar folatos ya que no pueden sintetizar el anillo de pteridina. Los folatos se obtienen de la dieta o a partir de los microorganismos del tracto gastrointestinal (Arya y Pavitra, 2012). En el estómago, parte de los folatos pueden ser degradados debido al ácido péptico. Para que los folatos sean absorbidos, estos deben ser previamente digeridos hasta su forma monoglutámica por la enzima intestinal folato conjugasa, exopeptidasa activada por zinc que se encuentra en el borde en cepillo. Esta es una etapa limitante en la absorción de folatos (Shafizadeh *et al.*, 2007). También participa una segunda enzima, una endopeptidasa que se encuentra en los lisosomas de las células intestinales, aunque su función es todavía desconocida (Tyagi *et al.*, 2011). Los monoglutamatos están presentes en la circulación portal, y en el hígado se transforman en derivados poliglutámicos que son almacenados o que pasan al torrente sanguíneo (Arya y Pavitra, 2012).

3. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

El término *antioxidante* define cualquier sustancia que, estando presente a una concentración más baja comparada con la de un sustrato oxidable, inhibe o retrasa de un modo significativo la oxidación de ese sustrato (Halliwell y Gutteridge, 1999).

La dieta humana contiene gran cantidad de compuestos con actividad antioxidante, que son aportados principalmente por alimentos de origen vegetal tales como frutas, verduras, aceites vegetales, semillas, etc. Entre estos componentes de la dieta encontramos nutrientes antioxidantes como la vitamina C, la vitamina E y los carotenoides, y antioxidantes que no se consideran nutrientes, entre los que destacan los compuestos fenólicos (Lloret *et al.*, 1999). Hay que considerar también el papel de determinados

conservantes como el E₃₀₀ (L-ascorbato), E₃₀₁ (ascorbato sódico), E₃₀₆ (mezcla de tocoferoles), E₃₂₀ (butilhidroxianisol o BHA) o E₃₂₁ (butilhidroxitolueno o BHT), que constituyen una fuente importante de antioxidantes en nuestra dieta (Ramón *et al.*, 1997). No obstante, hay datos que indican la posible toxicidad del BHA y el BHT (Moure *et al.*, 2001).

Gran parte de la investigación sobre antioxidantes naturales se ha centrado en el estudio de compuestos fenólicos como son los flavonoides y ácidos hidroxicinámicos debido a su importante contribución en la actividad antioxidante de muchos vegetales. En este sentido, Periago *et al.* (2009) describen que la actividad antioxidante hidrofílica durante la maduración del tomate está determinada mayoritariamente (95%) por el contenido de fenoles totales y flavonoides. Debido a su estructura, los compuestos fenólicos son muy eficientes inactivadores de radicales peroxilo (Halliwell, 1992; Aruoma, 1999). Además, la acción antioxidante de estos compuestos está relacionada con su capacidad para reducir y quelar el hierro férrico que actúa como catalizador en la peroxidación lipídica (Gazzani *et al.*, 1998). Según estudios realizados por Martínez-Valverde *et al.* (2002) mediante el método DPPH, compuestos como la quercetina y los ácidos clorogénico y ferúlico pueden considerarse con baja actividad antioxidante, mientras que el ácido cafeico se considera como un ácido hidroxicinámico con actividad antioxidante media. Asimismo, estos autores observaron que la capacidad antioxidante de los extractos de tomate se correlacionaba principalmente con el contenido en compuestos fenólicos totales, ácido ferúlico y cafeico.

Recientemente está aumentando el interés sobre la posible función antioxidante de los folatos (Gliszczyńska-Swigło *et al.*, 2007; Higashi-Okai *et al.*, 2006). El ácido fólico ha mostrado un efecto antioxidante *in vitro* que podría ser beneficioso para la salud (Joshi *et al.*, 2001). Además, el tetrahidrofolato y el [6S]-5-MTHF son considerados los compuestos más activos inhibiendo la peroxidación lipídica *in vitro* (Rezk *et al.*, 2003). Merola *et al.* (2013) han observado diferencias entre la actividad antioxidante de distintos

esteroisómeros de 5-MTHF, lo cual debería ser considerado cuando se utilizan folatos sintéticos para el enriquecimiento de alimentos.

Además de los compuestos fenólicos y los folatos, los carotenoides tienen actividad antioxidante que es proporcionada por la cadena hidrofóbica de unidades de polieno que tienen la capacidad de inactivar el oxígeno-singlete (1O_2), neutralizar radicales sulfenilo y combinarse con radicales peroxilo estabilizándolos (Palace *et al.*, 1999). Las evidencias epidemiológicas ponen de manifiesto la importancia de los carotenoides y principalmente del licopeno, en la disminución de la incidencia de algunas enfermedades (Willcox *et al.*, 2003; Sharoni y Levi, 2006; Mordente *et al.*, 2011). Este efecto se basa en la principal propiedad biológica del licopeno, que es la de actuar como sustancia antioxidante al reaccionar con agentes oxidantes, reduciendo la reacción de oxidación tanto *in vitro* como *in vivo*, al eliminar estos agentes de los sistemas biológicos o al detener la formación de radicales libres (Britton, 1995) por los mecanismos citados anteriormente. Se ha determinado que el 5-*cis*-licopeno es el isómero más estable, seguido del *all-trans*-licopeno (Mordente *et al.*, 2011). Sin embargo, el primero presenta la más alta actividad antioxidante, mientras que el isómero *all-trans* posee la menor capacidad antioxidante (Chasse *et al.*, 2001). Además, los isómeros *cis* presentaron valores TEAC (*Trolox equivalent antioxidant capacity*) significativamente mayores en comparación con los correspondientes isómeros *all-trans* (Böhm *et al.*, 2002).

Se ha observado que el licopeno puede actuar sinérgicamente con otros compuestos naturales como la vitamina E, inhibiendo la proliferación celular en el carcinoma de próstata (Pastori *et al.*, 1998). El tomate también contiene vitamina E (α - y γ -tocoferol), y aunque su contenido es bajo (1-3 mg/kg) (Grolier, 1999), puede contribuir a la actividad antioxidante del tomate. Fuhrman *et al.* (2000), observaron que la combinación de licopeno con vitamina E produce un efecto antioxidante sinérgico sobre la oxidación de las LDL. Sin embargo, los mecanismos por los que se producen estos efectos sinérgicos son escasamente conocidos (Kotíková *et al.*, 2011).

Diferentes autores (Cano *et al.*, 2003; Toor y Savage, 2005; Periago *et al.*, 2009; Kotíková *et al.*, 2011), han mostrado que la actividad antioxidante del tomate está determinada principalmente por los antioxidantes hidrofílicos (ácido ascórbico y compuestos fenólicos), siendo el ácido ascórbico el de mayor contribución a la actividad antioxidante hidrofílica. Sin embargo, los antioxidantes de carácter lipofílico (principalmente carotenoides y vitamina E) presentan relativamente menor actividad antioxidante y, por tanto, en el tomate fresco la actividad antioxidante hidrofílica tiene mucho mayor impacto sobre la actividad antioxidante total en comparación con la actividad antioxidante lipofílica.

Según Jacob *et al.* (2010), en productos procesados de tomate con bajo contenido de vitamina C, la actividad antioxidante está determinada principalmente por los antioxidantes fenólicos. Debido a que el contenido en compuestos fenólicos individuales depende de diversos factores tanto agronómicos como tecnológicos, el contenido de flavonoides totales y compuestos fenólicos totales puede ser considerado un indicador de la actividad antioxidante de estos productos.

4. CAMBIOS EN EL CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE PRODUCIDOS DURANTE EL PROCESADO TECNOLÓGICO

Generalmente, los productos procesados derivados del tomate presentan una mayor proporción de licopeno como consecuencia de la concentración, deshidratación y calentamiento aplicados durante el procesado industrial (Takeoka *et al.*, 2001, Dewanto *et al.*, 2002; García-Alonso *et al.*, 2009; Jacob *et al.*, 2010), aumentando incluso su biodisponibilidad al romper la integridad de la matriz celular del tomate mediante homogeneización mecánica y permitiendo su liberación (Van het Hof *et al.*, 2000). La Tabla 6 muestra la

cantidad de licopeno presente en el tomate y sus productos derivados, así como su contribución a la ingesta total de licopeno en la dieta de acuerdo a la ración habitual de cada uno de estos alimentos.

Tabla 6. Contribución del tomate y sus productos procesados a la ingesta de licopeno en la dieta (Periago *et al.*, 2001).

Alimento	Tipo	mg/100g	Ración	mg/ración
Tomates	Frescos	3.1-7.74	130 g	4.03-10.06
Tomates	Enlatados	11.21	125 g	14.01
Zumo de tomate	Procesados	7.83	240 mL	19.58
Sopa de tomate	Concentrado	3.99	245 g	9.77
Pasta de tomate	Enlatado	30.07	30 g	9.02
Salsa de tomate	Procesado	9.28	40 g	3.71
Ketchup	Procesado	16.60	20 g	3.32
Salsa de espagueti	Procesado	17.50	125 g	21.88
Salsa de pizza	Enlatada	12.71	125 g	15.89
Salsa de pizza	En la pizza	32.89	30 g	9.87

El efecto del procesado sobre el contenido de licopeno depende directamente de la exposición tiempo-temperatura. El tratamiento térmico suave, como el utilizado en la producción de zumo de tomate, y el cocinado de los alimentos conllevan a obtener concentraciones similares de licopeno total (expresadas en peso seco) (Shi *et al.*, 2003; Roldán-Gutiérrez y Luque de Castro, 2007; García-Alonso *et al.*, 2009). Sin embargo, sí se ha observado degradación del licopeno y otros carotenoides debido a su oxidación producida como consecuencia de tratamientos térmicos intensos (más de 100 °C) y prolongados (Jacob *et al.*, 2010). Este es el caso del procesado del tomate en forma de pasta, ya que requiere largos tiempos de calentamiento. En cuanto a la isomerización, se recogen diferentes resultados en la literatura científica dependiendo de las condiciones de procesado estudiadas. Roldán-Gutiérrez y Luque de Castro (2007) describieron un aumento significativo de la concentración de isómeros *cis* durante el procesado, aunque Shi *et al.* (2003) observaron que este aumento sólo se produce durante la primera hora de calentamiento, ya que después disminuyen. Otros investigadores por el

contrario sugieren que el licopeno es relativamente estable a las reacciones de isomerización producidas durante el procesado térmico (Abushita *et al.*, 2000; Takeoka *et al.*, 2001; Seybold *et al.*, 2004; Jacob *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista nutricional, la formación de isómeros *cis* puede resultar beneficiosa ya que varios estudios han demostrado que son mejor absorbidos por el organismo humano que las formas *trans* (Boileau *et al.*, 2002). En el caso de que se produjera isomerización durante el procesado del tomate, el licopeno podría ser mejor absorbido en productos que han sido sometidos a tratamiento térmico que en productos crudos. Este aumento en la biodisponibilidad, también se ve favorecido por el hecho de que el calentamiento facilita la liberación del licopeno debido a la rotura de las paredes celulares, lo cual debilita las fuerzas de unión entre el licopeno y los tejidos vegetales, y aumenta el área disponible para la digestión (Dewanto *et al.*, 2002; Seybold *et al.*, 2004; Xianquan *et al.*, 2005). Por tanto, el control del tiempo y la temperatura de tratamiento parecen ser claves para conseguir unas condiciones de procesado óptimas que favorezcan la formación de isómeros *cis* en alimentos a base de tomate, sin que se produzca degradación de licopeno.

Capanoglu *et al.* (2008) estudiaron los cambios producidos en la actividad antioxidante y en los principales compuestos bioactivos durante la producción de pasta de tomate. En general, estos autores observaron una modesta disminución tanto de la actividad antioxidante hidrofílica como lipofílica, aunque la mayor parte de sustancias antioxidantes se encontraron en los extractos hidrofílicos, siendo la más importante la vitamina C seguida por los compuestos fenólicos (rutina, ácido clorogénico y naringenina chalcona). El contenido en compuestos fenólicos totales, estimado utilizando el método Folin-Ciocalteu, no varió de forma significativa durante el procesado. Sin embargo, cuando analizaron los flavonoides más importantes presentes en el tomate (naringenina chalcona, naringenina, rutina y rutina apiósido) estos aumentaron más del doble tras la etapa de rotura del fruto, aunque posteriormente este incremento se revirtió tras la etapa de retirada de pieles

y semillas, dando como resultado niveles similares de estos flavonoides en la pasta y en el tomate fresco. Al contrario de lo ocurrido con los flavonoides, el contenido de ácido clorogénico, principal ácido hidroxicinámico presente en el tomate, no aumentó tras la etapa de rotura del fruto con respecto al fruto original (Capanoglu *et al.*, 2008). Por el contrario, Gahler *et al.* (2003) y Jacob *et al.* (2010), observaron que el tratamiento térmico produce un incremento significativo de compuestos fenólicos totales y flavonoides totales en el puré de tomate, principalmente debido a la rotura de la estructura celular lo que permite una mejor extracción de estos compuestos.

Otro cambio producido en los flavonoides durante el procesado, fue la conversión de la naringenina chalcona en su forma isomérica flavanona naringenina (Dey y Harborne, 1993). Al final del procesado, la chalcona es indetectable en la pasta de tomate mientras que la naringenina representa el 11% de naringenina total/naringenina chalcona presente en el fruto (Capanoglu *et al.*, 2008). Según estos últimos autores, existen dos etapas del procesado industrial que afectan especialmente al contenido de sustancias bioactivas. Primero, la etapa en que se efectúa la retirada de piel y semillas es donde se producen los mayores cambios. Éstos incluyen una gran reducción en el nivel de muchos flavonoides y alcaloides con respecto al contenido en el fruto fresco. La segunda etapa importante es la de rotura del fruto. Tras esta etapa, el contenido de muchos flavonoides y algunos alcaloides aumentan dos o tres veces. Sin embargo, se observa una ligera disminución de la actividad antioxidante debido a que la vitamina C, que es el antioxidante mayoritario, disminuye durante esta etapa del procesado.

La pérdida de vitamina C se debe principalmente a su degradación química que se produce por la oxidación del ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico, seguido de una hidrólisis a ácido 2,3-dicetogulónico y su posterior polimerización para formar otros productos sin valor nutricional (Gregory, 1996) . Debido a que el calor acelera el proceso de oxidación del ácido ascórbico, el procesado térmico produce pérdidas en el contenido de vitamina C de frutas y verduras (Gregory, 1996; Dewanto *et al.*, 2002; Gahler

et al., 2003, Capanoglu *et al.*, 2008). Estos últimos autores observaron que conforme aumenta el tiempo de calentamiento y las etapas de procesado disminuye el contenido de vitamina C en distintos productos de tomate (zumo de tomate, tomates asados, salsa de tomate y sopa de tomate). Debido a la mayor intensidad del tratamiento térmico necesario para la obtención de pasta de tomate, se produce una pérdida gradual y significativa de vitamina C de un 50% (Capanoglu *et al.*, 2008).

La pérdida de folatos durante el procesado, almacenamiento y cocinado depende principalmente de la temperatura aplicada así como de la presencia de oxígeno y de la exposición a la luz. Por tanto, los tratamientos con agua caliente y vapor a altas temperaturas pueden conllevar importantes pérdidas en el contenido de este micronutriente. Por el contrario, la pasteurización a bajas temperaturas no parece causar importantes pérdidas (Stea *et al.*, 2006).

Por todo ello, sería de gran importancia la recuperación de flavonoides y carotenoides de la fracción de piel y semillas que se desecha, ya que podrían constituir una fuente de ingredientes funcionales para la industria alimentaria (Peschel *et al.*, 2006).

5. CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTO DEL PROCESADO DEL TOMATE: FIBRA DIETÉTICA DE TOMATE

La producción de tomate destinada a procesado en la Unión Europea durante el año 2012 se estimó en 8.450 mil toneladas (WPTC, 2013), produciendo una elevada cantidad de residuos sólidos (pieles y semillas) que representan un gran problema medioambiental. Investigaciones recientes afirman que los residuos de tomate constituyen una fuente importante de nutrientes como son carotenoides, compuestos fenólicos, proteínas, azúcares, fibras, ceras y aceites (75% de ácidos grasos insaturados). Entre los principales

compuestos bioactivos extractables de los residuos procedentes del procesado de tomate se encuentran el licopeno y la fibra de tomate. Así, la piel del tomate es más rica en licopeno que la pulpa, 11 mg/100 g de licopeno en la pulpa y 54 mg/100 g en la piel (George *et al.*, 2004).

El residuo del procesado de tomate se define como una materia prima secundaria, siendo posible proporcionarle un valor añadido tras la aplicación de ciertos procesos tecnológicos que permiten obtener compuestos bioactivos. Uno de estos residuos es la fibra dietética de tomate que se obtiene de las pieles de tomate secadas, molidas y homogeneizadas y que contiene alrededor de un 75% de fibra dietética total (FDT) (Anónimo, 2009). Dado que la fibra de tomate presenta, además, un alto contenido en antioxidantes (compuestos fenólicos y licopeno), ésta podría ser utilizada como un ingrediente interesante en la industria alimentaria como colorante natural o espesante, así como en la industria farmacéutica y cosmética, reduciendo la contaminación medioambiental asociada a la acumulación de residuos del procesado del tomate.

Desde el punto de vista nutricional, la fibra dietética está constituida por sustancias de origen vegetal, hidratos de carbono o derivados de los mismos, excepto la lignina, que resisten la hidrólisis por los enzimas digestivos llegando intactos al colon donde algunos pueden ser hidrolizados y fermentados por la microbiota intestinal (Escudero Álvarez y González Sánchez, 2006). La fibra dietética se clasifica por su solubilidad en agua en: fibra dietética soluble e insoluble, con propiedades funcionales y efectos fisiológicos distintos. Las fibras solubles en contacto con el agua forman un retículo donde queda atrapada, originándose soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anticarcinogénico. Las fibras insolubles son capaces de retener, normalmente, muy poca cantidad de agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. Es la base para utilizar la fibra insoluble en el tratamiento y

prevención de la constipación crónica. Por otra parte, también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinógenos con la mucosa del colon (Kin, 2000).

Los efectos beneficiosos de la fibra dietética total (FDT) sobre la salud y el organismo están bien documentados; un elevado consumo de FDT ha sido asociado con una disminución de la incidencia de enfermedades comunes en países desarrollados como son trastornos intestinales, obesidad, diabetes, enfermedad cardiovascular, y cáncer (Bessesen, 2001; Kris-Etherton *et al.*, 2002; Johnson, 2004). A pesar de ser bien conocidos sus beneficios, en la actualidad en los países desarrollados existe una baja ingesta de fibra dietética entre la población general. Según los datos obtenidos de la Encuesta Nacional de Ingesta Dietética Española 2011 (AESAN, 2011), las ingestas de fibra están comprendidas entre 17 y 21 g/día. Los objetivos nutricionales finales de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria para la población española (2001), al igual que el Panel NDA (*Panel on Dietetic Products Nutrition, and Allergies*) de EFSA (2010), establecen una ingesta recomendable de 25 g/día. Al comparar la ingesta habitual con estos valores de referencia sólo entre el 1,5% y el 6,8% de la población llega a cubrir estas recomendaciones. Si se toman como referencia las ingestas adecuadas del *Institute of Medicine*, EEUU (2005) el 100% de la población estaría con ingestas por debajo de las recomendadas. Aunque no existen todavía datos concluyentes sobre la ingesta recomendada de los distintos tipos de fibra, se recomienda una relación fibra insoluble/soluble entre 1.5 y 3 (Moreiras *et al.*, 2010).

La fibra dietética obtenida de vegetales ricos en compuestos fenólicos ha sido considerada como una fuente dietética de estos antioxidantes (Saura-Calixto, 1998). Sin embargo, debido a que los compuestos fenólicos se encuentran unidos a la pared celular y que el licopeno está dentro de los cromoplastos, la cuantificación de estos compuestos requiere la aplicación de técnicas de extracción para mejorar la caracterización de los subproductos vegetales. La extracción tradicional de polifenoles de la pared celular se realiza generalmente mediante maceración. Sin embargo, con esta técnica se

obtiene una baja extracción. Se han descrito otros procesos para mejorar la extracción como por ejemplo el uso de enzimas y ultrasonidos, pero no existen datos de la utilización de estas técnicas de extracción en fibra procedente de tomate.

5.1. Propiedades Funcionales y Tecnológicas de la Fibra Dietética

La fibra dietética presenta diferentes propiedades funcionales y tecnológicas denominadas así por su asociación a los efectos deseables en los productos alimentarios y con efectos fisiológicos benéficos en el organismo (Ramírez y Pacheco de Delahaye, 2009; Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010), entre ellas destacan las propiedades que se describen a continuación:

Tamaño de partícula

Dependiendo de la granulometría de la fibra, será el tipo de alimento o proceso en el cual se incorporará. La fibra fina (de tres a cinco micrómetros) puede emplearse como sustituto de grasas, las de mayor tamaño se aplican en hojuelas de maíz y en productos donde su textura lo permita (Cruz, 2002). Fuertes (1998) señala que el tamaño ideal de partículas de fibra para consumo humano se ubica en un rango de 50 a 500 μm ; tamaños mayores pueden afectar la apariencia del producto e impartir una sensación fibrosa dificultando la masticación y deglución, tamaños menores pueden presentar problemas en la hidratación al favorecerse la formación de grumos, ocasionar apelmazamiento y por lo tanto compresión del producto. En un estudio realizado por Sangnark y Noomhorm (2003) específicamente con bagazo de caña, se encontró que una disminución en el tamaño de partícula puede tener influencia en el incremento de la densidad y podría reducir la capacidad de retención de agua y de ligar aceite (debido posiblemente a la ausencia de una estructura matricial proporcionada por la celulosa, entre otros factores); en

consecuencia, se afecta fisiológicamente el tránsito intestinal al decrecer el volumen de la masa fecal.

Capacidad de retención de agua

Las propiedades de hidratación de la fibra dietética se refieren a su habilidad de retener agua dentro de su matriz, propiedades que dependen en gran medida de la naturaleza fisicoquímica de los constituyentes de la fibra. Están determinadas fundamentalmente por su contenido en polisacáridos solubles (pectinas, gomas, mucílagos y hemicelulosas solubles), mientras que la celulosa, hemicelulosa insoluble, lignina y otros componentes relacionados con la fibra insoluble tienen una influencia limitada sobre estas propiedades (Figueroa *et al.*, 2005). Por tal razón, los alimentos ricos en fibra soluble como frutas y verduras presentan mayor capacidad de hidratación que los cereales (Ramírez y Pacheco de Delahaye, 2009).

Estas propiedades de hidratación de la fibra dietética determinan el nivel óptimo de uso en los alimentos debido a la textura que se desea obtener (Raghavendra *et al.*, 2006). Las propiedades de hidratación de un ingrediente rico en fibra son cruciales para su aplicación satisfactoria en alimentos que serán sometidos a estrés físico, como sucede, por ejemplo, en la extrusión de cereales (Wong y Cheung, 2005) y en productos horneados a los que esta propiedad confiere un efecto de frescura y suavidad (Cruz, 2002).

La retención de agua afecta a la viscosidad de los productos facilitando o dificultando su procesamiento. La viscosidad que imparte la fibra dietética es una propiedad importante en la tecnología de alimentos y se asocia a las fibras solubles (pectinas, hemicelulosas, gomas), las cuales pueden ser usadas como agentes espesantes y gelificantes (Dongowski *et al.*, 2005).

Entre los factores que influyen en la capacidad de retención de agua en la fibra, se encuentran el tamaño de partícula, el pH y la fuerza iónica (Baquero y Bermúdez, 1998).

Capacidad de retención de aceite

La capacidad de retención de aceite, es la máxima cantidad de aceite, en gramos, que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un exceso de aceite bajo la acción de una fuerza (Scheeman, 1987).

Según Villarroel *et al.* (2003), la capacidad de adsorción de aceite en la fibra dietética está relacionada con la composición química, así como con el tamaño y área superficial de las partículas de fibra, y se ha determinado que las fibras insolubles presentan mayores valores de adsorción de aceite o moléculas orgánicas que las solubles, tanto por su contenido de lignina como por su mayor tamaño de partícula, sirviendo como emulsionante.

La adsorción de aceite es importante en la tecnología de alimentos, en productos congelados precocidos listos para freír, en galletas y en algunos platos a base de cereal (Ramírez y Pacheco de Delahaye, 2009). La retención elevada de aceite imparte jugosidad y mejora la textura de los productos cárnicos, en cambio una baja retención proporciona una sensación no grasosa en productos fritos (Peraza, 2000).

Capacidad de formar emulsiones

La capacidad de formar emulsiones depende del balance de los grupos hidrofílicos y lipofílicos presentes en los componentes de la fibra (Khalid *et al.*, 2003). No obstante, en las fibras estas propiedades han sido poco estudiadas. Se sabe que tanto la actividad de emulsión como la estabilidad de la misma obtenidos con harinas de algunas frutas son inferiores a los

reportados en harinas de leguminosas (Ramírez y Pacheco de Delahaye, 2009), por lo cual no se recomienda su uso en productos donde se requiera la formación de una buena emulsión, tales como salsas, cremas, análogos de grasa.

Capacidad de intercambio de cationes

La fibra considerada en su conjunto es capaz de captar cationes, siendo en principio el grupo funcional responsable el carboxilo del ácido urónico, pudiendo ser también favorecedores de esta quelación mineral las fibras con grupos fenólicos o residuos sulfatos. Destacan en esa capacidad las pectinas y alginatos. En menor grado otros constituyentes de células vegetales, como fitatos, silicatos y oxalatos también pueden quelar cationes divalentes. Entre estos cationes destacan calcio, magnesio, hierro, cobre y cinc (Mataix y Gassull, 2009).

Esta propiedad puede estar ligada a la adsorción de minerales y depende fundamentalmente del medio en que estén las fibras (fuerza iónica, pH). Las fibras de hortalizas se comportan como algunas resinas de bajo intercambio de cationes mono funcionales debido a la presencia de ácidos galacturónicos en las paredes primarias y glucurónicos en las paredes secundarias. La capacidad de intercambio de cationes de las hortalizas es superior a la de los cereales (0.5 a 3.2 meq/g) (Tirilly y Bourgeois, 2002).

No obstante lo dicho, se puede hablar de cierto aumento de la disponibilidad mineral, ya que la producción de ácidos grasos de cadena corta que disminuye el pH luminal, puede conducir a un aumento de iones calcio y magnesio solubles que pueden ser absorbidos por difusión pasiva. Asimismo, en el proceso de fermentación se pueden liberar a nivel colónico minerales que estaban unidos a la fibra, tales como calcio, magnesio y hierro, dado que alimentos ricos en fibra se caracterizan por tener un elevado contenido de elementos minerales (Mataix y Gassull, 2009).

Presión osmótica

La osmolaridad de una solución de polisacáridos medida en un osmómetro se utiliza como indicador con el que se puede evidenciar la ausencia de posibles problemas diarreicos asociados al consumo de fibra dietética (López, 1995). Al comparar los valores de osmolaridad de las muestras con las del medio interno (302 mOsm/kg H₂O) (Jiménez-Vargas y Macarulla, 1975) se puede suponer la imposibilidad que presentan las muestras estudiadas para captar agua del medio interno del organismo por sí solas y ocasionar problemas diarreicos.

Distintos tipos de fibra dietética de alcachofa presentaron valores bajos de osmolaridad que oscilan entre 8 y 65 mOsm/kg H₂O (López, 1995).

Índice de retardo de difusión de glucosa

Está demostrado que la incorporación de polisacáridos viscosos en las comidas, disminuye la glucemia sin que exista un incremento paralelo de la secreción de insulina (Jekins *et al.*, 1977; Anderson 1989).

Los mecanismos por los que la fibra interviene en la absorción de nutrientes en el tracto gastrointestinal son la prolongación del tiempo de vaciado gástrico y el retardo en la absorción de nutrientes. Las dietas con altos niveles de hidratos de carbono son voluminosas, lo que hace que se requieran largos tiempos de digestión y de vaciado gástrico (Eastwood, 1992; Eastwood y Morris, 1992). El retraso en la absorción de nutrientes se basa en el hecho de que polisacáridos viscosos pueden impedir los movimientos de convección del intestino (por el que los nutrientes por acción de las contracciones intestinales se acercan al epitelio) y los de difusión a través del epitelio intestinal. Junto a estos efectos, la fibra puede ocasionar una inadecuada mezcla del contenido intestinal e impedir el acceso de los enzimas digestivos a sus sustratos (Ink y Hurt, 1987; Eastwood, 1992). La acción combinada de estos dos mecanismos

posibilita la reducción de los niveles de glucosa postprandial en sangre (Jenkins, 1988).

Adiotomre *et al.* (1990) establecen el “índice de retardo de difusión de glucosa” como una medida *in vitro* que indica el efecto biológico potencial de la fibra en la absorción de glucosa por el organismo.

BIBLIOGRAFIA

- Abushita, A. A., Dado, H. G., y Biacs, P. A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Food Chemistry*, 48, 2075-2081.
- Abushita, A.A., Hebshi, E.A., Daood, H.G., Biacs, P.A. (1997). Determination of vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60 (2), 207-212.
- Adiotomre, J., Eastwood, M.A., Edwards, C.A. y Brydon, W. (1990). Dietary fiber: *in vitro* methods that anticipate nutrition and metabolic in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 52, 128-134.
- AESAN (2011). Evaluación Nutricional de la dieta española I. Energía Y Macronutrientes. Sobre datos de la Encuesta Nacional De Ingesta Dietética (ENIDE). Disponible en http://www.aesan.msc.es/AESAN/docs/docs/evaluacion_riesgos/estudios_evaluacion_nutricional/valoracion_nutricional_enide_macronutrientes.pdf. [acceso: 4 - 2 - 2013]
- Agarwal, S. y Rao, A.V. (2000). Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*, 163, 739-744.
- Alquézar, B. (2007). Caracterización Bioquímica y Molecular de la Carotenogénesis en Frutos Cítricos. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, Ciencias de la Alimentación, Toxicología y Medicina Legal.
- Anderson, J.W. (1989). Dietary fiber and nutrition Management of diabetes mellitas. Kellogg's International Symposium on Dietary Fiber. Proceedings. Shirley C. Chen editor. Center for academic Publications Japan (Tokyo). Pp59-68.
- Anónimo (2009). Handbook on bioactive compounds from tomato processing residues. http://bioactivenet.com/cms/upload/PDF/Booklet_TOMATO_english.zip.
- Aruoma, O.I. (1999). Antioxidant actions of plant foods: use of oxidative DNA damage as a tool for studying antioxidant efficacy. *Free Radical Research*, 30, 419-427.
- Arya, S.S. y Pavitra, K. (2012). Folate: sources, production and bioavailability. *Agro Food Industry Hi-Tech.*, 23(4), 23-26.
- Ávalos García, A. y Pérez-Urria Carril, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal*. 2 (3): 119-145, 2009 ISSN: 1989-3620.
- Baquero, C., Bermúdez, A. (1998). Los residuos vegetales de la Industria de jugo de maracuyá como fuente de fibra dietética. En *termas de Tecnología de Alimentos*. Vol. 2. Fibra Dietética. Editado por Lajolo M. y Wenzel E. CYTED. Instituto Politécnico Nacional, México. 207-214.
- Bartolomé, B., García Conesa, M.T., Williamson, G. (1996). Release of the bioactive compound, ferulic acid, from malt extracts. *Biochemical Society Transactions*, 24 (3), S379-S379
- Bauernfeind, J.C. (1972). Carotenoid, vitamin A precursors and analogs in foods and feeds. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 20: 456-473.
- Belitz, H.D. y Grosch, W. (1988). *Química de los alimentos*, 2ª ed. Ed. Acribia. Zaragoza. España.
- Benzie, I.F., Strain, J.J. (1997). Acute post-ingestion changes in plasma ascorbic acid concentration: relationship to dose and to existing body stores. *Nutr Res*. 17:187-190.
- Bessesen, D.H. (2001). The Role of Carbohydrates in Insulin Resistance. *J. Nutr.*, 131(10), 2782S-2786S.

- Biacs, P.A. y Daood, H.G. (1987). Characterization of tomato lipoxygenase. The metabolism, structure and function of plant lipids, ed. P.K. Stumpf, J.D. Mudd y N.D. Nes, 425-429. New York: Plenum Press.
- Biacs, P.A. y Daood, H.G. (2000). Lipoxygenase-catalysed degradation of carotenoids from tomato in the presence of antioxidant vitamins. *Biochemical Society Transactions*, 28, 839-845.
- Bieger, J., Cermak, R., Blank, R., de Boer, V.C., Hollman, P.C., Kamphues, J., Wolfram, S. (2008). Tissue distribution of quercetin in pigs after long-term dietary supplementation. *J Nutr.* 138:1417-1420.
- Biruete, G.A., Juárez, H.E., Sierio, O.E., Romero, V.R., Silencio, B.J.L. (2009). Los Nutraceúticos. Lo que conviene saber. *Rev Mex Ped.* 76(3):136-145.
- Böhm, V., Bitsch, R. (1999). Intestinal absorption of lycopene from different matrices and interactions to other carotenoids, the lipid status, and the antioxidant capacity of human plasma. *European Journal of Nutrition*, 38 (3), 118-125.
- Böhm, V., Puspitasari-Nienaber, N.L., Ferruzzi, M.G. y Schwartz, S.J. (2002). Trolox equivalent antioxidant capacity of different geometrical isomers of alpha-carotene, beta-carotene, lycopene, and zeaxanthin. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 221-226.
- Boileau, T.W., Boileau, A.C. y Erdman, J.W. (2002). Bioavailability of *all-trans* and *cis*-isomers of lycopene. *Experimental Biology and Medicine*, 227, 914-919.
- Bravo, L. (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutrition Reviews*, 56(11), 317-333.
- Britton, G. (1995). Structure and properties of carotenoids in relation to function. *FASEB Journal*, 9 (15), 1551-1558.
- Britton, G., Liaaen-Jensen, S. y Pfander, H. (Eds.)(1995). *Carotenoids. Volume 1B: Spectroscopy.* Stämpfli: Basel, Boston, Berlin. ISBN 3-7643-2909-2. ISBN 0-8176-2909-2.
- Buta, J.G. y Spaulding, D.W. (1997). Endogenous levels of phenolics in tomato fruit during growth and maturation. *Journal of Plant Growth Regulation*, 16(1), 43-46.
- Canene-Adams, K., Campbell, J.K., Zaripheh, S., Jeffery, E.H. y Erdman, J.W. (2005). The tomato as a functional food. *J. Nutr.* 135:1226-1230.
- Cano, A., Acosta, M. y Arnao, M.B. (2003). Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biology and Technology*, 28, 59-65.
- Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., de Vos, R. (2008). Changes in antioxidant and metabolite profiles during production of tomato paste. *J. Agric. Food Chem.*, 56(3), 964-973.
- Chasse, G.A., Mak, M.L., Derety, E., Farkas, I., Torday, L.L., Papp, J.G., Sarma, D.S.R., Agarwal, A., Chakravarthi, S., Agarwal, S. y Rao, A.V. (2001). *Ana b initio* computational study on selected lycopene isomers. *Journal of Molecular Structure*, 571, 27-37.
- Clark, R.M., Yao, L., She, L., Furr, H.C. (2000). A comparison of lycopene and astaxanthin absorption from corn oil and olive oil emulsions. *Lipids*, 35, 803-806.
- Clifford, M.N. (2000). Chlorogenic acids and other cinnamates: nature, occurrence, dietary burden, absorption and metabolism. *Journal of Science and Food Agriculture*, 80, 1033-1043.

- Clifford, M.N. (2004). Diet-derived phenols in plasma and tissues and their implications for health. *Planta Med.* 70:1103-1114.
- Clinton, S.K. (1998). Lycopene: chemistry, biology and implications for human health and disease. *Nutrition Reviews* 56 (2): 35-51.
- Cole, B. F.; Baron, J. A.; Sandler, R. S.; Haile, R. W.; Ahnen, D. J.; Bresalier, R. S.; McKeown-Eyssen, G.; Summers, R. W.; Rothstein, R. I.; Burke, C. A.; Snover, D. C.; Church, T. R.; Allen, J. I.; Robertson, D. J.; Beck, G. J.; Bond, J. H.; Byers, T.; Mandel, J. S.; Mott, L. A.; Pearson, L. H.; Barry, E. L.; Rees, J. R.; Marcon, N.; Saibil, F.; Ueland, P. M.; Greenberg, E. R. Folic acid for the prevention of colorectal adenomas: a randomized clinical trial. *JAMA-J. Am. Med. Assoc.* 2007, 297, 2351-2359.
- Crespy, V., Morand, C., Besson, C., Manach, C., Demigne, C., Remesy, C. (2001). Comparison of the intestinal absorption of quercetin, phloretin and their glucosides in rats. *J Nutr.* 131:2109-2114.
- Crozier, A., Lean, M.E.J., Morag, S.M y Blac, C. (1997). Quantitative analysis of the flavonoid content of commercial tomatoes, onions, lettuce and celery. *J. Agric. Food Chem.*, 47, 590-595.
- Cruz, M. 2002. Caracterización fisicoquímica, fisiológica y funcional de residuos fibrosos de cáscara de maracuyá (*Pasiflora edulis*). [tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico]. México. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. 156 p.
- Davey, M.W., Van Montagu, M., Inze, D., Sanmartin, M., Kanellis, A, Smirnoff, N.J.J., Benzie, I. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J Sci Food Agric.* 80, 825-850.
- Davies, J. N., y Hobson, G. E. (1981). The constituent of tomato fruit the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15, 205-280.
- Day, A.J., Bao, Y., Morgan, M.R., Williamson, G. (2000a). Conjugation position of quercetin glucuronides and effect on biological activity. *Free Radic Biol Med.* 29:1234-1243.
- Day, A.J., Canada, F.J., Diaz, J.C., Kroon, P.A., McLaughlan, R., Faulds, C.B., Plumb, G.W., Morgan, M.R., Williamson, G. (2000b). Dietary flavonoid and isoflavone glycosides are hydrolysed by the lactase site of lactase phlorizin hydrolase. *FEBS Lett.* 468:166-170.
- De Bree, A.; van Dusseldorp, M.; Brouwer, I. A.; Van het Hof, K. H.; Steegers-Theunissen, R. P.M. Folate intake in Europe: recommended, actual and desired intake. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1997, 51, 643-660.
- Decisión 2009/365/CE de la Comisión, de 28 de abril de 2009 por la que se autoriza la comercialización de licopeno de *Blakeslea trispora* como nuevo ingrediente alimentario con arreglo al Reglamento (CE) n o 258/97 del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Del Rio, D., Rodríguez-Mateos, A., Spencer, J.P.E., Tognolini, M., Borges, G. y Crozier, A. (2013). Antioxidants & Redox Signaling, 18 (14), 1818-1892.
- Del Rio, D., Costa, L.G., Lean, M.E., Crozier, A. (2010). Polyphenols and health: What compounds are involved?. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 20:1-6.
- De Wals, P.; Tairou, F.; Van Allen, M. I.; Uh, S. H.; Lowry, R. B.; Sibbald, B.; Evans, J. A.; Van den Hof, M. C.; Zimmer, P.; Crowley, M.; Fernandez, B.; Lee, N. S.; Nivonsenga, T. Reduction in neural tube defects after folic acid fortification in Canada. *N. Engl. J. Med.* 2007, 357, 135-42.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., Liu, R.H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of

- tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem.*, 50, 3010-3014.
- Dey , P.M. y Harborne, J.B. (1993). *Enzymes of secondary metabolism*. Academic Press: San Diego; Vol. 9.
- Dongowski, G., Drzikova, B., Senge, B., Blochwitz, R., Gebhardt, E., Habel, A. (2005) Rheological behaviour of β -glucan preparations from oat products. *Food Chem.* 93: 279-291
- Dumas, Y., Dadomo, M., DiLucca, G., y Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Sciences of Food and Agriculture*, 83, 369-382.
- Eastwood, M.A. (1992). The physiological effect of dietary fiber: an date. *Annual Review of Nutrition* 12, 19-35.
- Eastwood, M.A. y Morris, E.R. (1992). Physical properties of dietary fiber that influence physiological function: a model for polymers along the gastrointestinal tract. *American Journal of Clinical Nutrition* 55, 436-442.
- Entrala, A. (1995). *Vitaminas: Aspectos prácticos en medicina*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid. España.
- Escudero Álvarez, E. y González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria* 21 (Supl. 2) 61-72 ISSN 0212-1611 • CODEN NUH0EQ, S.V.R. 318.
- Felgines, C., Talavera, S., Texier, O., Gil-Izquierdo, A., Lamaison, J.L., Remesy, C. (2005). Blackberry anthocyanins are mainly recovered from urine as methylated and glucuronidated conjugates in humans. *J Agric Food Chem.* 53, 7721-7727.
- Fennema, O.R. (1993). *Química de los alimentos*. Ed. Acribia. Zaragoza. España.
- Figuerola, F., Hurtado, M., Estévez, A., Chifelle, I., Asenjo, F. (2005) Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chem.* 91: 395-401.
- Frusciante, L., Carli, P., Ercolano, M.R., Pernice, R., Di Mateo, A., Fogliano, V. y Pellegrini, N. (2007). Antioxidant nutritional quality of tomato. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(5), 609-617.
- Fuertes, S. 1998. Tendencias actuales en el uso de la fibra dietética en la alimentación séptimo simposio de alimentos. Universidad Autónoma de Yucatán. 1-25.
- Fuhrman, B., Volkova, N, Rosenblat, M. y Aviram, M. (2000). Lycopene synergistically inhibits LDL oxidation in combination with vitamin E, glabridin, rosmaniric acid, carnosic acid, or garlic. *Antioxidants and Redox Signaling*, 2, 491-506.
- Gahler, S., Otto, K., Böhm, V. (2003). Alterations of vitamin C, total phenolics and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Food Chem*, 51:7962-7968.
- Gambonet, B., Jabrin, S., Ravanel, S., Karan, M., Douce, R., Rébillé, F. (2001). Folate distribution during higher plant development. *J Sci Food Agric* 81:835-841.
- García-Alonso, F.J., Bravo, S., Casas, J., Pérez-Conesa, D., Jacob, K. y Periago, M.J. (2009). Changes in Antioxidant Compounds during the Shelf Life of Commercial Tomato Juices in Different Packaging Materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (15), 6815-6822.
- Gartner, C., Stahl, W., Sies, H. (1997). Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes. *American Journal of Clinic Nutrition*, 66, 116-122.
- Gazzani, G., Papetti, A., Massolini, G. y Daglia, M. (1998). Anti- and prooxidant activity of water soluble components of some common diet vegetables and the effect of thermal

- treatment. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 46, 4118-4122.
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, D.S. y Kapoor, H.C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*, 84, 45-51.
- Giovanelli, G, Lavelli, V., Peri, C., Nobili, S. (1999). Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 79 (12), 1583-1588.
- Giugliano, D. (2000). Dietary antioxidants for cardiovascular prevention. *Nutrition Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 10 (1), 38-44.
- Gliszczynska-Swigło (2007). Folates as antioxidants. *Food Chemistry*, 101(4), 1480-1483.
- Graf, B.A., Ameho, C., Dolnikowski, G.G., Milbury, P.E., Chen, C.Y., Blumberg, J.B. (2006). Rat gastrointestinal tissues metabolize quercetin. *J Nutr*, 136: 39-44.
- Graumlich, J.F., Ludden, T.M., Conry-Cantilena, C., Cantilena, L.R. Jr, Wang, Y., Levine, M. (1997). Pharmacokinetic model of ascorbic acid in healthy male volunteers during depletion and repletion. *Pharmaceut Res*. 14:1133-1139.
- Gregory, J.F. (1996). Vitamins. En *Food Chemistry*, 3ª ed.; Fennema, O.R., Ed.: Dekker: Nueva York, 1996, 531-616.
- Grolier, P. (1999). Antioxidants in the tomato fruit, in *Role and Control of Antioxidants in the Tomato Processing Industry. Second Bulletin on the Advancement of Research. FAIR RTD Programme (FAIR CT 97-3233)*, pp 9-12.
- Halliwell, B. (1992). How to characterise biological antioxidants. *Free Radical Research Communications*, 9, 1-32.
- Halliwell, B. & Gutteridge, J. M. C. (1989) *Free Radicals in Biology and Medicine*. Clarendon, Oxford.
- Harbourne, J.B. (1993). *The flavonoids: advances in research since 1986*. London, Chapman and Hall.
- Hernández-Rodríguez, M. y Sastre-Gallego, A. (1999). En tratado de Nutrición. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid. España.
- Hertog, M.G.L., Hollman, P.C.H. y Katan, M.B. (1992). Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. *J. Agric. Food Chem.*, 40 (12), 2379-2383
- Higashi-Okai, K., Nagino, H., Yamada, K., & Okai, Y. (2006). Antioxidant and prooxidant activities of B group vitamins in lipid peroxidation. *Journal Of Uoeh*, 28(4), 359-368.
- Hollman, P.C.H. (2001). Evidence for health benefits of plant phenols: Local or systemic effects? *J. Sci. Food Agric.*, 81: 842-852.
- Hollman, P.C.H. (2004). Absorption, bioavailability and metabolism of flavonoids. *Pharm Biol*. 42:74-83.
- Hong, S.J., Kim, S.I., Kwon, S.M., Lee, J.R., Chung, B.C. (2002). Comparative study of concentration of isoflavones and lignans in plasma and prostatic tissues of normal control and benign prostatic hyperplasia. *Yonsei Med J*. 43:236-241.
- Hunt, G.M., Baker, E.A. (1980). Phenolic constituents of tomato fruit cuticles. *Phytochemistry*, 19 (7), 1415-1419.
- Huo, T.; Ferruzzi, M. G.; Scawartz, S. J.; Failla, M. L. (2007). Impact of fatty acyl composition and quantity of triglycerides on bioaccessibility of dietary carotenoids. *J. Agric. Food Chem.*, 55, 8950-8957.
- Hwang, E.S., Stacewicz-Sapuntzakis, M., Bowen, P.E. (2012). Effects of Heat Treatment on the Carotenoid and Tocopherol Composition of Tomato.

- Journal of Food Science, 77 (10), 1109-1114
- ILSI, North American Technical Committee on Food Components for Health Promotion (1999). Safety assessment and potential Health benefits of food components based on selected scientific criteria. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39, 285-295.
- Indrawati; Arroqui, I.; Messagie, I.; Nguyen, M. T.; Van Loey, A.; Hendrickx, M. (2004). Comparative study on pressure and temperature stability of 5-methyltetrahydrofolic acid in model systems and in food products. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 485-492.
- Ink, S.L. y Hurt, D. (1987). Nutritional implications of gums. *Food Technology*, enero, 77-82.
- Institute of Medicine. (IoM). (2005). *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (2002/2005)*. Washington DC: National Academy Press. Disponible en: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10490 [acceso: 15 - 2 - 2012]
- Jacob, K., García-Alonso, F.J., Ros, G. y Periago, M.J. (2010). Stability of carotenoids, phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant capacity of tomatoes during thermal processing. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 60 (2), 192-198.
- Jacob, K., Periago, M.J., Böhm, V. y Ros, G. (2008). Influence of lycopene and vitamin C from tomato juice on biomarkers of oxidative stress and inflammation. *British Journal of Nutrition*, 99, 137-146.
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S y Jenkins, A.L. (1988). Starchy foods and glycemic index. *Diabetes Care* 11, 149-159.
- Jiménez, A., Creissen, G., Kular, B., Firmin, J., Robindon, S., Verhoeven, M., *et al.* (2002). Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta*, 214, 751-758.
- Jiménez-Vargas, J. y Macarulla, J.M. (1975). *Fisicoquímica fisiológica*. Ed. Interamericana.
- Johnson, I.T. (2004). New approaches to the role of diet in the prevention of cancers of the alimentary tract. *Mutation Research-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 551(1-2), 9-28.
- Joshi, R., Adhikari, S., Patro, B. S., Chattopadhyay, S., y Mukherjee, T. (2001). Free radical scavenging behavior of folic acid: evidence for possible antioxidant activity. *Free Radical Biology & Medicine*, 30(12), 1390-1399.
- Khalid, E., Babiker, E., El Tiany, E. (2003) Solubility and functional properties of sesame seed proteins as influenced by pH and/or salt concentration. *Food Chem.* 82: 361-366
- Khanna, D.; Park, G. S.; Paulus, H. E.; Simpson, K. M.; Elashoff, D.; Cohen, S. B.; Emnery, P.; Dorrier, C.; Furst, D. E. Reduction of the efficacy of methotrexate by the use of folic acid: post hoc análisis from two randomized controlled studies. *Arthritis Rheum.* 2007, 52, 3030-3038.
- Kin, Y.I.: A technical review: Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence. (2000). *Gastroenterology*; 118, 1235-1257.
- Kotíková, Z., Lachman, J., Hejtmánková, A. y Hejtmánková, K. (2011). Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1703-1710.
- Koskitalo, L. N. Y Ormrod, D. P. (1972). effects of sub-optimal ripening temperatures on the color quality and pigment composition of tomato fruit. *Journal of Food Science*, 37 (1), 56-59.

- Kris-Etherton, P.M., Shaffer Taylor, D., Smiciklas-Wright, H., Mitchell, D.C., Bekhuis, T.C., Olson, B.H. y Slonim, A.B. (2002). High-Soluble-Fiber Foods in Conjunction With a Telephone-Based, Personalized Behavior Change Support Service Result in Favorable Changes in Lipids and Lifestyles After 7 Weeks. *Journal of the American Dietetic Association*, 102(4), 503-510
- Landis-Piwowar, K.R., Milacic, V., Dou, Q.P. (2008). Relationship between the methylation status of dietary flavonoids and their growth-inhibitory and apoptosis-inducing activities in human cancer cells. *J Cell Biochem*. 105:514-523
- Lin, C.H. y Chen, B.H. (2005). Stability of carotenoids in tomato juice during processing. *European Food Research and Technology*, 221, 274-280.
- Lloret, A., García, C., Borrás, E., Puertes, I.R., Cabezuelo, F., Barber, T. y Viña, J.R. (1999). ¿Es necesario dar antioxidantes como complemento de nuestra alimentación? *Revista de Nutrición Práctica*. Abril: 66-70. Dietecom.
- López, G. (1995). Obtención de purificados de fibra dietética de alcachofa (*Cynara scolymus*, L.) y estudio de sus propiedades funcionales. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia
- Maiani, G., Periago, M.J., Catasta, G., Toti, E., Goñi, I., Bysted, A., Granado-Lorencio, F., Olmedilla-Alonso, B., Knuthsen, P., Valoti, M., Böhm, V., Mayer-Miebach, E., Behnlian, D. y Schlemmer, U. (2009). Review. Carotenoids: actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(2), 194-218.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr*. 79:727-747.
- Mahan, L.K. y Escott-Stump., S. (1998). *Nutrición y dietoterapia de Krause*. 9ª Edición. McGraw-Hill-Interamericana. México D.F., México.
- Martín-Moreno J.M. y Gorgojo, M. (2002). Licopeno y salud: a propósito del tomate y de alguna de las virtudes del gazpacho, del “pa amb tomaquet” y otros productos de nuestra gastronomía. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 9 (1): 17-26.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Provan, G., Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science and Food Agriculture* 82, 323-330.
- Mataix, J. y Gassull, M.A. (2009). En Mataix, J. *Nutrición y Alimentación Humana*. Madrid. Ed. Ergón.
- Matos-Chamorro, A. y Chambilla-Mamani, E. 2010. Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1 (1), 1-17.
- Merola, N., García-Alonso, F.J., Ros, G. y Periago, M.J. (2013). Antioxidant activity comparison between [6S]-5-methyltetrahydrofolic acid calcium salt and the related racemate form. *Food Chemistry* 136, 984-988.
- Meyer, A.S., Donovan, J.L., Pearson, D.A., Waterhouse, A.L. y Frankel, E.N. (1998). Fruit hydroxycinnamic acids inhibit human low-density lipoprotein oxidation *in vitro*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 46, 1783-1787.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2009). Cultivos y producciones 2009-10. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estad-publicaciones/anuario-de-estadistica/2010/default.aspx?parte=3&capitulo=13&grupo=6&seccion=27>. [acceso: 4 - 2 - 2013]

- Minoggio, M., Bramati, L., Simonetti, P., Gardana, C., Iemoli, L., Santangelo, E., et al. (2003). Polyphenol pattern and antioxidant activity of different tomato lines and cultivars. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 47, 64-69.
- Mordente, A., Guantario, B., Meucci, E., Silvestrini, A., Lombardi, E., Martorana, G.E., Giardina, B. and Böhm, V. (2011). Lycopene and cardiovascular diseases: an update. *Current Medicinal Chemistry*, 18 (8), 1146-1163.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L. y Cuadrado, C. (2010). Tablas de composición de alimentos. Ediciones Pirámide S.A. Madrid. Ed. 14ª.
- Moure, A., Cruz, J.M., Franco, D, Domínguez, J.M., Sineiro, J., Domínguez, H., Núñez, M.J. y Parajó, J.C. (2001). Natural antioxidants from residual sources. *Food Chem.*, 72, 145-171.
- Nguyen, M.L. y Schwartz, S.J. (1998). Lycopene stability during food processing. *Proceeding of the Society for experimental Biology and Medicine*, 218 (2), 101-105.
- Nguyen, M.L. y Schwartz, S.J. (1999). Lycopene: chemical and biological properties. *Food Technology*, 53:38-45.
- Olivares, A. B.; Bernal, M. J.; Ros, G.; Martínez, C.; Periago, M. J. Processing effect on folates in green peas and gazpacho. In *Proceeding of the First International Conference on Folates; Analysis, Bioavailability and Health*; University Press: Warsaw, Poland, 2004; pp 61-67.
- Palace, V.P., Khaper, N., Quin, Q. y Singal, P.K. (1999). Antioxidant potentials of vitamin A and carotenoids and their relevance to heart disease. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 746-761.
- Panel on Dietetic Products Nutrition, and Allergies (NDA). Scientific Opinion on dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. (2010) *EFSA journal*. 8 (3):77. Disponible en http://www.efsa.europa.eu/de/efsa_journal/doc/1462.pdf [acceso: 24 - 1 - 2012]
- Parkar, S.G., Stevenson, D.E., Skinner, M.A. (2008). The potential influence of fruit polyphenols on colonic microflora and human gut health. *Int J Food Microbiol* 124: 295-298.
- Parr, A.J. y Bolwell, G.P. (2000). Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (7), 985-1012
- Pastori, M., Pfander, H., Boscoboinik, D. y Azzi, A. (1998). Lycopene in association with α -tocopherol inhibits proliferation of prostate carcinoma. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 250, 582-585.
- Peraza, G. (2000). Caracterización de los residuos Fibrosos de *Canavalia ensiformis* L. y *Phaseolus Lunatus* L. y su incorporación a un producto alimenticio. [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico]. México. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Yucatán. 120.
- Periago, M.J., Bravo, S., García-Alonso, F.J. y Rincón, F. (2013). Detection of key factors affecting lycopene *in vitro* accessibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 3859-3867.
- Periago, M.J., García-Alonso, J., Jacob, K., Olivares, A.B., Bernal, M.J., Iniesta, M.D., Martínez, C. y Ros, G. (2009). Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomatoes (*Lycopersicum esculentum*) during vine ripening. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 60(8), 694-708.
- Periago, M.J., Martínez-Valverde, I., Ros, G., Martínez, C. y López, G. (2001). Propiedades químicas, biológicas y valor nutritivo del licopeno. *Anales de Veterinaria (Murcia)* 17: 51-66.

- Peschel, W., Sanchez-Rabaneda, F., Diekmann, W., Plescher, A., Gartzia, I., Jimenez, D., Lamuela-Raventos, R., Buxaderas, S. y Codina, C. (2006). An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetables and fruit wastes. *Food Chemistry*, 97, 137-150.
- Piskula MK, Yamakoshi J, Iwai Y (1999). Daidzein and genistein but not their glucosides are absorbed from the rat stomach. *FEBS Lett.* 447: 287-291
- Primo Yúfera, E. (1998). *Química de los alimentos*. Madrid: editorial Síntesis.
- Quiñones, M., Migue, M., Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutr Hosp.* 27(1):76-89
- Raghavendra, S., Ramachandra, S., Rastogi, N., Raghavarao, K., Kumar, S., Tharanathan, R. (2006) Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *J. Food Eng.* 72: 281-286
- Ramírez, A. y Pacheco de Delahaye, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34 (4), 293-298.
- Ramón, J.R., Hernández Torres, A., González Morales, M.A., Rubio, S., Alonso, M.B., Ramón, B.M. y Márquez-Motes, J. (1997). Nutrición y vitaminas. Antioxidantes y cardiopatía isquémica. *Revista de Nutrición Práctica*. Junio: 93-99. Dietecom.
- Rébeillé, F., Ravanel, S., Jabrin, S., Douce, R., Storozhenko, S., Van Der Straeten, D. (2006). Foliates in plants: biosynthesis, distribution, and enhancement. *Physiologia Plantarum*, 126(3), 330-342.
- Rezk, B. M., Haenen, G. R. M. M., Van Der Vijgh, W. J. F., y Bast, A. (2003). Tetrahydrofolate and 5-methyltetrahydrofolate are folates with high antioxidant activity. Identification of the antioxidant pharmacophore. *FEBS Letters*, 555(3), 601-605.
- Richelle, M., Sanchez, B., Tavazzi, I., Lambelet, P., Bortlik, K., Williamson, G. (2010). Lycopene isomerisation takes place within enterocytes during absorption in human subjects. *British Journal of Nutrition*, 103 (12), 1800-1807.
- Robards, K., Prenzler, P.D., Tucker, G., Swatsitang, P. y Glover, W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66, 401-436.
- Roldán-Gutiérrez, J.M. y Luque de Castro, M.D. (2007). Lycopene: the need for better methods for characterization and determination. *Trends in analytical Chemistry*, 26 (2): 163-170.
- Sangnark, A. y Noomhorm, A. (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. *Food Chemistry*, 80 (2), 221-229(9)
- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant Dietary Fiber Product: A New Concept and a Potential Food Ingredient. *J. Agric. Food Chem.*, 46(10), 4303-4306.
- Scalbert, A., Morand, C., Manach, C. y Rémésy, C. (2002). Absorption and metabolism of polyphenols in the gut and impact on health. *Biomed. Pharmacother.* 56:276-282.
- Scalbert, A. y Williamson, G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J Nutr.* 130:2073S-2085S.
- Scita, G. (1992). Stability of B-carotene under different laboratory conditions. *Methods in Enzymology*, 213:175-185.
- Schneeman, B.O. (1987). Soluble vs insoluble fiber--different physiological responses. *Food technology*, 41(2).
- Seybold, C., Fröhlich, K., Bitsch, R., Otto, K., y Böhm, V. (2004). Changes

- in contents of carotenoids and vitamine E during tomato processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 7005-7010.
- Shafizadeh, T.B. y Halsted, C.H. (2007). γ -Glutamyl hydrolase, not glutamate carboxypeptidase II, hydrolyzes dietary folate in rat small intestine. *J. Nutr.* 137: 1149-1153.
- Sharoni, Y. y Levi, Y. (2006). Cancer prevention by dietary tomato lycopene and its molecular mechanisms. In A. V. Rao (Ed.), *Tomatoes, lycopene & human health* (pp. 111-125). Barcelona: Caledonian Science Press Ltd.
- Shi, J. y Le Maguer, M. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemicals and physical properties affected by food processing. *Critical Reviews in Biotechnology*, 20, 293-334.
- Shi, J., Le Maguer, M., Bryan, M., Kakuda, Y. (2003). Kinetics of lycopene degradation in tomato puree by heat and light irradiation. *JOURNAL OF FOOD PROCESS ENGINEERING*, 25(6), 485-498.
- Slimestad, R. y Verheul, M. (2009). Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) cultivars. *Journal of Science Food and Agriculture*, 89, 1255-1270.
- Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC) (2001) Consenso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria. Disponible en <http://www.nutricioncomunitaria.org/generica.jsp?tipo=docu&id=2>. [acceso: 24 - 1 - 2012]
- Stahl, W. y Sies, H. (1992). Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. *Journal of Nutrition*, 122, 2161-2166.
- Stahl, W. y Sies, H. (1996). Lycopene: a biologically important carotenoid for humans?. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 336 (1): 1-9.
- Stea, T. H., Johansson, M., Jagerstad, M., y Frølich, W. (2006). Retention of folates in cooked, stored and reheated peas, broccoli and potatoes for use in modern largescale service systems. *Food Chemistry*, 101, 1095-1107.
- Takeoka, G. R., Dao, L., Flessa, S., Gillespie, D. M., Jewel, W. T., Huebner, B., et al. (2001). Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3713-3717.
- Thompson, K.A., Marshall, M.R., Sims, C.A., Wei, C.I., Sargent, S.A. y Sott, J.W. (2000). Cultivar, maturity and heat treatment on lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science*, 65, 791-795.
- Tirilly, Y., Bourgeois, C. (2002). Las fibras extraídas de las hortalizas. *Tecnología de Hortalizas*. Zaragoza. Editorial Acribia, S.A. 459-478.
- Tomás-Barberán, F.A. y Espín, J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J Sci Food Agric.* 81:853-876.
- Toor, R.K. y Savage, G.P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38, 487-494.
- Tyagi, N., Kandel, M., Munjal, C., et al. (2011). Homocysteine mediated decrease in bone blood flow and remodeling: role of folic acid. *J Orthop Res.*,29: 1511-1516.
- Tyssandier, V.; Lyan, B.; Borel, P. Main factors governing the transfer of carotenoids from emulsion lipid droplets to micelles (2001). *Biochem. Biophys. Acta*, 1533, 285-292.
- Tyssandier, V., Reboul, E., Dumas, J.F., Bouteloup-Demange, C., Armand, M., Marcand, J., Sallas, M. y Borel, P. (2003) Processing of vegetable-borne carotenoids in the human stomach and duodenum. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 284, 913-923.

- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, USDA Nutrient Data Laboratory. 2007. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 20. USDA Nutrient Data Laboratory website: <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>
- Van Guelpen, B.; Hultdin, J.; Johansson, I.; Stegmayr, B.; Hallmans, G.; Nilsson, T. K.; Weinehall, L.; Witthoft, C.; Palmqvist, R.; Winkvist, A. Folate, vitamin B12, and risk of ischemic and hemorrhagic stroke: a prospective, nested case-referent study of plasma concentrations and dietary intake. *Stroke* 2005, 36, 1426-1431.
- Van het Hof, K.H., De Boer, B.C., Tijburg, L.B., Lucius, B.R., Zijp, I., West, C.E., Hautvast, J.G., Weststrate, J.A. (2000). Carotenoid bioavailability in humans from tomatoes processed in different ways determined from the carotenoid response in the triglyceride-rich lipoprotein fraction of plasma after a single consumption and in plasma after four days of consumption. *J Nutr.* 130(5):1189-96.
- Villarroel, M., Acevedo, C., Yañez, E., Bioley, E. (2003) Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación de productos de panadería. *Arch. Latinoam. Nutr.* 53: 400-407
- Weber, C., Erl, W., Weber, K., Weber, P.C. (1996). Increased adhesiveness of isolated monocytes to endothelium is prevented by vitamin C intake in smokers. *Circulation*, 93(8), 1488-1492.
- Wen, X., Walle, T. (2006a). Methylated flavonoids have greatly improved intestinal absorption and metabolic stability. *Drug Metab. Dispos.* 34:1786-1792
- Wen, X., Walle, T. (2006b). Methylation protects dietary flavonoids from rapid hepatic metabolism. *Xenobiotica.* 36:387-397
- Williamson G, Clifford MN (2010). Colonic metabolites of berry polyphenols: the missing link to biological activity?. *Br J Nutr.* 104:S48-S66.
- Willcox, J.K., Catignani, G.L. y Lazarus, S. (2003). Tomatoes and cardiovascular diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 43, 1-18.
- Wold, A. B., Rosenfeld, H. J., Holte, K., Baugerød, H., Blomhoff, R., y Haffner, K. (2004). Colour of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 295-302.
- Wong, D.W.S. (1989). *Química de los alimentos: mecanismos y teoría*. Ed. Acibia. Zaragoza. España.
- Wong, K., Cheung, P. (2005) Dietary fibers from mushroom sclerotia: 1. Preparation and physicochemical and functional properties. *J. Agri. Food Chem.* 53: 9395-9400
- WPTC World production estimate of tomatoes for processing. Date of last update: 29/03/2013. Disponible en: www.wptc.to [acceso: 20-2-2013]
- Xianquan, S., Shi, J., Kakuda, Y., Yueming, J. (2005). Stability of lycopene during food processing and storage. *Journal of Medicinal Food*, 8 (4), 413-422.
- Zhang, Y., Song, T.T., Cunnick, J.E., Murphy, P.A., Hendrich, S. (1999). Daidzein and genistein glucuronides in vitro are weakly estrogenic and activate human natural killer cells at nutritionally relevant concentrations. *J Nutr.* 129:399-405.

Publicaciones



PUBLICACIÓN 1

Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars

Verónica García-Valverde, Inmaculada Navarro-González, Javier García-Alonso y María Jesús Periago.

Food and Bioprocess Technology

February 2013, Volume 6, Issue 2, Pages 391-402

DOI 10.1007/s11947-011-0687-3

<http://link.springer.com/article/10.1007/s11947-011-0687-3>

Abstract

Four selected fresh consumption tomato varieties, harvested at different ripening stages (green, breaker, pink, red) and five industrial processing tomato varieties, harvested at red ripe stage, were analysed for lycopene and its isomers, β -carotene, total and individual phenolics, vitamin C and hydrophilic antioxidant activity. Tomato variety and ripening stage significantly affected carotenoids, total phenolic compounds and hydrophilic antioxidant activity when fresh consumption tomatoes were compared. The average of total lycopene content at the different ripening stages was 0.63, 12.20, 26.76 and 116.66 mg/kg of fresh weight (FW). Vitamin C ranged from 2.79 (breaker Cherry Pera) to 297.62 (red Cherry Pera) mg/kg FW. In green and breaker tomatoes, a positive correlation of hydrophilic antioxidant activity with vitamin C and chlorogenic acid was observed. However, in industrial tomato varieties (red ripe stage) and fresh consumption varieties harvested at pink and red stages, hydrophilic antioxidant activity was correlated with total phenolics and rutin. Tomato varieties for industrial processing did not show significant differences in total phenolic compounds and lycopene content. Lycopene ranged from 83.17 to 97.60 mg/kg FW, while total phenolic compounds varied between 257.91 and

284.13 mg/kg FW. Chlorogenic acid and rutin were the most abundant individual phenolics found in all the samples studied. Moreover, the content of total phenolics was always significantly correlated with the content of rutin. The amounts of all individual phenolics were affected by variety, with the exception of ferulic acid. Generally, these individual phenolics were more abundant in green and intermediate ripening stages, decreasing in full red tomatoes.

PUBLICACIÓN 2

Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree

Darío Pérez-Conesa, Javier García-Alonso, Verónica García-Valverde, María-Dolores Iniesta, Karin Jacob, Luis Manuel Sánchez-Siles, Gaspar Ros y María Jesús Periago.

Innovative Food Science and Emerging Technologies

April 2009, Volume 10, Issue 2, Pages 179-188

DOI: 10.1016/j.ifset.2008.12.001

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856408001148>

Abstract

The effect of homogenization and thermal processing on a number of bioactive compounds (carotenoids, total phenolics, ascorbic acid and folates) in both raw tomato puree (RTP) and “hot break” tomato puree (HTP) was investigated. RTP and HTP were homogenized in either one or two-steps, followed by pasteurization at 98 °C for 40 s. Additionally, HTP was pasteurized in parallel at 98 °C, 108 °C and 128 °C. In general, homogenization had no effect, but changes were observed after pasteurization (98 °C for 40 s). Carotenoids were relatively resistant to thermal degradation, whereas total phenolic content and ascorbic acid significantly decreased. However, a higher content of folates was determined in the homogenized and pasteurized samples due to their higher extraction from the subcellular compartment. The increase in pasteurization temperatures of the HTP up to 128 °C led to a decrease of ascorbic acid, total phenolic compounds and folates. In conclusion, homogenization and pasteurization at 98 °C for 40 s improves the nutritional value of tomato puree, increasing the extractability of the folates and maintaining the carotenoid

content. Industrial relevance: Unlike other vegetables, the tomato is a staple food that is not frequently homogenized by the processing industry, although homogenization could improve product quality. This is why we explored this technique, using one-step and two-step homogenization. The tomato and vegetable processing industry frequently pasteurizes at a constant flow rate, meaning constant heating time. In this study, we employed three different temperatures, using the same time of exposure, to cover different situations in the food industry. Depending on the product's thickness, an increase in the temperature might be needed to reduce any microbiological hazard in the final product. Homogenization followed by pasteurization at 98 °C for 40 s resulted in a greater improvement of the nutritional value of tomato puree in all situations tested.

PUBLICACIÓN 3

Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber

Inmaculada Navarro-González, Verónica García-Valverde, Javier García-Alonso y María Jesús Periago.

Food Research International

June 2011, Volume 44, Issue: 5, Pages 1528-1535

DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.005

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996911002225>

Abstract

Tomato processing residue is defined as a secondary raw material that can increase its value, being considered a potential source of dietary fiber and bioactive compounds. Commercial tomato peel fiber has been analyzed to ascertain the proximate and nutritional composition (moisture, fat, protein, dietary fiber, ash, and minerals), the fractions (insoluble, IDF, and soluble, and SDF) and sugar composition of dietary fiber, functional properties (water retention capacity, WRC, swelling capacity, SWC, fat absorption capacity, FAC, glucose diffusion retardation index, GDRI, and osmotic pressure), total antioxidant activity (AA), and the content of antioxidant bioactive compounds (phenolic compounds and lycopene). To extract phenolic compounds and dietary fiber, three methods were assayed in this study: enzyme hydrolysis, maceration, and ultrasonic assistance. The content of TDF was 84.16%, and the major fraction was the IDF (71.82%), formed mainly by hemicelluloses. Tomato peel fiber retained 6.76 g of water/g as WRC, and it was significantly correlated with the IDF content. In addition, the content of IDF determined the low FAC and SWC and the GDRI at 60 min (39.22%). The main phenolic compound was rutin, followed by naringenin, rutin derivatives, and chlorogenic acid derivatives. These were better extracted using ultrasonic assistance, whereas lycopene

showed mean values between 3 and 4 mg/100 g. The AA of tomato peel fiber was low, since the phenolic compounds are mainly bound to the cell wall of plant, showing a low capacity for scavenging radicals. Due to its chemical profile and functional properties, tomato peel fiber can be used as a food supplement, improving the different physical, chemical, and nutritional properties of foods. However the color and flavor of this product must be considered in its applications to avoid a negative effect on the sensory characteristic of the foods to which it is added.

ANEXO PUBLICACIÓN 1

*Effects of Cultivar and Ripeness Stage on Folate Content
in Fresh Tomatoes*

Effects of Cultivar and Ripeness Stage on Folate Content in Fresh Tomatoes

INTRODUCTION

Tomato (*Lycopersicon esculentum*) is the plant food with the second-highest consumption in the world and has been considered an important functional food, due to its content of bioactive compounds (Pennington, 2002). Folates are among the bioactive compounds in tomatoes that are considered to be beneficial for human (Willcox *et al.*, 2003). In fact, folate deficiency in humans has been demonstrated to initiate the onset of several diseases and disorders, such as megaloblastic anaemia, neural-tube defects, cancers, and increased plasma homocysteine concentration, the latter being associated with an elevated risk of cardiovascular disease (Moat *et al.*, 2004; Reynolds, 2006). Reduced forms of folic acid are cofactors in the transfer and utilisation of one-carbon groups; they donate one-carbon groups in the biosynthesis of purines, pyrimidines, and DNA and play a key role in the regeneration of methionine (Coppede, 2009). Therefore, knowing the folate contents of food plants and selecting plant foods with high folate concentrations are important. However, the content of the different folate forms and their distribution and stability in vegetables, fruits, and cereals depend on a number of factors such as genetic background, growing conditions, harvest and postharvest handling, industrial processing, and storage during shelf life (Scott *et al.*, 2000). The main objective of the present

investigation was to determine the content of folates in raw tomatoes, considering the effect of the cultivar and on-vine ripeness stages of harvest.

MATERIALS AND METHODS

Folate Analysis

Folates from tomato samples (10 g) were extracted following the procedure described by Pfeiffer *et al.* (1997) and Konings (1999). Samples were mixed with 25 mL of extraction buffer (50 mM CHES, 50 mM HEPES, containing 2% sodium ascorbate and 10 mM 2-mercaptoethanol, pH 7.85) under a nitrogen atmosphere. The extraction mixtures in screw-capped tubes were placed in a boiling water bath for 10 min, cooled on ice, and homogenized using an Omnimixer model 17106 (OMNI, Inc., Waterbury, CT). Then the pH was adjusted to 4.9 with 6 M HCl, and the samples were made up to a final volume of 50 mL with extraction buffer. Enzymatic deconjugation and purification of samples was carried out following the methodology described by Vahteristo *et al.* (1996). Thus, an aliquot of 5 mL was incubated for 3 h at 37 °C under a nitrogen atmosphere with 1 mL of hog kidney conjugase prepared from fresh pig kidneys as described by Gregory *et al.* (1984). To inactivate the enzyme, the samples were boiled for 5 min and then cooled on ice. The samples were then filtered through 0.45 µm pore size, 25 mm diameter nylon disposable filters (Whatman, Florham Park, NJ)

and purified in strong anion-exchange (SAX) cartridges (3 mL/500 mg of quaternary amine N⁺, counterion Cl⁻, no. 52664-U, Bellefonte, PA) connected to a Supelco 12-port vacuum manifold (Supelco, Bellefonte, PA). First, the cartridges were conditioned with 3 mL of n-hexane (twice), methanol, and Milli-Q water and then equilibrated with 3 mL of purification buffer (0.01M dipotassium hydrogen phosphate, 0.1% 2-mercaptoethanol, pH 7.0). Second, the sample was slowly loaded onto the cartridge at a rate of <1 mL/min. Folate was eluted with 2 mL of elution buffer (10% sodium chloride, 0.1M sodium acetate, 1% ascorbic acid) with a flow rate of < 0.5 mL/min. The eluted sample was weighed, and the purified extracts were kept under refrigeration for no longer than 2 h before they were placed in the autosampler and injected. The extraction, deconjugation, and purification procedures were carried out under subdued light to prevent photodegradation of folates. Foliates were determined using a Merck-Hitachi 7000 (Merck, Darmstadt, Germany) HPLC equipped with a fluorescence detector (LaChrom, Merck-Hitachi, model 7485). A LiChrosphere 100 RP-18 (5 µm) column (Merck), protected with a guard column (LiChroCART 4-4, Merck), was used to separate the folate compounds. The column was eluted with a gradient of acetonitrile and 30mM phosphate buffer (potassium phosphate and orthophosphoric acid 85%, pH 2.2) at a flow rate of 0.9 mL/min. The gradient started at 6% acetonitrile, which was maintained isocratically for the first 6 min, and then the acetonitrile concentration

was increased to 25 % over 24 min and decreased to 6 % after 5 min. The injection volume was 40 µL. The running time was 30 min, and the time between injections was 40 min. Fluorescence absorbance, at excitation and emission wavelengths of 280 and 350 nm, respectively, was used to detect and quantify the naturally occurring folate forms present in the tomato samples, namely, H₄-folate, 5-CH₃-H₄-folate, and 5-formyltetrahydrofolate (5-HCO-H₄-folate). Peak identification was based on the retention time compared with standards, and spiking (addition of standard compounds into the purified sample extract) to confirm peaks for any sample in which identification using the retention time was inaccurate. (6R,S)-5,6,7,8-Tetrahydrofolic acid calcium salt (H₄-folate), (6R,S)-5-methyl-5,6,7,8-tetrahydrofolic acid sodium salt (5-CH₃-H₄-folate), and (6R,S)-5-formyl-5,6,7,8-tetrahydrofolic acid sodium salt (5-HCO-H₄-folate) were obtained from Dr. Schirck's Laboratories (Jona, Switzerland). The folate content was expressed as micrograms per 100 g of fresh weight in all samples.

The certified reference material (BCR 485 freeze-dried mixed vegetables) used for the quality control of analytical measurement of total folate content was obtained from the European Commission, Institute for Reference Materials and Measurement (Brussels, Belgium). The indicative 5-CH₃-H₄-folate content in BCR 485 was 2.14 mg/kg (Finglas *et al.*, 1999). The certified material was analyzed in each set of analyses, and an average value of 2.10 ± 0.09 mg of 5-CH₃-H₄-

folate/kg of reference material was obtained. The precision of the HPLC analysis including sample extraction, deconjugation, and purification showed recoveries of spiked folates on the three types of samples studied ($n = 3$) at the level of 50 ng/mL that ranged from 75 to 100% for H₄-folate, from 70 to 99% for 5-CH₃-H₄-folate, and from 80 to 100% for 5-HCO-H₄-folate. The coefficient of inter- and intra-assay variation for folate analysis was below 10%. The limits of quantification were 2.34 ng/mL for H₄-folate, 2.67 for 5-CH₃-H₄-folate, and 34.20 ng/mL for 5-HCO-H₄-folate.

Statistical Analysis

Results are expressed as mean value \pm SD from four replicates based on fresh weight (FW). An analysis of variance was used to test the variation in the content of folates among the different cultivars of tomato and ripening stages. Tukey's pairwise comparison was used to determine significant differences between means. Differences were considered to be significant for $p < 0.05$. Statistical analysis of the data was performed using the SPSS 15.0 software package (Chicago, IL).

RESULTS AND DISCUSSION

Fruits and vegetables are good sources of naturally occurring folate, primarily 5-CH₃-H₄-folate. However, the natural folate content does not remain constant because it is affected by cultivar (Jägerstad *et al.*, 2005). The contents of folates in four different tomato cultivars destined to fresh consumption were classified by their ripeness stages are shown in

Figure 1. 5-CH₃-H₄-folate was the only folate form detected in the different tomato cultivars; its concentration showed a great variation ranging from 4.1 to 35.3 $\mu\text{g}/100$ g of FW depending on the cultivar and ripeness stage. Jägerstad *et al.* (2005) reported that the variation of folate content in different cultivars of vegetables did not exceed 30%, with the exception of tomatoes. We agree with these authors because in this study the content of 5-CH₃-H₄-folate among all samples showed variability of $>30\%$. The Ronaldo cultivar showed a significantly higher 5-CH₃-H₄-folate content at all ripeness stages compared to the other cultivars evaluated. The content of folates in Ronaldo samples varied from 21.0 to 35.3 $\mu\text{g}/100$ g of FW for green and fully ripe fruits. This is in agreement with previous investigations on Ronaldo, Siena, and Copo tomato cultivars harvested in 2002 (Olivares *et al.*, 2004; Periago *et al.*, 2008). The tomato cultivar with the lowest content in 5-CH₃-H₄-folate was Cherry Pera (4.1-7.0 $\mu\text{g}/100$ g of FW). The data in Figure 1 show the great variability in the content of 5-CH₃-H₄-folate from the unripe to the fully ripe stage; but the cultivars studied did not share a common pattern. Only in cultivar Cherry Pera the content of 5-CH₃-H₄-folate significantly increased during ripening (from 4.1 to 7.0 $\mu\text{g}/100$ g of FW, $p < 0.0001$). On the contrary, the content of 5-CH₃-H₄-folate in Ronaldo, Zoco, and Pera cultivars showed a random distribution among the four ripening stages. However, in Zoco and Pera cultivars the content of 5-CH₃-H₄-folate significantly ($p < 0.0001$) decreased in the last ripening stage compared to the previous stage.

Previous studies have also shown that folate content drops as tomatoes ripen, turning from green to red (Basset *et al.*, 2004; Periago *et al.*, 2008). Periago *et al.* (2008), reported that the folate content decreased by >50% from green to red tomatoes.

Although folate content may vary with the maturation process in food plants, not all tomato cultivars studied in this investigation followed the trend reported by other researchers. Consequently, the effect of ripeness on the folate content in tomatoes is not easy to evaluate, as was previously found by Strålsjö *et al.* (2003) for the different maturity stages of strawberries.

The contents of 5-CH₃-H₄-folate in tomato cultivars destined to industrial processing, Malva and Heinz (four cultivars) fully ripened on the vines are presented in Figure 2. The content of 5-CH₃-H₄-folate ranged from 9.9 µg/100 g to 5.6 µg/100 g, corresponding to Malva and H-9776,

respectively. The contents of folates were similar to those observed in the red fruits of the cultivars destined to fresh consumption, except in Ronaldo cultivar which presented the higher amount. As has been mentioned previously, the natural folate content is affected by cultivar (Jägerstad *et al.*, 2005), so the knowledge of the folate content in different tomato cultivars is very useful for selecting the best tomato cultivar in order to obtain tomato products with an added value for consumers.

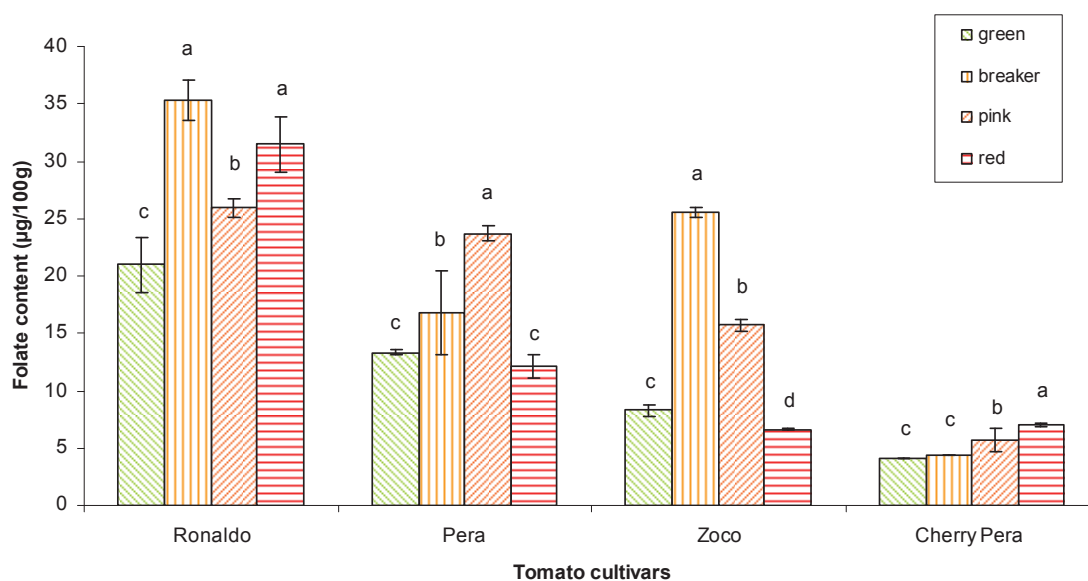


Figure 1. Folate content (5-CH₃-H₄-folate in µg/100 g of fresh weight) in tomato cultivars depending on the ripeness stage. All results are means of quadruplicates, and the error bars show standard deviations. Different letters within each tomato cultivar show significant differences ($p < 0.05$) in the folate contents among the four ripeness stages evaluated.

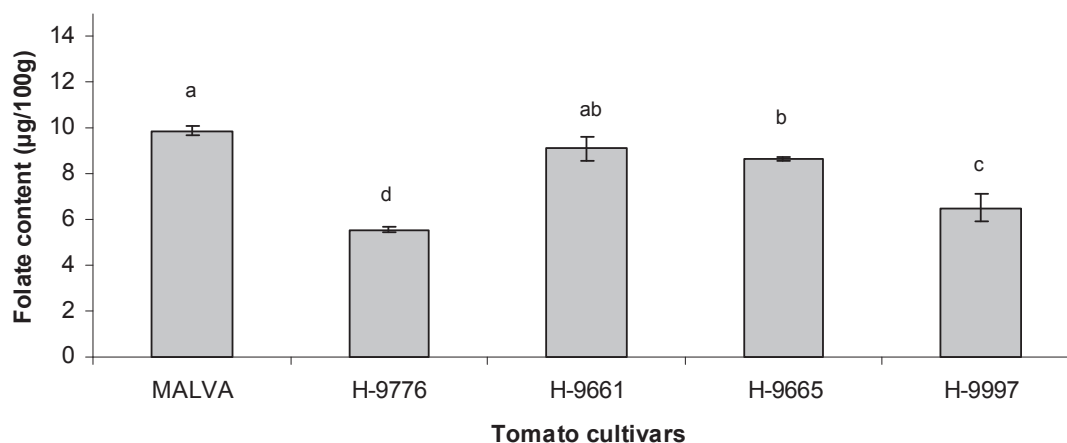


Figure 2. Folate content (5-CH₃-H₄-folate in µg/100 g of fresh weight) in tomato cultivars. All results are means of quadruplicates, and the error bars show standard deviations. Different letters show significant differences ($p < 0.05$) in the folate contents among the cultivars.

REFERENCES

- Basset, G. J.; Quinlivan, E. P.; Ravanel, S.; Rébeillé, F.; Nichols, B. P.; Shinozaki, K.; Seki, M.; Adams-Philips, L. C.; Giovannoni, J. J.; Gregory, J. F.; Hanson, A. D. (2004). Folate synthesis in plants: the paminobenzoate branch is initiated by a bifunctional PabA-PabB protein that is targeted to plastids. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 101, 1496-1501.
- Coppede, F. (2009). The complex relationship between folate and homocysteine metabolism and risk of Down syndrome. *Mutation Research and Reviews in Mutation Research*, 682(1), 54-70.
- Finglas, P. M.; Scott, K. J.; Witthöft, C. M.; Van den Berg, H.; De Froidmont-Görtz, I. (1999). The Certification of the Mass Fraction of Vitamins in Four Reference Materials: Wholemeal Flour (CRM 121), Milk Powder (CRM 421), Lyophilised Mixed Vegetables (CRM 485) and Lyophilised Pig's Liver (CRM 487); Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, (EUR report 18320).
- Gregory, J. F.; Sartain, D. B.; Day, B. P. F. (1984). Fluorometric determination of folacin in biological materials using high performance liquid chromatography. *J. Nutr.*, 114, 341-353.
- Jägerstad, M.; Piironen, V.; Walker, C.; Ros, G.; Carnovale, E.; Holasova, M.; Nau, H. (2005). Increasing natural food folates through bioprocessing and biotechnology. *Trends Food Sci. Technol.*, 16, 298-306.
- Konings, E. J. (1999). A validated liquid chromatography method for determining folates in vegetables, milk powder, liver, and flour. *J. AOAC Int.*, 82, 119-127.
- Moat, S. J., Lang, D., McDowell, I. F. W., Clarke, Z. L., Madhavan, A. K., Lewis, M. J., *et al.* (2004). Folate, homocysteine, endothelial function and cardiovascular disease. *The Journal of nutritional biochemistry*, 15(2), 64-79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnutbio.2003.08.010>.
- Olivares, A. B.; Bernal, M. J.; Ros, G.; Martínez, C.; Periago, M. J. (2004). Processing effect on folates in green peas and gazpacho. In *Proceeding of the First International Conference on Foliates; Analysis, Bioavailability and Health*; University Press: Warsaw, Poland; pp 61-67.
- Pennington, J. A. T. (2002). Food composition databases for bioactive food components. *J. Food Compos. Anal.*, 15, 419-434.
- Periago, M. J.; García-Alonso, J.; Jacob, K.; Olivares, A. B.; Bernal, M. J.; Iniesta, M. D.; Martínez, C.; Ros, G. (2008). Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) during vine ripening. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 12, 1-15.
- Pfeiffer, C. M.; Rogers, L. M.; Gregory, J. F. (1997). Improved analysis of folate in cereal-grain food products using tri-enzyme extraction and combined affinity and reverse phase liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.*, 45, 407-413.
- Reynolds, E. (2006). Vitamin B12, folic acid, and the nervous system. *The Lancet*, 5(11), 949-960.
- Scott, J.; Rébeillé, F.; Fletcher, J. (2000). Folic acid and folates: the feasibility for nutritional enhancement in plant foods. *J. Sci. Food Agric.*, 80, 795-824.
- Strålsjö, L. M.; Witthöft, C. M.; Sjöholm, I. M.; Jägerstad, M. I. (2003). Folate content in strawberries (*Fragaria x ananassa*): effects of cultivar, ripeness, year of harvest, storage and commercial processing. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 128-133.
- Vahteristo, L.; Finglas, P. M.; Witthöft, C.; Wigertz, K.; Seale, R.; De Froidmont-Görtz, I. (1996). Third EU MAT intercomparison study on food folate analysis using HPLC procedures. *Food Chem.*, 57, 109-111.
- Willcox, J. K.; Catignani, G. L.; Lazarus, S. (2003). Tomatoes and cardiovascular diseases. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 43, 1-18.

**APORTACIÓN DE LA DOCTORANDA EN CADA ARTÍCULO INCLUIDO
EN LA TESIS DOCTORAL COMO COMPENDIO DE PUBLICACIONES**

PUBLICACIÓN 1: *Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars.*

Food and Bioprocess Technology.

February 2013, Volume 6, Issue 2, Pages 391-402.

DOI 10.1007/s11947-011-0687-3

La doctoranda ha participado en el diseño experimental del estudio y en el procesado de las muestras. Ha realizado los análisis de carotenoides, compuestos fenólicos totales e individuales, vitamina C, folatos y actividad antioxidante por los métodos TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) y FRAP (Ferric Reducing/Antioxidant Power). Ha realizado el análisis estadístico de los resultados mediante el programa informático SPSS, versión 15.0. Ha preparado el manuscrito discutiendo los resultados y responsabilizándose de todo el proceso editorial.

PUBLICACIÓN 2: *Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato puree.*

Innovative Food Science and Emerging Technologies.

April 2009, Volume 10, Issue 2, Pages 179-188.

DOI: 10.1016/j.ifset.2008.12.001

La doctoranda ha participado en el procesado de las muestras. Ha realizado los análisis de carotenoides, compuestos fenólicos totales, vitamina C, folatos y actividad antioxidante por el método TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity). Ha realizado el análisis estadístico de los resultados mediante el programa informático SPSS, versión 15.0. Ha participado en la discusión de los resultados y en la redacción del artículo.

PUBLICACIÓN 3: *Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber.*

Food Research International.

June 2011, Volume 44, Issue: 5, Pages 1528-1535.

DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.005

La doctoranda ha participado en el diseño experimental del estudio y en el procesado de las muestras. Ha realizado los diferentes métodos de análisis encaminados a determinar el contenido de licopeno, compuestos fenólicos totales e individuales, actividad antioxidante por el método TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), análisis nutricional (humedad, proteínas, grasas, hidratos de carbono), determinación de fibra dietética (total, soluble e insoluble), determinación de azúcares neutros y ácidos urónicos por cromatografía gaseosa, y análisis de propiedades funcionales de la fibra dietética. Ha realizado el análisis estadístico de los resultados mediante el programa informático SPSS, versión 15.0. Ha participado en la discusión de los resultados y la redacción del artículo, así como en el proceso editorial del mismo.

La Doctoranda

Fdo.: Verónica García Valverde

VºBº

La Directora

VºBº

El Director

Fdo.: María Jesús Periago Castón

Fdo.: Javier García Alonso

***R**esumen*

***G**lobal*



Resumen Global

En la industria hortofrutícola así como en el procesado de los vegetales frescos, la calidad ha estado definida principalmente por aspectos relacionados con las características organolépticas. Sin embargo, en los últimos años el valor nutricional y el contenido de compuestos bioactivos han despertado interés entre los consumidores, apareciendo en el mercado productos con valor añadido debido a estas características. Este hecho, se ha reflejado también en la industria transformadora de tomate, siendo la selección de la materia prima una herramienta fundamental para obtener un producto de calidad, tanto por sus características organolépticas como por su composición química.

Existen un gran número de factores que afectan a la composición química del tomate (Davies y Hobson, 1981; Martínez-Valverde *et al.*, 2002; Dumas *et al.*, 2003; Minoggio *et al.*, 2003; Wold *et al.*, 2004; Periago *et al.*, 2009), incluyendo factores genéticos como la variedad del fruto, factores medioambientales (luz, temperatura, composición del aire y del suelo) y prácticas de cultivo (estado de maduración en cosecha, sistema de irrigación, fertilización). Estos factores afectan también al contenido en carotenoides y compuestos fenólicos, lo cual explica la gran variabilidad en el contenido de estos compuestos, que podemos encontrar recogida en la literatura científica. En cuanto a las variedades de tomate, existen notables diferencias entre los tomates para consumo en fresco y las variedades de tomates destinadas a su procesado en la industria. En el primer grupo, se prefieren variedades de piel fina, de forma y color uniforme, sabor dulce y gran jugosidad. Por el contrario para el procesado, las características de calidad externa, como forma, color y tamaño están menos valoradas, siendo más importantes otros caracteres relativos a la calidad interna, como acidez, contenido en azúcares y materia seca.

En el primer trabajo hemos estudiado las variaciones en los compuestos bioactivos antioxidantes (compuestos fenólicos totales e

individuales, licopeno y β -caroteno), folatos y vitamina C en tomates en fresco, en función de la variedad y el estado de maduración del fruto, relacionándolos posteriormente con la actividad antioxidante hidrofílica. Los resultados de este estudio permiten alcanzar el primer y segundo objetivo de la presente Tesis Doctoral y resultan de interés para la industria hortofrutícola, dietistas y nutricionistas ya que aportan datos sobre la influencia de estos dos factores sobre la composición de compuestos bioactivos del tomate fresco, permitiendo la obtención de productos con un valor añadido que podrían tener efectos beneficiosos para la salud humana.

El aumento en el contenido de carotenoides durante el proceso de maduración del fruto está directamente relacionado con el incremento de licopeno en el interior de los plástidos (Fraser *et al.* 1994; Thompson *et al.* 2000). En nuestro estudio, tanto el contenido de licopeno total como el de sus isómeros *all-trans* y *cis* aumentaron de forma significativa durante la maduración. Estos resultados concuerdan con los descritos por Van den Berg *et al.* (2000) que observaron como el licopeno comienza a acumularse en el estado de maduración “breaker”, asociado con el aumento de actividad de las enzimas responsables de su síntesis, fitoeno sintasa y fitoeno desaturasa, y a la casi desaparición de las enzimas β y ϵ -licopeno ciclasas que utilizan el licopeno en posteriores etapas de síntesis de otros carotenoides como el α y el β -caroteno. El contenido en licopeno total y sus isómeros en las muestras de tomate para consumo en fresco fue similar a los datos obtenidos por otros autores para tomate maduro (Abushita *et al.*, 2000; Martínez-Valverde *et al.* 2002; Kuti y Konuru, 2005; Ahmed *et al.*, 2011), observando diferencias estadísticamente significativas para el contenido de licopeno total, *all-trans* licopeno y *cis* licopeno entre las muestras. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el contenido de licopeno total y *all-trans* en las variedades destinadas a la industria, ya que todos estos frutos se cosecharon cuando estaban totalmente maduros. Por tanto, podemos decir que la selección de la

variedad es clave para la obtención de productos con un valor añadido especialmente en las variedades destinadas a consumo fresco.

El contenido de β -caroteno fue significativamente mayor en los frutos maduros, con excepción de la variedad Cherry Pera en la que no se observaron diferencias significativas entre el estadio de maduración pintón, rosado y rojo. En el presente estudio, se observaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de β -caroteno entre algunas de las variedades analizadas. Sin embargo, no se observó una tendencia clara durante el proceso de maduración. En este sentido, otros autores también han descrito resultados contradictorios. Cano *et al.* (2003) observaron un incremento en el contenido de β -caroteno durante las primeras etapas de maduración seguido de una disminución, para los estadios más desarrollados. Por el contrario, Abushita *et al.* (1997) y Giovanelli *et al.* (1999) observaron un aumento constante de las concentraciones de β -caroteno a lo largo de la maduración del tomate. Estas diferencias pueden ser debidas a otros factores que afectan de manera determinante al contenido de licopeno y otros carotenoides. Entre ellos, la exposición directa a la luz solar es capaz de disminuir la síntesis de licopeno (Dumas *et al.*, 2003; Brandt *et al.*, 2006), al igual que las temperaturas por debajo de 12°C y por encima de 32°C (Leoni, 1992; Dorais *et al.*, 2008), por lo que estos factores también pueden afectar la síntesis de β -caroteno ya que éste se sintetiza a partir del licopeno.

El contenido de compuestos fenólicos en las variedades de tomate estudiadas fue similar a los datos publicados por Martínez-Valverde *et al.* (2002) y ligeramente superior a los observados por Hernández *et al.* (2007) en variedades comerciales. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre variedades y estados de maduración, aunque no se observó una tendencia clara de la evolución del contenido de compuestos fenólicos a lo largo de la maduración. Por el contrario, el contenido de compuestos fenólicos totales no mostró diferencias significativas entre las distintas variedades de tomate de industria. El contenido de fenoles totales

aumentó durante la maduración solamente en la variedad Cherry Pera, mientras que en el resto de variedades el contenido disminuyó ligeramente o se mantuvo constante. Sin embargo, este resultado puede estar asociado con el método de análisis sobrestimando el contenido de estos compuestos, ya que en la reacción con el reactivo de Folin-Ciocalteu pueden interferir sustancias reductoras del tomate como la vitamina C o los azúcares. Esta es probablemente la razón por la que el contenido de compuestos fenólicos totales en la variedad Cherry Pera fue superior, especialmente en los tomates más maduros, ya que estos presentaron el mayor contenido en vitamina C.

Los principales compuestos fenólicos observados fueron ácido clorogénico, rutina y naringenina. Estos resultados se correlacionan con los observados por otros autores (Martínez-Valverde *et al.* 2002; Slimestad y Verheul, 2009). El contenido de ácido clorogénico en las muestras analizadas disminuyó durante la maduración, observando el menor contenido en los tomates más maduros mientras que el mayor contenido se detectó en los tomates en los estadios verde, pintón y rosado. Estos resultados son similares a los observados por otros autores (Fleuriet y Macheix 1981; Buta y Spaulding 1997). También se detectaron bajas concentraciones de ácidos ferúlico y cafeico similares a los descritos por otros autores (Buta y Spaulding, 1997; Luthria *et al.*, 2006). En cuanto al contenido de flavonoides, en las muestras analizadas solo se detectaron rutina y naringenina. La rutina fue el principal flavonoide, observando una gran variabilidad en su concentración. Slimestad y Verheul (2009) también describieron esta variabilidad dependiendo del cultivo estudiado y del grado de maduración, mostrando un mayor contenido en los tomates maduros que en los verdes. Sin embargo, en nuestro estudio la concentración más baja del flavonoide rutina fue cuantificada en los tomates maduros, en tres de las cuatro variedades estudiadas, si bien no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos estados de maduración. En todas las variedades estudiadas (tomate para consumo fresco como industrial), el contenido de rutina está

significativamente correlacionado con el de compuestos fenólicos totales. La mayor concentración de naringenina se observó en los estadios de maduración intermedios. Resultados similares fueron observados por Schindler *et al.* (2005).

En general, podemos decir que los compuestos fenólicos estudiados individualmente aumentan gradualmente su contenido entre los estados de maduración verde a rosado y disminuyen cuando los tomates alcanzan el color rojo. Una conclusión similar fue descrita por Salunkhe *et al.* (1974) que observó una disminución del contenido polifenólico total con la maduración.

En cuanto al contenido en vitamina C, analizado en los tomates destinados a consumo en fresco, observamos que la variedad afecta significativamente al contenido de esta vitamina, sin observar una tendencia clara a lo largo de la maduración. De hecho, en la literatura científica podemos encontrar estudios con resultados contradictorios acerca de la evolución del contenido de vitamina C durante la maduración (Abushita *et al.*, 1997; Giovanelli *et al.*, 1999; Jiménez *et al.*, 2002; Cano *et al.*, 2003; Periago *et al.*, 2009).

Otro de los micronutrientes, con actividad vitamínica y actividad antioxidante, analizado en los tomates ha sido el folato, destacando el 5-CH₃-H₄-folato ya que fue la única forma de folato detectada en las diferentes variedades de tomate estudiadas. Estos resultados están de acuerdo con los observados por Periago *et al.* (2009). Su concentración osciló ampliamente dependiendo de la variedad y estado de maduración. Esta gran variabilidad (>30%) en el contenido de folato en el tomate ya fue descrita por Jägerstad *et al.* (2005). La variedad Ronaldo mostró un contenido significativamente mayor de 5-CH₃-H₄-folato en todos los grados de maduración respecto al resto de variedades estudiadas. Estos resultados son similares a los descritos por otros investigadores que analizaron, entre otras, la variedad de tomate Ronaldo (Olivares *et al.*, 2004; Periago *et al.*,

2009). Aunque la concentración de folato desde el estadio verde hasta el tomate rojo maduro mostró una gran variabilidad, disminuyendo significativamente ($p < 0.0001$) tal y como han descrito otros autores (Basset *et al.*, 2004; Periago *et al.*, 2008), en tres de las cuatro variedades estudiadas, no se observó un patrón claro a lo largo de la maduración. Únicamente, en la variedad Cherry Pera el contenido de 5-CH₃-H₄-folato aumenta de manera significativa a lo largo de la maduración. En cuanto a las variedades de tomate destinado a procesado industrial, el contenido de folato osciló entre 9.9 µg/100 g y 5.6 µg/100 g, en las variedades Malva y H-9776, respectivamente. Estas cantidades fueron similares a las observadas en los tomates rojos de las variedades destinadas a consumo en fresco, con la excepción de la variedad Ronaldo que presentó el mayor contenido. Por tanto, podemos decir que la influencia de la maduración sobre el contenido en folato del tomate es difícil de evaluar, tal como describieron otros autores que estudiaron diferentes estados de maduración en fresas (Strålsjö *et al.*, 2003).

Tras analizar las correlaciones entre la actividad antioxidante hidrofílica y el contenido de los distintos compuestos bioactivos, observamos que en los primeros estados de maduración de los tomates de consumo en fresco (verde y pintón), la vitamina C es el micronutriente que más contribuye a la actividad antioxidante hidrofílica. En los tomates verdes, además, se observó una fuerte correlación entre el ácido clorogénico y la actividad antioxidante hidrofílica ($p < 0.01$) ($r_{\text{ABTS-Clorogenic}} = 0.940$), lo cual podría ser debido a que los mayores niveles de este compuesto fenólico se encuentran precisamente en los primeros estados de desarrollo del fruto (Buta *et al.*, 1997). Por el contrario, en los tomates maduros (tanto en las variedades destinadas a consumo fresco como las de uso industrial) la mayor contribución a la actividad antioxidante es proporcionada por los compuestos fenólicos totales, destacando la rutina, tal y como han observado otros autores (Periago *et al.*, 2009; Kotíková *et al.*, 2011).

Aproximadamente el 40% de la producción total de tomate se destina a la transformación industrial dando lugar a una gran variedad de productos en forma de zumos, salsas, purés, pastas, etc. En general, se considera que el procesado térmico disminuye el valor nutricional de los alimentos, debido a la pérdida de ciertas sustancias como las vitaminas (Klopotek *et al.*, 2005), hecho que es muy manifiesto para la vitamina C (Mercali *et al.*, 2012). Sin embargo, en el caso de los productos derivados del tomate, tras el tratamiento térmico el contenido de licopeno permanece relativamente estable, mostrando una mayor disponibilidad (Gartner *et al.*, 1997) como consecuencia de la ruptura de la estructura celular, que facilita su extracción y posterior cuantificación. Son numerosas las investigaciones que se han realizado para evaluar el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de carotenoides, y especialmente sobre el licopeno (Dewanto, *et al.*, 2002; Gahler *et al.*, 2003; Lin y Chen, 2005; Jacob *et al.*, 2010, Hwang, *et al.*, 2012), observando que su contenido tras el procesado térmico depende de las condiciones de tratamiento (Jacob *et al.*, 2010), ya que un tratamiento térmico intenso puede causar oxidación originando la degradación del licopeno y otros carotenoides (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004). También el efecto del tratamiento con altas presiones ha sido estudiado para evaluar los cambios en los antioxidantes del tomate. Hsu (2008) y Gupta *et al.* (2010) observaron que durante los tratamientos con altas presiones (200-500 MPa) los carotenoides y la capacidad antioxidante se mantienen relativamente estables, y mejoran ciertos atributos de calidad del zumo de tomate como el color y la viscosidad.

Teniendo en cuenta que el tratamiento térmico aplicado en la elaboración del zumo de tomate preserva el contenido de compuestos bioactivos, el segundo estudio de la presente Tesis Doctoral se diseñó para investigar el efecto de la homogeneización y pasterización sobre el contenido de los compuestos bioactivos estudiados en los tomates en fresco, y la actividad antioxidante hidrofílica. Mediante este segundo estudio se alcanza el tercer objetivo de esta Tesis. Por un lado, se evaluó la homogeneización en una o dos etapas aplicando distintas presiones,

seguida de una pasterización, con el fin de comprobar si la homogeneización en dos etapas puede mejorar la extracción de compuestos bioactivos en un puré de tomate fresco (RTP), considerando el efecto que posteriormente tendría el tratamiento térmico de esterilización comercial. Por otro lado, también se estudió el efecto de estos procesos de homogeneización y de la temperatura de pasterización, en el puré de tomate “hot break” (HTP), para evaluar el efecto de un segundo tratamiento térmico en el contenido de los compuestos bioactivos, teniendo en cuenta, que este es el procedimiento más habitual para la elaboración de zumo de tomate en la industria, al utilizar como materia prima el puré HTP elaborado previamente con los tomates frescos de temporada.

El contenido de licopeno total en las muestras estudiadas fue similar al descrito en la literatura científica (Periago *et al.*, 2001; Xianquan *et al.*, 2005), si bien observamos diferencias según el tipo de muestra siendo el contenido significativamente superior en las muestras HTP que en las RTP, ya que generalmente las variedades de tomates utilizadas en la producción del puré HTP son de aptitud industrial y tienen un mayor contenido de licopeno. Además, dado que la mayor parte del licopeno presente en el tomate se encuentra en la piel (Lin y Chen, 2005), el método de procesado “hot break” podría mejorar la extracción de licopeno debido a que el tratamiento térmico favorece la degradación de las paredes y membranas de las células aumentando la liberación de licopeno de la matriz (Lin y Chen, 2005). Otro efecto beneficioso del tratamiento térmico es la inactivación de enzimas como la lipooxigenasa (LOX), la hidroperóxido-liasa (HPL) y la alcohol deshidrogenasa (ADH) entre otras, que intervienen en los procesos de oxidación de los lípidos, formación de compuestos aromáticos y degradación de carotenoides como el licopeno (Peach *et al.*, 2008; Davila-Aviña *et al.*, 2011). Recientemente hemos estudiado en nuestro grupo de investigación que en zumos mínimamente procesados la actividad residual de LOX y HPL puede afectar a la degradación del licopeno aumentando el contenido de la cetona 6-metil-5-hepten-2-ona (Bravo, 2013), compuesto

aromático que se detecta durante el almacenamiento en refrigeración resultante de los fenómenos de co-oxidación de este carotenoide (Buttery y Ling, 1993). De hecho, se ha observado una correlación negativa entre el contenido de licopeno y la cantidad de cetona presente en el zumo durante el almacenamiento (Bravo, 2013). Aunque en la presente Tesis Doctoral el zumo fue pasteurizado y no mínimamente procesado, la inactivación completa de las enzimas que se consigue con estos tratamientos térmicos ayuda a mantener la estabilidad del licopeno, evitando las pérdidas por oxidación enzimática. Así, la pasteurización y homogeneización no afectaron significativamente al contenido de carotenoides (licopeno y β -caroteno), hecho al que pueden contribuir otros antioxidantes (vitamina C, compuestos fenólicos y tocoferoles), proporcionándoles estabilidad durante el procesado (Takeoka *et al.*, 2001). Además, las condiciones de temperatura y tiempo utilizadas en nuestro estudio (98 °C/40 seg.) podrían evitar las pérdidas debido a la oxidación del *all-trans* licopeno y β -caroteno descritas por algunos autores (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004; Seybold *et al.*, 2004) tras el tratamiento térmico a alta temperatura durante un tiempo prolongado. Hay que destacar que no se observó un incremento significativo en el porcentaje de isomerización tras la homogeneización y la pasteurización en ninguna de las muestras estudiadas, lo que se correlaciona con los resultados observados por otros autores (Abushita *et al.*, 2000; Takeoka *et al.*, 2001; Seybold *et al.*, 2004; Lin y Chen, 2005, Jacob *et al.*, 2010) que sugieren que los carotenoides, y especialmente el licopeno, son relativamente estables a las reacciones de isomerización producidas durante el procesado térmico. Tampoco observamos un aumento significativo en el porcentaje de isomerización debido a la temperatura utilizada durante el tratamiento térmico (98, 108 y 128 °C durante 40 seg.). En este estudio, las condiciones del tratamiento térmico aplicadas experimentalmente fueron similares a las utilizadas durante el procesado del zumo de tomate, por lo que podemos decir que el tratamiento industrial no produce un aumento significativo en la isomerización del licopeno presente en el puré de tomate, tal como describieron Nguyen y Schwartz (1998).

En cuanto al contenido de compuestos fenólicos totales, se observó que la homogeneización no produce cambios significativos, mientras que la pasterización conlleva a una disminución significativa de su contenido, tanto en las muestras RTP como en las HTP. En cuanto al efecto del tratamiento térmico sobre los compuestos fenólicos se pueden hallar resultados contradictorios en la literatura científica. Dewanto *et al.* (2002), observaron que el contenido de estos compuestos no variaba tras la aplicación de un tratamiento a 88 °C durante 2, 15 y 30 min. Sin embargo, otros autores describen un aumento del contenido tras el tratamiento térmico (Gahler *et al.*, 2003; Lavelli y Giovanelli, 2003; Jacob *et al.*, 2010). Al no haber realizado una cuantificación individual de los compuestos fenólicos mayoritarios, el efecto se evaluó de forma global, y la disminución del contenido en compuestos fenólicos totales parece estar relacionada con la degradación de la vitamina C tras el tratamiento térmico, ya que en el método Folin-Ciocalteu otras sustancias reductoras, como el ácido ascórbico, pueden interferir en la cuantificación de estos compuestos, por lo que al disminuir esta vitamina la reacción colorimétrica es menor cuantificando una menor cantidad de compuestos fenólicos totales. Sin embargo, a pesar de la sobrestimación de los compuestos fenólicos por este método colorimétrico, éste sigue siendo muy utilizado para la determinación de compuestos fenólicos (Wu *et al.*, 2004), porque nos permite comparar perfiles de compuestos fenólicos en los alimentos y relacionarlos con otros parámetros.

El contenido de vitamina C fue significativamente menor (46%) en las muestras HTP que en las RTP como consecuencia del proceso térmico aplicado en el tratamiento tecnológico “hot break”. Aunque el proceso de homogeneización no produjo cambios significativos en la vitamina C, la pasterización conllevó una importante disminución de esta vitamina, siendo mayor en las muestras HTP que en las muestras RTP, coincidiendo con los resultados descritos por otros investigadores (Dewanto *et al.*, 2000; Gahler *et al.*, 2003; Lavelli y Giovanelli, 2003). Sin embargo, no se observaron

diferencias significativas para el contenido de vitamina C entre las diferentes temperaturas de pasterización utilizadas.

Los procesos de homogeneización y pasterización no tienen un efecto significativo sobre la actividad antioxidante hidrofílica de los purés de tomate RTP y HTP. Sin embargo, tras la pasterización del puré HTP a diferentes temperaturas, observamos una mayor actividad antioxidante en las muestras tratadas a 108 y 128 °C. Este aumento podría ser debido a la formación de productos de la reacción de Maillard, incluyendo diferentes sustancias que se forman a elevadas temperaturas y que pueden inducir un incremento de la capacidad antioxidante en los alimentos (Severini y Lericci, 1995; Nicoli *et al.*, 1997). Este hecho se ve además reforzado por las características de composición química del tomate, ya que su alto contenido en azúcares naturales puede servir de sustrato de las reacciones de Maillard.

En general, el contenido de folato en forma de 5-CH₃-H₄-folato aumentó significativamente tras la pasterización suave (98 °C, 40 seg.), independientemente del tipo de muestra o de si ésta había sido homogeneizada previamente. Sin embargo, cuando se emplearon temperaturas de pasterización elevadas (108 y 128 °C) el contenido en folato disminuyó entre un 15 y un 30%. Por tanto, podríamos decir que la pérdida de folato durante el procesado está en función de la temperatura utilizada, así como de la exposición al oxígeno y a la luz (Stea *et al.*, 2006). También se observó un aumento progresivo y significativo ($p < 0.05$) para el contenido de folato en las muestras pasterizadas conforme incrementaba la intensidad de la homogeneización, especialmente en las muestras sometidas al proceso en dos etapas. Esto podría deberse al efecto de la presión, que produce una rotura de los organelos celulares, favoreciendo la extracción y conversión de derivados de folato poliglutamato a monoglutamato. Esto indica un fuerte efecto sinérgico de ambos tratamientos, ya que observamos que el proceso de homogeneización por sí solo no afecta de forma significativa al contenido en folatos pero cuando se

acompaña de un proceso de pasterización, el contenido de 5-CH₃-H₄-folato aumenta de 3 a 4 veces sobre el contenido inicial en las muestras HTP y RTP, respectivamente, debido a una mayor extracción.

Los resultados obtenidos de esta segunda experiencia nos proporcionan información básica para la industria alimentaria acerca de los cambios producidos en el contenido de compuestos bioactivos en alimentos derivados del tomate y otros alimentos de origen vegetal, como resultado de las diferentes condiciones de tratamiento en los procesos industriales. Esta información permite adaptar los procesos de elaboración de zumo de tomate para obtener productos con un mejor valor nutricional de acuerdo al contenido en compuestos bioactivos y por consiguiente con un valor añadido.

La gran actividad industrial asociada al procesado de los tomates genera una gran cantidad de residuos sólidos (pieles y semillas) que representan un gran problema medioambiental. Los residuos de tomate constituyen una fuente importante de carotenoides, compuestos fenólicos, proteínas, azúcares, fibras, ceras y aceites (75% de ácidos grasos insaturados). Por ello, en los últimos años se han realizado numerosas investigaciones para poder extraer aquellos compuestos bioactivos que son considerados de gran interés para la industria alimentaria y farmacéutica, destacando este residuo como una fuente natural de licopeno y de fibra dietética (Rozzi *et al.*, 2002; Topal *et al.*, 2006). En la tercera experiencia se realizó la caracterización de un subproducto del procesado industrial del tomate denominado fibra dietética de tomate. Este subproducto procede de la piel de tomate la cual es deshidratada, triturada y homogeneizada y puede ser utilizada como ingrediente en la elaboración de alimentos procesados, proporcionando color e incrementando el contenido de fibra. Con esta última experiencia se logró la consecución del cuarto, quinto y sexto objetivo de esta Tesis Doctoral.

La fibra dietética procedente de la piel del tomate tiene un bajo contenido en proteína y grasa, siendo el componente mayoritario los carbohidratos complejos en forma de fibra dietética. El contenido de fibra dietética total fue de 84.16 g/100 g, principalmente en forma de fibra dietética insoluble (71.82 g/100 g) debido al alto contenido en celulosa y hemicelulosa. El contenido en fibra dietética total de la fibra de tomate es mayor que en otras fibras procedentes de otros vegetales como las pieles de uva (Saura-Calixto, 1998), de zanahoria (Chantaro *et al*, 2008) y productos de la fibra de cacao (Lecumberri *et al.*, 2007). El alto contenido en fibra dietética insoluble puede ser considerado una ventaja ya que podría ser utilizado en la industria alimentaria como ingrediente para aumentar la fracción insoluble no digestible. La fibra de tomate podría considerarse una buena fuente de K, Mg y Ca. Además, tiene un bajo contenido en Na que junto con el bajo ratio Na/K es interesante desde el punto de vista nutricional, ya que se ha sugerido como un factor protector contra la enfermedad cardiovascular. Desde el punto de vista nutricional, la adición de fibra de tomate a los alimentos permite aumentar la ingesta diaria de hidratos de carbono no digestibles, aumentando el volumen fecal y desarrollando un efecto beneficioso para la función intestinal. Si además tenemos en cuenta la baja presión osmótica que presenta, su consumo no traería consigo problemas intestinales asociados con la diarrea. En cuanto a los resultados obtenidos del índice de retardo de difusión de glucosa, podemos decir que este tipo de fibra puede reducir la absorción de glucosa durante la digestión intestinal gracias a la capacidad de interferir en su absorción. Esta propiedad es nutricionalmente importante porque podría reducir la glucosa postprandrial tras la ingesta de alimentos a los que se les haya añadido fibra tomate, teniendo un efecto positivo en el índice glucémico de los alimentos.

Si nos fijamos en las propiedades tecnológicas, la capacidad de retención de agua de la fibra dietética de tomate fue de 6.76 g/g, siendo mayor que la presentada por otras fibras procedentes de pieles de cítricos o de manzana (Figuerola *et al.*, 2005). Sin embargo, la capacidad de

hinchamiento y la capacidad de adsorción de grasa fueron muy bajas, hecho que queda justificado por el bajo contenido de fibra dietética soluble (14.33%) y por la ausencia o escasa presencia de lignina en la piel de tomate (Fraga *et al.*, 1995), respectivamente. Por ello, desde el punto de vista tecnológico la fibra de tomate podría contribuir a estabilizar la matriz alimentaria, mejorando la densidad ya que la fibra insoluble se utiliza como agente texturizante y permite reducir el contenido de lípidos cuando se adiciona a los alimentos como ingrediente.

Además, de estas características nutricionales y propiedades funcionales, la fibra de tomate tiene como valor añadido que aporta antioxidantes, carotenoides y compuestos fenólicos. Dadas las características del producto y teniendo en cuenta que estos compuestos bioactivos se encuentran unidos principalmente a la pared celular, para su cuantificación se ensayaron distintos métodos de extracción con ultrasonidos, maceración y enzimas comerciales hidrolíticas. Cabe destacar el contenido de compuestos fenólicos totales (158.1 mg GAE/100 g), muy superior al observado en otras fibras como las procedentes de naranja (Garau *et al.*, 2007), aunque considerablemente bajo comparado con la fibra de cacao que contiene 1320 mg GAE/100 g (Lecumberri *et al.*, 2007). De los tres métodos de extracción analizados, en general, la extracción mediante ultrasonidos es el que proporciona una mejor extracción de los compuestos fenólicos de la piel del tomate, seguido de la maceración y el tratamiento enzimático. Aunque los tres métodos proporcionaron diferentes cantidades de compuestos fenólicos totales, los perfiles observados fueron siempre los mismos, la rutina es el principal compuesto, seguido por la naringenina, derivados de rutina y derivados del ácido clorogénico. El contenido de licopeno extraído de la piel de tomate fue de 3 a 4 mg/100 g, siendo la maceración el método que permitió obtener resultados ligeramente superiores. Sin embargo, ninguno de los métodos ensayados consiguió la extracción total de licopeno ya que la fibra de tomate continuaba presentando un color rojizo tras la extracción con hexano.

Gracias al contenido en estos compuestos bioactivos, la fibra de tomate puede mejorar la actividad antioxidante de los alimentos a los que se le añade como ingrediente. La capacidad antioxidante total estuvo determinada principalmente por sustancias antioxidantes de tipo hidrofílico (3.90 $\mu\text{mol TEAC/g}$ frente a 0.044 $\mu\text{mol TEAC/g}$ correspondientes a la actividad antioxidante lipofílica). En los tomates, tal y como se ha mencionado, cuando la vitamina C se ha degradado la actividad antioxidante hidrofílica es aportada fundamentalmente por los compuestos fenólicos (García-Alonso *et al.*, 2009; Periago *et al.*, 2009). Como los compuestos fenólicos se encuentran unidos a la pared celular, la fibra de tomate mostró una alta actividad antioxidante si la comparamos con otras fuentes de fibra dietética, como la celulosa o el salvado de trigo, frecuentemente utilizadas en la industria alimentaria. Aunque los resultados obtenidos de esta tercera experiencia muestran las posibilidades de uso como ingrediente alimentario de la fibra de tomate, su utilización está limitada por el color y el sabor que proporciona, aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar los alimentos a los que se puede adicionar.

BIBLIOGRAFIA

- Abushita, A. A., Dado, H. G., y Biacs, P. A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Food Chemistry*, 48, 2075-2081.
- Abushita, A.A., Hebshi, E.A., Daood, H.G., Biacs, P.A. (1997). Determination of vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60 (2), 207-212.
- Ahmed, L., Martin-Diana, A. B., Rico, D., y Barry-Ryan, C. (2012). Quality and nutritional status of fresh-cut tomato as affected by spraying of delactosed whey permeate compared to industrial washing treatment. *Food and Bioprocess*, 5(8), 3103-3114.
- Basset, G.J., Quinlivan, E.P., Ravanel, S., Rébeillé, F., Nichols, B.P., Shinozaki, K., Seki, M., Adams-Philips, L.C., Giovannoni, J.J., Gregory, J.F., Hanson, A.D. (2004). Folate synthesis in plants: the paminobenzoate branch is initiated by a bifunctional PabA-PabB protein that is targeted to plastids. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 101, 1496-1501.
- Brandt, S., Pek, Z., Barna, E., Lugasi, A., Helyes, L. (2006). Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *J Sci Food Agric.* 86 (4) 568-572.
- Bravo, S. (2013). Optimización del contenido y disponibilidad del licopeno y otros compuestos bioactivos en tomate y productos elaborados con tomate. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Buta, J.G. y Spaulding, D.W. (1997). Endogenous levels of phenolics in tomato fruit during growth and maturation. *Journal of Plant Growth Regulation*, 16(1), 43-46.
- Buttery, R.G. y Ling, L. (1993). Enzymatic production of volatiles in tomatoes, in *Progress in Flavor Precursor Studies*, ed. by Schreier P and Winterhalter P. Allured Publishing, Carol Stream, IL, pp. 137-146.
- Cano, A., Acosta, M. y Arnao, M.B. (2003). Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biology and Technology*, 28, 59-65.
- Chantaro, P., Devahastin, S., y Chiewchan, N. (2008). Production of antioxidant high dietary fibre powder from carrot peels. *LWT— Food Science and Technology*, 41, 1978-1994.
- Davies, J. N., y Hobson, G. E. (1981). The constituent of tomato fruit the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15, 205-280.
- Dávila-Aviña, J.E., González-Aguilar, G.A., Ayala-Zavala, J.F., Sepúlveda, D.R., Olivas, G.I. (2011). Compuestos volátiles responsables del sabor del tomate. *Rev Fitotec Mex.* 34(2):133-143.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., Liu, R.H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem.*, 50, 3010-3014.
- Dorais, M., Ehret, D.L., Papadopoulos, A.P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) Elath components: from the seed to the consumer. *Phytochem Rev.* 7:231-250.
- Dumas, Y., Dadomo, M., DiLucca, G., y Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on

- antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Sciences of Food and Agriculture*, 83, 369-382.
- Figuerola, F., Hurtado, M., Estévez, A., Chifelle, I., Asenjo, F. (2005) Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chem.* 91: 395-401.
- Fleuriet, A., y Macheix, J.J. (1981). Quinyl esters and glucose derivates of hydroxycinnamic acids during growth ripening of tomato fruits. *Phytochemistry*, 20, 667-671.
- Fraga, M.J., Villamide, M.J., y Carabaño, R. (1995). Fuentes de fibra para piensos de conejos. *Boletín de Cunicultura*, 79, 28-34.
- Fraser, P. D., Truesdale, M. R., Bird, C. R., Schuch, W., y Bramley, P.M. (1994). Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology*, 105, 405-413.
- Gahler, S., Otto, K., Böhm, V. (2003). Alterations of vitamin C, total phenolics and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *Food Chem*, 51:7962-7968.
- Garau, M.C., Simal, S., Roselló, C., y Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-product. *Food Chemistry*, 104, 1014-1024.
- García-Alonso, F.J., Bravo, S., Casas, J., Pérez-Conesa, D., Jacob, K. y Periago, M.J. (2009). Changes in Antioxidant Compounds during the Shelf Life of Commercial Tomato Juices in Different Packaging Materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (15), 6815-6822.
- Gartner, C., Stahl, W., y Sies, H. (1997). Lycopene is more available from tomato paste than from fresh tomatoes. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66, 116-122.
- Giovanelli, G, Lavelli, V., Peri, C., Nobili, S. (1999). Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 79 (12), 1583-1588.
- Gupta, R., Balasubramaniam, V.M., Schwartz, S.J. y Francis, D.M. (2010). Storage Stability of Lycopene in Tomato Juice Subjected to Combined Pressure-Heat Treatments. *J. Agric. Food Chem.*, 58 (14), pp 8305-8313
- Hernández, M., Rodríguez, E., Díaz, C. (2007). Free hydroxycinnamic acids, lycopene, and color parameters in tomato cultivars. *J Agric Food Chem*. 55(21):8604-8615
- Hsu, K.C. (2008). Evaluation of processing qualities of tomato juice induced by thermal and pressure processing. *LWT*, 41, 450-459.
- Hwang, E.S., Stacewicz-Sapuntzakis, M., Bowen, P.E. (2012). Effects of Heat Treatment on the Carotenoid and Tocopherol Composition of Tomato. *Journal of Food Science*, 77 (10), 1109-1114
- Jacob, K., García-Alonso, F.J., Ros, G. y Periago, M.J. (2010). Stability of carotenoids, phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant capacity of tomatoes during thermal processing. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 60 (2), 192-198.
- Jägerstad, M., Piironen, V., Walker, C., Ros, G., Carnovale, E., Holasova, M., Nau, H. (2005). Increasing natural food folates through bioprocessing and biotechnology. *Trends Food Sci. Technol.*, 16, 298-306.
- Jiménez, A., Creissen, G., Kular, B., Firmin, J., Robindon, S., Verhoeven, M., *et al.* (2002). Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta*, 214, 751-758.
- Klopotek, Y., Otto, K., y Böhm, V. (2005). Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total

- anthocyanins, and antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5640–5656.
- Kotíková, Z., Lachman, J., Hejtmánková, A. y Hejtmánková, K. (2011). Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1703-1710.
- Kuti, J.O., Konuru, H.B. (2005). Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85 (12), 2021-2026.
- Lavelli, V., y Giovanelli, G. (2003). Evaluation of heat and oxidative damage during storage of processed tomato products. II. Study of oxidative damage indices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 966–971.
- Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo-Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L., & Bravo, L. (2007). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 104, 948-954.
- Leoni, C. (1992). Industrial quality as influenced by crop management. *Acta Hort.* 301:177-184
- Lin, C.H. y Chen, B.H. (2005). Stability of carotenoids in tomato juice during processing. *European Food Research and Technology*, 221, 274-280.
- Luthria, D.L., Mukhopadhyay, S., y Krizek, D.T. (2006). Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 771-777.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Provan, G., Chesson, A. (2002). Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Journal of the Science and Food Agriculture* 82, 323-330.
- Meléndez-Martínez, A.J., Vicario, I.M. y Heredia, F.J. (2004). Stability of carotenoid pigments in foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54 (2), 209-215.
- Mercali, G.D., Jaeschke, D.P., Tessaro, I.C., Ferreira Marczak, L.D. (2012). Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment, *LWT - Food Science and Technology*, 47(1), 91-95.
- Minoggio, M., Bramati, L., Simonetti, P., Gardana, C., Iemoli, L., Santangelo, E., et al. (2003). Polyphenol pattern and antioxidant activity of different tomato lines and cultivars. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 47, 64-69.
- Nguyen, M.L. y Schwartz, S.J. (1998). Lycopene stability during food processing. *Proceeding of the Society for experimental Biology and Medicine*, 218 (2), 101-105.
- Nicoli, M.C., Anese, M., Parpinel, M.T., Franceschi, S., y Lericci, C.R. (1997). Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. *Cancer Letters*, 114, 71–74.
- Olivares, A. B.; Bernal, M. J.; Ros, G.; Martínez, C.; Periago, M. J. Processing effect on folates in green peas and gazpacho. In *Proceeding of the First International Conference on Folate; Analysis, Bioavailability and Health*; University Press: Warsaw, Poland, 2004; pp 61-67.
- Peach, J.C., Latché, A., Rest, B. (2008). Genes involved in the biosynthesis of aroma volatiles and biotechnological applications. In: *Fruit and Vegetable Flavor*. B Brücker, S G Wyllie (eds). CRC Press. Boca Raton, Boston, New York, Washington DC. 254-271.
- Periago, M.J., García-Alonso, J., Jacob, K., Olivares, A.B., Bernal, M.J., Iniesta, M.D., Martínez, C. y Ros, G. (2009). Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) during vine ripening. *International*

- Journal of Food Science and Nutrition, 60(8), 694-708.
- Periago, M.J., Martínez-Valverde, I., Ros, G., Martínez, C. y López, G. (2001). Propiedades químicas, biológicas y valor nutritivo del licopeno. *Anales de Veterinaria (Murcia)* 17: 51-66.
- Rozzi, N.L., Singh, R.K., Vierling, R.A., y Warkins, B.A. (2002). Supercritical fluid extraction of lycopene from tomato processing byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2638-2643.
- Salunkhe, D.K., Jadhav, S.J., y Yu, M.H. (1974). Quality and nutritional composition of tomato fruit as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 24, 85-113.
- Saura-Calixto, F. (1998). Antioxidant Dietary Fiber Product: A New Concept and a Potential Food Ingredient. *J. Agric. Food Chem.*, 46(10), 4303-4306.
- Schindler, M., Solar, S., y Sontag, G. (2005). Phenolic compounds in tomatoes. Natural variations and effect of gamma-irradiation. *European Food Research and Technology*, 221, 439-445.
- Severini, C., y Lericci, C.R. (1995). Interaction between the Maillard reaction and lipid oxidation in model systems during high temperature treatment. *Italian Journal of Food Science*, 7, 189-196.
- Slimestad, R. y Verheul, M. (2009). Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Journal of Science Food and Agriculture*, 89, 1255-1270.
- Stea, T.H., Johansson, M., Jagerstad, M., y Frølich, W. (2006). Retention of folates in cooked, stored and reheated peas, broccoli and potatoes for use in modern largescale service systems. *Food Chemistry*, 101, 1095-1107.
- Strålsjö, L.M., Witthöft, C.M., Sjöholm, I.M., Jägerstad, M.I. (2003). Folate content in strawberries (*Fragaria x ananassa*): effects of cultivar, ripeness, year of harvest, storage and commercial processing. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 128-133.
- Takeoka, G. R., Dao, L., Flessa, S., Gillespie, D. M., Jewel, W. T., Huebner, B., et al. (2001). Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3713-3717.
- Thompson, K. A., Marshall, M. R., Sims, C.A., Wei, C. I., Sargent, S.A., y Sott, J. W. (2000). Cultivar, maturity and heat treatment on lycopene content in tomatoes. *Journal of Food Science*, 65, 791-794.
- Topal, U., Sasaki, M., Goto, M., y Hayakawa, K. (2006). Extraction of lycopene from tomato skin with supercritical carbon dioxide: Effect of operating conditions and solubility analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 5604-5610.
- Van den Berg, H., Faulks, R., Fernando Granado, H., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., Southon, S., Stahl, W. (2000). The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (7), 880-912.
- Wold, A. B., Rosenfeld, H. J., Holte, K., Baugerød, H., Blomhoff, R., y Haffner, K. (2004). Colour of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 295-302.
- Wu, X., Beecher, G.R., Holden, J.M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E., y Prior, R.L. (2004). Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 4026-4037.

Xianquan, S., Shi, J., Kakuda, Y., Yueming, J. (2005). Stability of lycopene during food processing and storage. *Journal of Medicinal Food*, 8 (4), 413-422.

***C*onclusiones**



CONCLUSIONES

A partir de los resultados descritos y derivados de las diferentes experiencias en las que se ha organizado la presente Tesis Doctoral, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- **Primera:** La variedad de tomate y el estado de madurez del fruto afectan de forma relevante al contenido de compuestos bioactivos antioxidantes (licopeno total y sus isómeros, β -caroteno, compuestos fenólicos totales e individuales, ácido ascórbico y folatos) y a la actividad antioxidante hidrofílica de las variedades de tomate destinadas al consumo en fresco. Entre las variedades de tomate destinadas a la industria, que son normalmente procesadas cuando están totalmente maduras, las mayores diferencias se observaron en el contenido de β -caroteno, compuestos fenólicos individuales y actividad antioxidante hidrofílica.
- **Segunda:** En los primeros estadios de maduración de las variedades de consumo en fresco, la vitamina C y el ácido clorogénico son los compuestos bioactivos que más contribuyen a la actividad antioxidante hidrofílica del tomate. Por el contrario, en los tomates maduros (tanto en las variedades de consumo en fresco como en las destinadas al procesado industrial) la actividad antioxidante hidrofílica está fuertemente correlacionada con el contenido de compuestos fenólicos totales y del flavonoide rutina.
- **Tercera:** El proceso de homogeneización no produce cambios significativos en el contenido de compuestos bioactivos ni en la actividad antioxidante hidrofílica. Sin embargo, la homogeneización acompañada de una pasterización suave (98 °C, 40 segundos) produce un puré de tomate de textura fina con mejor calidad nutricional, al aumentar la extractabilidad de los folatos y mantener estable el contenido de carotenoides. Por el contrario, la

pasterización a temperatura superior a 98 °C no es recomendable debido a que produce la degradación de la vitamina C y de los folatos.

- **Cuarta:** Para mejorar el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en productos procesados no solo es importante la selección de un método de procesado apropiado, sino que también lo es la condición inicial de la materia prima de partida (puré de tomate fresco o puré “hot break). En este sentido, se recomienda la utilización de puré de tomate fresco ya que presenta mayor actividad antioxidante hidrofílica aportada principalmente por un mayor contenido de vitamina C.
- **Quinta:** La fibra procedente de piel de tomate presenta un alto porcentaje de fibra insoluble y una alta capacidad de retención de agua asociada al alto contenido de hemicelulosas. Además, puede ser considerada como una fuente de compuestos bioactivos antioxidantes, principalmente licopeno, rutina y ácido clorogénico, y presenta un bajo índice de difusión de glucosa. Por lo que su uso como ingrediente alimentario puede aumentar el contenido de fibra y la actividad antioxidante, y reducir la glucosa postprandial tras la ingesta de alimentos a los que se le añada como ingrediente, aportando un valor añadido al producto.

***R**esumen*



Resumen

El consumo de tomate y productos derivados se ha relacionado con efectos beneficiosos para el organismo atribuidos al elevado contenido en varios compuestos como carotenoides, compuestos fenólicos, vitamina E, potasio y selenio. El tomate en fresco se consume principalmente en ensaladas, y se utiliza como ingrediente de muchas preparaciones culinarias. Aproximadamente el 40% de la producción total se destina a la transformación industrial dando lugar a productos derivados en forma de zumos, gazpacho, salsas, purés, pastas, conservas de tomate, etc. Como consecuencia del gran volumen de tomate procesado en la industria, se genera gran cantidad de residuos sólidos (pieles y semillas) que pueden ser utilizados para extraer compuestos bioactivos que son considerados de interés para la industria alimentaria y farmacéutica.

La presente Tesis Doctoral se presenta como compendio de tres trabajos de investigación cuyos objetivos han sido estudiar los compuestos bioactivos antioxidantes presentes en distintas variedades de tomate destinados a consumo en fresco y tomates destinados a su procesado en la industria alimentaria, conocer las variaciones en los compuestos bioactivos tras determinados procesos industriales y evaluar la composición química y las propiedades de la fibra dietética del tomate como subproducto generado tras el procesado tecnológico.

En el primer trabajo se ha estudiado la influencia de la variedad y el estado de maduración del fruto de tomate sobre los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante hidrofílica. La variedad de tomate y el estado de madurez del fruto afectan de forma relevante al contenido de compuestos bioactivos antioxidantes (licopeno total y sus isómeros, β -caroteno, compuestos fenólicos totales e individuales, ácido ascórbico y folatos) y a la actividad antioxidante hidrofílica de las variedades de tomate destinadas al consumo en fresco. En las variedades destinadas a la industria (tomates maduros), las mayores diferencias se observaron en el

contenido de β -caroteno, compuestos fenólicos individuales y actividad antioxidante hidrofílica, observando una fuerte correlación entre la actividad antioxidante y la rutina. Esta información puede ser de utilidad para la industria hortofrutícola, nutricionistas y tecnólogos de alimentos, ya que podrían conocer las variedades y los estados en los cuales las propiedades nutricionales del tomate y sus efectos beneficiosos son mayores para la salud con el fin de obtener productos de tomate con un valor añadido.

En el segundo trabajo se ha evaluado la influencia del procesado industrial sobre el contenido de algunos compuestos bioactivos presentes en el tomate. Se analizaron dos tipos de puré de tomate utilizados habitualmente en la industria alimentaria, puré de tomate crudo (RTP) y puré de tomate “hot break” (HTP). Los procesos industriales a los que se sometieron las muestras fueron la homogeneización en una o dos etapas seguida de una pasterización. Finalmente, se aplicó un proceso de esterilización a diferentes temperaturas a las muestras HTP para evaluar el efecto de un segundo tratamiento térmico en el contenido de los compuestos bioactivos, teniendo en cuenta que este es el procedimiento más habitual para la elaboración de zumo de tomate en la industria, al utilizar como materia prima el puré HTP elaborado previamente con los tomates frescos de temporada. Para mejorar el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en productos procesados no solo es importante la selección de un método de procesado apropiado, sino que también lo es la condición inicial de la materia prima de partida (puré de tomate fresco o puré “hot break”). Ambos factores pueden afectar al valor nutricional del producto procesado final. Los procesos de pasterización y homogeneización producen efectos diferentes dependiendo del compuesto bioactivo analizado. Los carotenoides son relativamente estables al tratamiento térmico, mientras que el contenido de compuestos fenólicos totales y de vitamina C disminuyen significativamente. La homogeneización junto con la pasterización a 98 °C produce un puré de tomate de textura fina con mejor calidad nutricional, ya que aumenta la cantidad de folatos

extraídos. Por el contrario, la pasterización a temperatura superior a 98 °C no es recomendable debido a que produce la degradación de la vitamina C y de los folatos.

El tercer estudio se dedicó a la caracterización de la fibra dietética de tomate. Este subproducto procede de la piel de tomate la cual es deshidratada, triturada y homogeneizada. La fibra de tomate presenta un alto contenido en hemicelulosa insoluble y por sus propiedades funcionales podría ser utilizada potencialmente como espesante o agente texturizante en el desarrollo de alimentos con bajo contenido en grasas; como fuente de fibra dietética para aumentar el contenido en fibra de la dieta; y como fuente de antioxidantes (licopeno, rutina y ácido clorogénico). Sin embargo sus posibles utilizaciones están limitadas por el color y el sabor que aporta, que pueden modificar las características organolépticas del alimento al cual se añade.

Summary

The consumption of tomato and tomato-based products have been associated with beneficial effects for human health. These positive characteristics are attributed to the content of several compounds such as carotenoids, phenolic compounds, vitamin E, potassium and selenium. Fresh tomatoes are mainly consumed in salads and also as an ingredient of many recipes. Around 40% of world tomato production is allocated to foodstuff industry which produces several products such as juices, gazpacho (cold vegetable soup), sauces, purees, pastes, canned tomato, etc. A large amount of solid residues (peels and seeds) are produced as a consequence of the industrial processing. These residues could be used to extract bioactive compounds interesting to foodstuff and pharmaceutical industries.

This Doctoral Thesis is presented as a compendium of three scientific articles addressing the influence of tomato variety, on-vine ripening and industrial processing on hydrophilic antioxidant activity and naturally bioactive compounds occurring in tomatoes. In addition, tomato peel fiber, a by-product derived from the tomato industry, has been studied to ascertain its nutritional composition, antioxidant compounds, and functional properties.

In the first article we have studied the influence of cultivar and ripening stage of tomato fruit in the content of bioactive compounds and hydrophilic antioxidant activity. Total antioxidants (total lycopene and its isomers, β -carotene, total and individual phenolic compounds and ascorbic acid) and the hydrophilic antioxidant activity of fresh consumption tomato varieties depend significantly on the cultivar and ripening stage. Since industrial tomato varieties are commonly processed at the full ripe stage, the major differences are observed in β -carotene, individual phenolic compounds and antioxidant activity, with a strong positive correlation between hydrophilic antioxidant activity and rutin. This information could

be useful to fresh vegetable processors, nutritionists and food technologists since it illustrates the varieties and stages at which the nutritional properties of tomatoes and their beneficial effects for human health are greatest in order to obtain tomato products with an added value.

The second article was designed to investigate how the content of several bioactive compounds naturally occurring in tomatoes were affected by industrial processing. Two types of tomato puree commonly used in the food industry, namely raw tomato puree (RTP) and “hot break” tomato puree (HTP), were employed. Industrial processes included homogenization in either one or two steps followed by pasteurization. Finally, pasteurization at different temperatures was also applied to the HTP to assess the effect of a second thermal treatment on bioactive compounds, considering that this is the most usual procedure to make industrial tomato juice since it uses as raw material the HTP puree processed previously with fresh seasonal tomatoes. The results of this study showed that not only the selection of an appropriate processing method is important, but also is the initial condition of the sample (raw or “hot break” tomato puree). This could influence the nutritional value of the final product. Pasteurization after homogenization produced a different effect depending on the evaluated compound. Carotenoids were relatively resistant to thermal degradation, whereas total phenolic content and ascorbic acid significantly decreased. Homogenization together with pasteurization at 98°C produces a smooth tomato puree and improves the nutritional quality by increasing the folate extractability. However, pasteurization temperatures over 98°C are not recommended because it causes degradation of vitamin C and folates.

The third study was dedicated to the characterization of dietetic tomato fiber. This by-product derived from the tomato industry and consisted in tomato peels which are drum dried, milled, and homogenized. Tomato fiber is rich in insoluble hemicelluloses and due to its functional properties it could be potentially used as a volume replacer, thickening, or texturizing agent in the development of foods with low-fat content; as a

rich dietary fiber source; and as an antioxidant enhancer (lycopene, rutin and chlorogenic acid). However, colour and flavour must be considered in its applications to avoid a negative effect on sensory characteristics of food to which it is added.