



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 4 (1): 001-023. Enero-Junio, 2013
http://www.rvcta.org
ISSN: 2218-4384 (versión en línea)
© Asociación RVCTA, 2013. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Revisión

Frutos tropicales como fuente de carotenoides: biosíntesis, composición, biodisponibilidad y efectos del procesamiento

Tropical fruits as a source of carotenoids: biosynthesis, composition, bioavailability and processing effects

Tania **Chacón Ordóñez**^{1*}, Patricia **Esquivel Rodríguez**²

¹Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. 2060, San José, Costa Rica.

²Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. 2060, San José, Costa Rica.

*Autora para correspondencia: tatchacon@gmail.com

Aceptado 02-Marzo-2013

Resumen

Los carotenoides son compuestos sintetizados a partir del isopentenil difosfato y pueden ser encontrados en una gran diversidad de frutos. Estos pigmentos han sido de interés por sus beneficios en la salud y sus aplicaciones en la industria alimentaria. Existen muchos factores que pueden afectar su concentración y biodisponibilidad para el ser humano; entre ellas las condiciones de cultivo, el manejo poscosecha y el procesamiento que se les dé a los frutos antes de ser consumidos. Esta revisión se enfoca en los conocimientos actuales sobre aspectos relevantes de los carotenoides en diferentes frutos tropicales como la acerola (*Malpighia* sp.), camu-camu (*Myrciaria dubia*), mango (*Mangifera indica*), naranjilla (*Solanum quitoense*), papaya (*Carica papaya*), pitanga (*Eugenia uniflora*), pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K.), ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) y zapote mamey (*Pouteria sapota*), para presentar el estado del conocimiento y recomendar aspectos importantes para futuras investigaciones en este campo.

Palabras claves: biodisponibilidad, biosíntesis, carotenoides, frutos tropicales carotenogénicos, pigmentos, procesamiento.

Abstract

Carotenoids are synthesized from isopentenyl diphosphate and are present in a large variety of fruits. These pigments are of particular interest due to their benefits in health and applications in the food industry. There are several factors, such as, cultivation conditions, post-harvest management and food processing that may have an impact on carotenoid concentration in the fruits and their bioavailability. Carotenoid studies on different tropical fruits like acerola (*Malpighia* sp.), camu-camu (*Myrciaria dubia*), mango (*Mangifera indica*), naranjilla (*Solanum quitoense*), papaya (*Carica papaya*), cayenne cherry (*Eugenia uniflora*), peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.), Barbados gooseberry (*Pereskia aculeata*) and mamey sapote (*Pouteria sapota*) were reviewed in this work in order to present the state of art and recommend relevant aspects for future investigations in this field.

Key words: bioavailability, biosynthesis, carotenogenic tropical fruits, carotenoids, pigments, processing.

INTRODUCCIÓN

Los carotenoides son pigmentos liposolubles que se encuentran distribuidos ampliamente en la naturaleza y están conformados por moléculas orgánicas (Ötles y Çagind, 2007). Generalmente los carotenoides correspondientes a los alimentos son los C₄₀ terpenoides con 8 unidades de isopreno, con uniones de cola y cabeza en la parte exterior y cola-cola en la parte interna (Fig. 1). En el centro de estos compuestos se encuentran un gran número de enlaces dobles que constituyen el cromóforo, el cual les da la capacidad de absorber la luz y determinar la estructura molecular y actividad química (Ötles y Çagind, 2007; Namitha y Negi, 2010). Todos los carotenoides son derivados del licopeno, el primero que se biosintetiza; a partir de éste y por reacciones de ciclación se obtienen los demás pigmentos (Ötles y Çagind, 2007; Takaichi *et al.*, 2012).

Para el ser humano, estos pigmentos tienen aplicaciones importantes en la industria alimentaria y a nivel de salud. Estos son ampliamente utilizados como colorantes para alimentos, obteniéndose colores amarillo, anaranjado y rojo. A nivel de salud, por ejemplo, el α y β -caroteno se utilizan como

fuentes de vitamina A, además ayudan a prevenir enfermedades cardíacas e inclusive el cáncer (Deming *et al.*, 2002). Sin embargo, el ser humano no tiene la capacidad de sintetizar carotenoides, por tanto, la presencia de ellos en el organismo depende de la ingesta de alimentos con alto contenido de éstos (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004). Entre las actividades biológicas que se le atribuyen a los carotenoides se encuentran su acción antioxidante, diferenciación celular, comunicación intercelular, inhibición de mutagénesis e intervención en la respuesta inmune (Deming *et al.*, 2002; Fernández-García *et al.*, 2012). El licopeno, por ejemplo, ha sido vinculado con la reducción del riesgo de cáncer; recientes investigaciones señalan parte de esta actividad con los metabolitos del licopeno, los licopenoides (Ford *et al.*, 2011; Ford y Erdman, 2012). Diversos estudios sugieren que estos metabolitos son biológicamente activos y que están involucrados en la inhibición de la proliferación celular, regulando el ciclo normal de división, además de mejorar la comunicación celular e inducir apoptosis y factores de transcripción nuclear (Stahl *et al.*, 2000; Ben-Dor *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2003; Ford *et al.*, 2011). Ford y Erdman (2012) sugieren una especificidad tisular de las enzimas encargadas

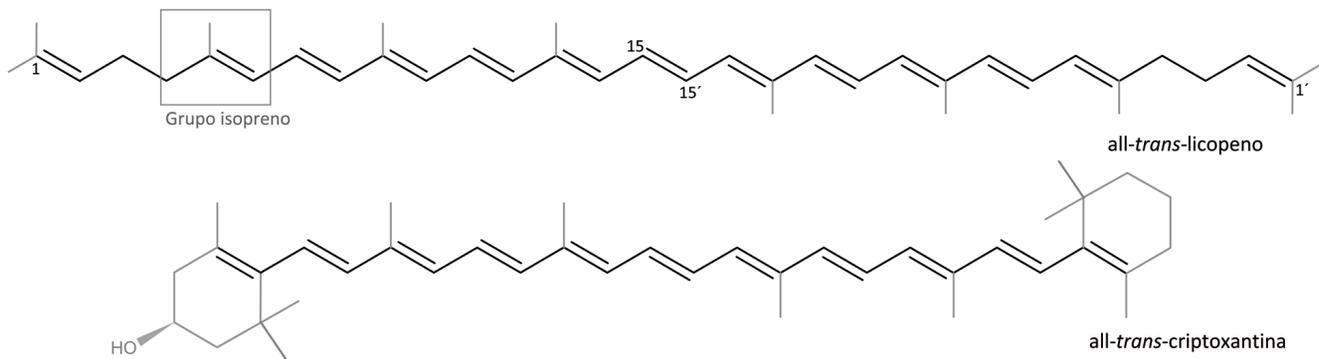


Figura 1.- Estructuras de all-*trans*-licopeno y all-*trans*-criptoxantina. La estructura enmarcada corresponde al grupo isopreno y la estructura marcada en negro al cromóforo en cada una de las moléculas.

de la ruptura del licopeno, y un incremento de las mismas parece estar asociado con la reducción del riesgo de cáncer. El estudio realizado consistió en determinar el efecto de la ingesta de licopeno en el tejido testicular de roedores, a partir de éste se observó una reducción en la expresión de genes del metabolismo de la testosterona con una dieta alta en licopeno. Dado que el incremento en la concentración de testosterona se asocia con un mayor riesgo de cáncer de próstata, los resultados obtenidos podrían indicar un efecto positivo en la reducción de este riesgo.

Los países tropicales tienen la ventaja de contar con una alta diversidad de frutos que se encuentran disponibles la mayor parte del año, algunos de éstos han demostrado ser una fuente importante de carotenoides, sin embargo, las personas de estos países en vías de desarrollo presentan las mayores deficiencias de vitamina A. Esta situación indica que no hay un alto consumo de estos frutos ricos en carotenoides. La caracterización en la composición de los frutos constituye el primer paso para la determinación del aporte que éstos pueden hacer en la dieta. Hasta el momento se han realizado diversos estudios en el tomate, la zanahoria y la naranja (Ben-Shaul y Shimon,

1965; Thomson, 1966; Harris y Spurr, 1969; Pupin *et al.*, 1999; Bramley, 2002; Bugianesi *et al.*, 2004; Fielding *et al.*, 2005; Hornero-Méndez y Mínguez-Mosquera, 2007; Meléndez-Martínez *et al.*, 2007; Lemmens *et al.*, 2009; Fratianni *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2010; Meléndez-Martínez *et al.*, 2011; Knockaert *et al.*, 2012; Schweiggert *et al.*, 2012), no obstante todavía existen un sin número de frutos disponibles que no han sido estudiados. Recientes investigaciones han encontrado concentraciones importantes en el mango (Vásquez-Caicedo *et al.*, 2006), pitanga (Bagetti *et al.*, 2011), papaya o lechosa (Schweiggert *et al.*, 2011a) y zapote mamey (Yahia *et al.*, 2011), entre otros (Murillo *et al.*, 2010). La identificación de estos compuestos, así como su concentración, localización y biodisponibilidad resultan importantes para conocer su potencial y aplicabilidad en el sector industrial o de salud.

La siguiente revisión se enfoca en los conocimientos actuales de aspectos relevantes en cuanto a los carotenoides, haciendo énfasis en frutos tropicales, para evaluar el estado del conocimiento de los mismos y determinar cuáles aspectos son importantes para futuras investigaciones.

CONTENIDO

- 1.- Tipos de carotenoides
- 2.- Biosíntesis
- 3.- Distribución y estado físico de los carotenoides en las plantas
- 4.- Carotenoides en frutos tropicales
- 5.- Biodisponibilidad
- 6.- Efecto del estado de madurez y del procesamiento
 - 6.1.- Condiciones de siembra y cosecha
 - 6.2.- Maduración y manejo poscosecha
 - 6.3.- Procesamiento

REVISIÓN DE LA LITERATURA

1.- Tipos de carotenoides

De acuerdo a la estructura de los carotenoides se pueden dividir en carotenos y xantofilas. Los carotenos son aquellos que contienen hidrocarburos, entre estos se encuentran el α , β -caroteno y el licopeno. Cambios en las ciclaciones pueden originar diferentes colores como por ejemplo el α y β -caroteno que son rojo-anaranjado y anaranjado, respectivamente (Matthews y Wurtzel, 2007; Ötles y Çagind, 2007). Por otra parte, las xantofilas son moléculas que contienen uno o más oxígenos; los grupos sustitutos principales son hidroxilo, metoxilo, carbonilo, ceto o epóxidos (Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003). Ejemplos de éstos los constituyen la criptoxantina, violaxantina y cantaxantina (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004).

Debido a la larga cadena de enlaces dobles que tienen los carotenoides en general, se presentan una serie de isómeros para cada uno de estos pigmentos; la longitud de las moléculas va a estar determinada por la configuración de estos dobles enlaces. De ahí que se van a tener en ocasiones también sus formas *cis* o *trans* (Yeum y Russell, 2002). Sliwka y Partali (2012a) catalogaron diferentes carotenoides de acuerdo a sus características, por ejemplo, describieron el 7-apo- β -caroteno

como el carotenoide más corto, originado a partir del β - β' -caroteno; mientras que el más largo correspondió al dodecapreno- β -caroteno con 60 carbonos y 19 enlaces dobles, descrito por Karrer y Eugster (1951). Sliwka y Partali (2012a) también catalogaron la astaxantina como el mejor antioxidante, la crocina y la astaxantin-lisina como los más solubles en agua; mientras que los ésteres de carotenoides y los asociados con fosfolípidos fueron descritos como los más lipofílicos. Otra de las clasificaciones que a menudo reciben los carotenoides se refiere a su actividad biológica como provitamina A que corresponden a aquellos que poseen grupos terminales con β -ionona, entre los que se encuentran el β -caroteno, α -caroteno y la β -criptoxantina (Namitha y Negi, 2010).

Otro grupo de carotenoides que generalmente no son contemplados son los xenobióticos, estos son aquellos asociados a heteroátomos como fósforo, cloro, bromo, selenio, nitrógeno, yodo, entre otros (Sliwka y Partali, 2012b). Como su nombre lo indica, estos son compuestos extraños, además de que no han sido encontrados en la naturaleza. Sin embargo, se debe reconocer su existencia; una reciente revisión de Sliwka y Partali (2012b) muestra una lista extensa de estos compuestos.

2.- Biosíntesis

La biosíntesis de los carotenoides se realiza en los plástidos, cloroplastos o cromoplastos, todos los carotenoides son derivados del isopentenil difosfato (IPP) y de su isómero dimetilalil difosfato (DMAPP) (Matthews y Wurtzel, 2007; Ötles y Çagind, 2007) (Fig. 2). Primeramente, se tiene la condensación del piruvato y el gliceraldehído-3-fosfato (Ga3P) para la obtención de 2-C-metil-D-eritritol-4-fosfato (MEP) por medio de 2 enzimas (Bramley, 2002). A partir de la reducción de la molécula de MEP se obtiene el hidroximetil butenil difosfato (HMBPP). Este

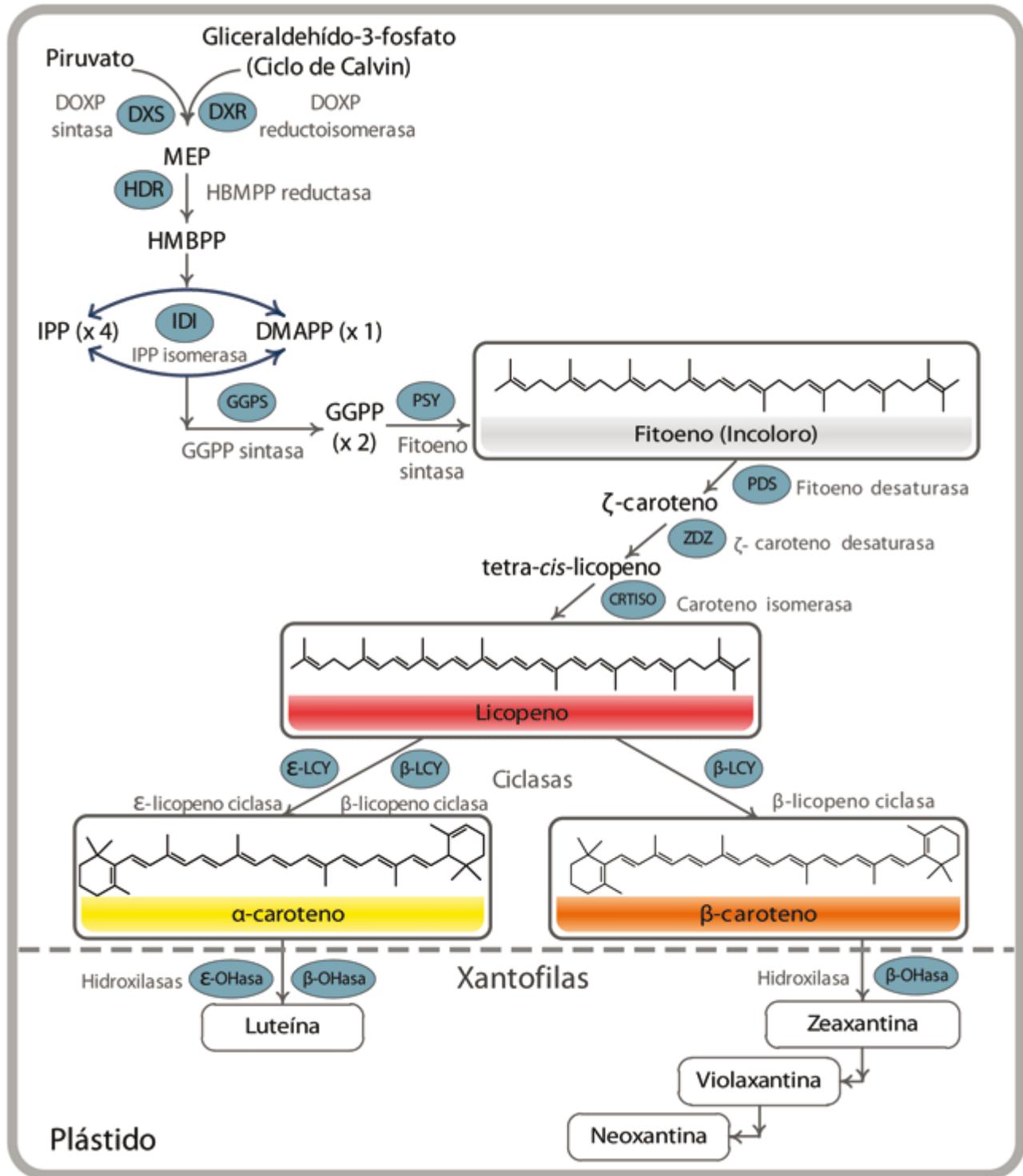


Figura 2.- Biosíntesis de carotenoides. Las elipses azules simbolizan las enzimas involucradas en el proceso. DOXP: 1-deoxi-D-xilulosa-5-fosfato, MEP: 2-C-metil-D-eritritol-4-fosfato, HMBPP: hidroximetil butenil difosfato, IPP: isopentenil difosfato, DMAPP: dimetilalil difosfato, GGPP: geranil geranil pirofosfato.

origina los isómeros IPP y DMAPP que están continuamente interconvirtiéndose (Cuttriss *et al.*, 2006). Cuatro moléculas de IPP y una de DMAPP producen el geranil geranil pirofosfato (GGPP). Dos moléculas de GGPP se convierten a fitoeno, el primer carotenoide incoloro (Cazzonelli y Pogson, 2010). Este es un paso limitante regulado por estímulos externos como la temperatura, sequías, fotoperiodo y alta exposición a la luz (Cuttriss *et al.*, 2006; Cazzonelli y Pogson, 2010). La molécula de fitoeno pasa por una serie de reacciones de desaturación por 2 enzimas que crean enlaces dobles extendiendo el cromóforo (Ötles y Çagind, 2007; Tuan *et al.*, 2012). Por último, se obtiene el licopeno por la acción de la caroteno isomerasa (CRTISO) (Cazzonelli y Pogson, 2010).

Una vez que se obtiene el licopeno (primer carotenoide con color) se pueden tomar dos vías para la posterior ciclación de los compuestos (Cazzonelli *et al.*, 2010). Con la acción de la ϵ -licopeno ciclasa (ϵ -LCY) se cicla uno de los extremos del licopeno y con una segunda reacción por parte de la β -licopeno ciclasa (β -LCY) se cicla el otro extremo, obteniéndose el α -caroteno (Cuttriss *et al.*, 2006). Por la otra vía, se ciclan los dos extremos con la ayuda de la β -LCY, para la obtención del β -caroteno. A partir de estos dos compuestos se dan reacciones de hidroxilación para la obtención de xantofilas como la luteína y la zeaxantina (Cazzonelli *et al.*, 2010). Los demás pigmentos, como la violaxantina y neoxantina, se derivan de estas mismas vías por la acción de numerosas enzimas.

3.- Distribución y estado físico de los carotenoides en las plantas

En las plantas, los carotenoides constituyen pigmentos accesorios para la fotosíntesis y por lo tanto se acumulan en organelas subcelulares especializadas pertenecientes a los tejidos fotosintéticos (Ötles

y Çagind, 2007; Gruszecki, 2009). Se pueden hallar dentro de las plantas superiores en forma de cristales o sólidos amorfos, aunque también se han visto dispersos en una solución lipídica o en una dispersión coloidal (Takyi, 2001). La ubicación puede ser dentro de plástidos, como cloroplastos o cromoplastos e inclusive se pueden encontrar afuera de éstos en gotas de lípidos. La distribución y acomodo de los carotenoides también va a depender si se trata del fruto o de las hojas. En frutas, flores y hojas senescentes los carotenoides como el α -caroteno, α - β -criptoxantina, luteína y zeaxantina se encuentran en altas concentraciones y se pueden hallar en los cromoplastos o en fase lipídica (Takyi, 2001; Delgado-Vargas y Paredes-López, 2003). La distribución de carotenoides en los frutos es compleja y heterogénea, presentando variaciones que dependen del cultivar o variedad, madurez, clima, lugar de cosecha y de las condiciones en las cuales se dio el procesamiento de los mismos (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004).

En general, los carotenoides son de naturaleza hidrofóbica, por lo cual en los plástidos suelen encontrarse unidos a las membranas lipídicas (Gruszecki, 2009). No obstante, aquellos que son polares con sustitutos a ambos o a un solo lado, se acomodan de manera tal que la parte del cromóforo queda situada en el núcleo hidrofóbico de la membrana (Fig. 3) (Deming *et al.*, 2002). La orientación va a depender en gran medida de los sustituyentes presentes y su capacidad de formación de puentes de hidrógeno con otras zonas polares de la membrana (Gruszecki, 2009). En el caso de la luteína, se ha demostrado que puede intercalarse relativamente fácil en la bicapa lipídica, esto gracias a los grupos hidroxilo que presenta en ambos extremos. Esta xantófila puede orientarse tanto horizontalmente, como verticalmente, según lo descrito por Pasenkiewicz-Gierula *et al.* (2012) utilizando

Bicapa lipídica

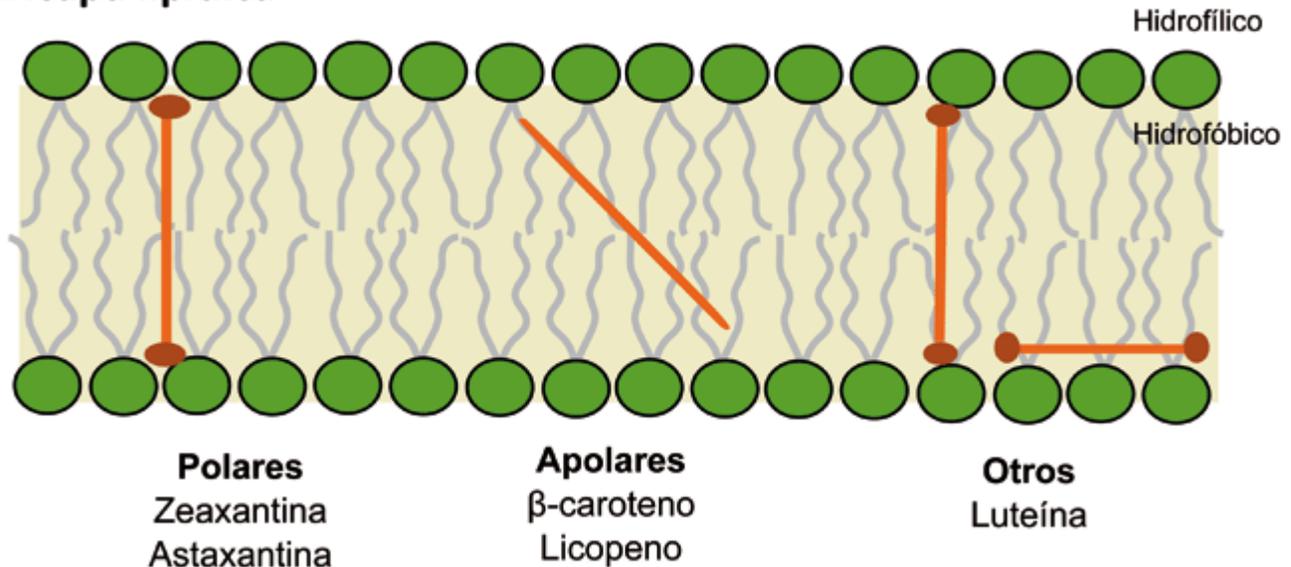


Figura 3.- Orientación de los carotenoides en la membrana lipídica. Las elipses representan los enlaces establecidos con lípidos de la membrana.

una simulación de la dinámica molecular en una bicapa de fosfatilcolina. Esto concuerda con lo encontrado por otros autores como Sujak *et al.* (1999). Un caso interesante es la cantaxantina, se ha demostrado que ésta puede tener efectos perjudiciales en la salud, dado a la formación de cristales en las membranas de la retina; esto podría ser explicado por su orientación y fuerte interacción con la membrana lipídica. La cantaxantina, por su estructura molecular, tiende a formar agregados y su ángulo de orientación depende en gran medida de la concentración, al igual que la luteína se ha encontrado posicionada horizontal y verticalmente (Sujak, 2012). Sin embargo, como fue descrito en diversos trabajos (Sujak *et al.*, 2005; Sujak *et al.*, 2007; Sujak, 2012) este carotenoide tiene una interacción tan fuerte con la membrana lipídica que llega a alterar sus propiedades y puede influir en su desestabilización. Entre los cambios observados están los de la estructura física de los lisosomas, promoviendo la agregación de vesículas (Sujak *et al.*, 2005), además, altas concentraciones mostraron una

reducción de la movilidad molecular tanto en las cabezas polares, como en la región hidrofóbica de la bicapa (Sujak, 2012).

Al darse la maduración de los frutos ocurre la degradación del aparato fotosintético y se da la ruptura de las membranas de los tilacoides para la transformación de los cloroplastos a cromoplastos; donde se da la posterior generación de carotenoides que otorga los colores rojos, amarillos o anaranjados a diversos frutos (Hudák *et al.*, 2005; Britton, 2008). Los cromoplastos también pueden ser originados a partir de proplástidos y pueden ser globulares en banano y naranja; membranosos en tomate; y tubulares o cristalinos en papaya (Hudák *et al.*, 2005; Schweiggert *et al.*, 2011b). Estos carotenoides se encuentran comúnmente en plastoglobulos, los cuales consisten en depósitos de lípidos globulares con una monocapa de lípidos polares y un tamaño aproximado de 30 nm a varios micrómetros; la cantidad de glóbulos se incrementa considerablemente durante el periodo de maduración (Bréhélin y Kessler, 2008). En

ocasiones la concentración de carotenoides dentro de los plastoglóbulos es tan grande que provoca la cristalización de los mismos. Por ejemplo, en el caso del β -caroteno en las zanahorias y el licopeno en tomates maduros (Ben-Shaul y Shimon, 1965; Harris y Spurr, 1969).

4.- Carotenoides en frutos tropicales

Existe una serie de frutos de la zona intertropical en los cuales se ha incrementado la investigación en aspectos relacionados con los carotenoides, entre ellos destacan:

Acerola o semeruco (*Malpighia* sp.). Es un fruto carnoso pequeño cultivado principalmente en Brasil, suele ser consumido fresco, o en jugo (Porcu y Rodríguez-Amaya, 2006). Este fruto se conoce por su alto contenido de vitamina C (Lima, 2005), pero también presenta un perfil interesante de carotenoides, entre los que se encuentran, α y β -caroteno, así como β -criptoxantina y luteína (De Rosso y Mercadante, 2005; Mezadri *et al.*, 2006; Porcu y Rodríguez-Amaya, 2006). Se han encontrado diferencias en el contenido de carotenoides tanto en genotipos diferentes como en estaciones de cosecha distintas. De Rosso y Mercadante (2005) encontraron que el contenido total de carotenoides fue mayor en el genotipo Olivier en comparación con el Waldy Cati 30, además de un mayor contenido de carotenoides totales en frutos producidos en el año 2004, donde se presentó una mayor incidencia de luz solar, que en los producidos durante el 2003. La concentración de β -caroteno de la acerola rondó los 16,69 $\mu\text{g/g}$ de pulpa en el genotipo Olivier.

Camu-camu (*Myrciaria dubia*). El camu-camu es nativo de los bosques amazónicos, éste es un fruto tipo baya que presenta colores rojizos a morados por la presencia tanto de antocianinas (Zanatta *et al.*, 2005) como de carotenoides (Zanatta y Mercadante, 2007). Entre los principales carotenoides presentes se han

descrito la luteína, el β -caroteno, la violaxantina y la luteoxantina (Azevedo-Meleiro y Rodríguez-Amaya, 2004; Zanatta y Mercadante, 2007). Zanatta y Mercadante (2007) evaluaron las diferencias en el contenido de carotenoides de frutos cosechados en dos regiones diferentes de Brasil. En el sitio con la mayor incidencia de luz solar y mayores temperaturas, Mirandópolis, se alcanzaron concentraciones para la luteína de 6,02 $\mu\text{g/g}$ y para el β -caroteno de 1,42 $\mu\text{g/g}$ de pulpa, mientras que en la región de Iguape, las concentraciones fueron de 1,61 $\mu\text{g/g}$ y 0,73 $\mu\text{g/g}$, respectivamente.

Mango (*Mangifera indica*). Es un fruto altamente comercializado a nivel mundial cuyo color amarillo-anaranjado en algunos cultivares evidencia su alto contenido en carotenoides, siendo el β -caroteno el más abundante con 15 $\mu\text{g/g}$ de pulpa (Wilberg y Rodríguez-Amaya, 1995). Se ha encontrado la presencia de otros carotenoides como la violaxantina, neocromo y luteoxantina en el mesocarpio del cultivar 'Kent' (Pott *et al.*, 2003) e inclusive concentraciones bajas de luteína (0,6 $\mu\text{g/g}$) y zeaxantina (0,5 $\mu\text{g/g}$) en la pulpa (Murillo *et al.*, 2010). Vásquez-Caicedo *et al.* (2006), observaron que los carotenoides presentes en el mesocarpio del cv. 'Tommy Atkins', se encontraban depositados en forma de plastoglóbulos dentro de cromoplastos globulares y retículo-tubulares, y además, algunos se encontraban parcialmente solubilizados en gotas lipídicas.

Naranja o lulo (*Solanum quitoense*). Este fruto es nativo de los Andes y consiste en una baya generalmente esférica de color anaranjado (Gancel *et al.*, 2008; Acosta *et al.*, 2009). Su estructura interna es similar a la del tomate con una pulpa jugosa o mucilaginoso con tonos verduzcos y se suele consumir fresca o en jugo (Sanjinés-Asturizaga *et al.*, 2006). Un estudio ha revelado un alto contenido de β -caroteno, luteína y violaxantina, con una concentración de carotenoides totales en la pulpa de 7,2 $\mu\text{g/g}$ (Acosta *et al.*, 2009).

Papaya o lechosa (*Carica papaya*). Corresponden a frutos alargados de color verde a anaranjado. Se han encontrado niveles altos de carotenoides presentes, siendo el licopeno el que se encuentra en mayor concentración. Se han determinado concentraciones por cada gramo de fruta de 0,13 μg de α -caroteno, 10,38 μg de licopeno, β -caroteno isómero *trans* con 33,04 μg e isómero *cis* con 0,28 μg , luteína y zeaxantina con 0,40 μg (Furtado *et al.*, 2004). Durante la maduración se da una gran acumulación de carotenoides en los cromoplastos y se han observado diferencias dependiendo del tipo de papaya de acuerdo a estudio realizado por Schweiggert *et al.* (2011a). En esta investigación se determinaron concentraciones en la papaya de pulpa roja de 59,24 $\mu\text{g/g}$ peso fresco de carotenoides totales, mientras que en la papaya amarilla el nivel de carotenoides fue menor a 33,64 $\mu\text{g/g}$ peso fresco. El perfil de carotenoides fue similar con excepción del licopeno, la papaya de pulpa roja contenía 30,46 $\mu\text{g/g}$ peso fresco, mientras que en la papaya de pulpa amarilla sólo se encontraron trazas. En otro estudio realizado por Schweiggert *et al.* (2011b), se analizó la estructura de los cromoplastos de ambos tipos de papaya y encontraron plástidos del tipo tubular en la papaya amarilla y estructuras tipo cristaloides en la roja.

Pitanga (*Eugenia uniflora*). Es un fruto tipo baya originario de Brasil de tamaño pequeño, con coloraciones rojas, amarillas e inclusive moradas en su cáscara (Celli *et al.*, 2011). Los principales carotenoides encontrados en esta fruta han sido β -criptoxantina, licopeno, luteína, zeaxantina, rubixantina, α y β -caroteno, con variaciones en las concentraciones dependiendo del sitio donde fueron cosechadas (Bagetti *et al.*, 2011) y las condiciones de temperatura y presión para la extracción (Filho *et al.*, 2008). El contenido total de carotenoides se ha estimado en 230 $\mu\text{g/g}$ de fruta (Piña-Dumoulin *et al.*, 2010). Se han indicado valores de licopeno que ascienden a los 71,1 $\mu\text{g/g}$ y

cantidades importantes de rubixantina, pigmento que no es comúnmente hallado en las frutas al que se le atribuye un alto poder antioxidante (Rodríguez-Amaya *et al.*, 2007; Filho *et al.*, 2008; Porcu y Rodríguez-Amaya, 2008). Los niveles de licopeno en esta fruta pueden ser incluso mayores que los de la papaya y algunas variedades de tomate (Rodríguez-Amaya *et al.*, 2007).

Pejibaye o pijiguao (*Bactris gasipaes* H.B.K.). Es una drupa de colores entre anaranjado, amarillo y rojo en su exterior y un interior que varía de color crema a anaranjado; en el mesocarpio, el contenido de lípidos en promedio es 15,8 % de peso seco (Mora-Urpí *et al.*, 1997). Es rico en α , γ y β -caroteno y ha sido utilizado para la obtención de productos como la harina de pejibaye (Rojas-Garbanzo *et al.*, 2011). Serrano *et al.* (2011) realizaron una comparación del contenido total de carotenoides en diferentes etapas de maduración y encontraron que a los 97 días se tenía un total de 129,82 $\mu\text{g/g}$ de pulpa cruda y a los 120 días ésta aumentó a 143,68 $\mu\text{g/g}$. La alta concentración de lípidos en el fruto podría favorecer la biodisponibilidad de los carotenoides que contiene.

Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*). Es una cactácea cultivada en Brasil, el fruto es una baya cuyo color varía de amarillo a anaranjado (da Rosa y de Souza, 2003) El principal carotenoide es el *trans*- β -caroteno (34,3 $\mu\text{g/g}$ de pulpa), seguido por el α -caroteno (22,7 $\mu\text{g/g}$ de pulpa) y la luteína (6,5 $\mu\text{g/g}$ de pulpa) (Agostini-Costa *et al.*, 2012). Un aspecto interesante de esta planta, es que sus hojas también son muy consumidas, un análisis de su composición determinó una concentración de β -caroteno de 42 $\mu\text{g/g}$ de hojas crudas (Takeiti *et al.*, 2009).

Zapote mamey (*Pouteria sapota*). Es un fruto con pulpa de color rojo-anaranjado en el cual recientemente se ha descrito la presencia de cetocarotenoides, incluyendo un nuevo carotenoide nombrado sapotexantina (Alia-

Tejacal *et al.*, 2007; Murillo *et al.*, 2010; 2011; 2012). Otros estudios describen de una manera preliminar otros carotenoides presentes en el fruto, sin embargo no se cuenta con una completa caracterización (Alia-Tejacal *et al.*, 2005; Yahia *et al.*, 2011; Murillo *et al.*, 2012).

5.- Biodisponibilidad

Los carotenoides pueden proporcionar una serie de beneficios al ser humano al consumirlos, sin embargo es necesario que estos estén biodisponibles para que puedan ser transferidos desde los alimentos a los diferentes tejidos del cuerpo humano (Huo *et al.*, 2007). La biodisponibilidad puede ser definida como la cantidad de carotenoides ingerida que es absorbida y convertida en vitamina A (Takyi, 2001).

El proceso en general de la absorción de carotenoides es un proceso complejo que inicia desde la matriz de los alimentos (Fig. 4). Los carotenoides se van a encontrar en plastoglóbulos, dispersos en fases lipídicas o ligados en las membranas celulares de los plástidos. Por medio de la masticación, procesos de cocción u otros, se da la liberación parcial de estos compuestos (Kotake-Nara y Nagao, 2012). En el estómago los carotenoides se van a encontrar en glóbulos lipídicos necesarios para su incorporación; posteriormente se activan señales para la liberación de sales biliares y lipasas. Éstas se encargan de romper los glóbulos, dando paso a la solubilización de los compuestos y posterior formación de estructuras micelares (Olson, 1994). Las micelas formadas consisten en agregados moleculares que transportan material hidrofóbico. Éstas actúan como emulsificadores rodeando los carotenoides para su transporte en el intestino delgado e incorporación en la mucosa intestinal y están constituidas por sales biliares, colesterol, ácidos grasos, monoacilglicéridos y fosfolípidos. La incorporación de los carotenoides en las células

intestinales se da por difusión simple o facilitada (Kotake-Nara y Nagao, 2012). Luego de ser interiorizados en la mucosa, el aparato de Golgi de los enterocitos los empaca en quilomicrones para ser transportados al sistema linfático y torrente sanguíneo (Parker, 1996; Alminger, 2012). A partir de su incorporación en el torrente se distribuyen al hígado, donde se da la producción y acumulación de la vitamina A (Deming *et al.*, 2002; Canene-Adams y Erdman, 2009).

La absorción y la conversión de estos carotenoides en el cuerpo es afectada por diversos factores como su estructura molecular, propiedades físico-químicas, la matriz en la que se encuentren y su contenido lipídico (Deming *et al.*, 2002). La biodisponibilidad puede incrementar si la ingesta de estos frutos se realiza con alguna fuente de lípidos adicional (Huo *et al.*, 2007). Esto puesto que los carotenoides al no ser solubles en el tracto gastrointestinal deben ser disueltos o acarreados por los lípidos para ser transportados y absorbidos (Canene-Adams y Erdman, 2009). Por otro lado, la presencia de acidulantes ha mostrado tener una relación positiva con la retención de los carotenoides. En un estudio realizado por Gayathri *et al.* (2004) se encontró que la adición de ácido cítrico lograba un aumento en la retención de β -caroteno durante el proceso de cocción de vegetales como la zanahoria y la calabaza. El aumento en la retención de carotenoides también ha sido observado en frutos como el mango (Veda *et al.*, 2007). En este último estudio se evaluó la bioaccesibilidad del β -caroteno en diferentes variedades de mango; se encontró una relación entre ésta y el contenido de ácidos orgánicos del fruto. A partir de estos resultados, se sugirió que una alta concentración de ácidos orgánicos presentes en este fruto, podría estar asociada a una mayor bioaccesibilidad de los carotenoides. También, fue observado que la biodisponibilidad aumenta al consumir el mango y papaya con leche, rica

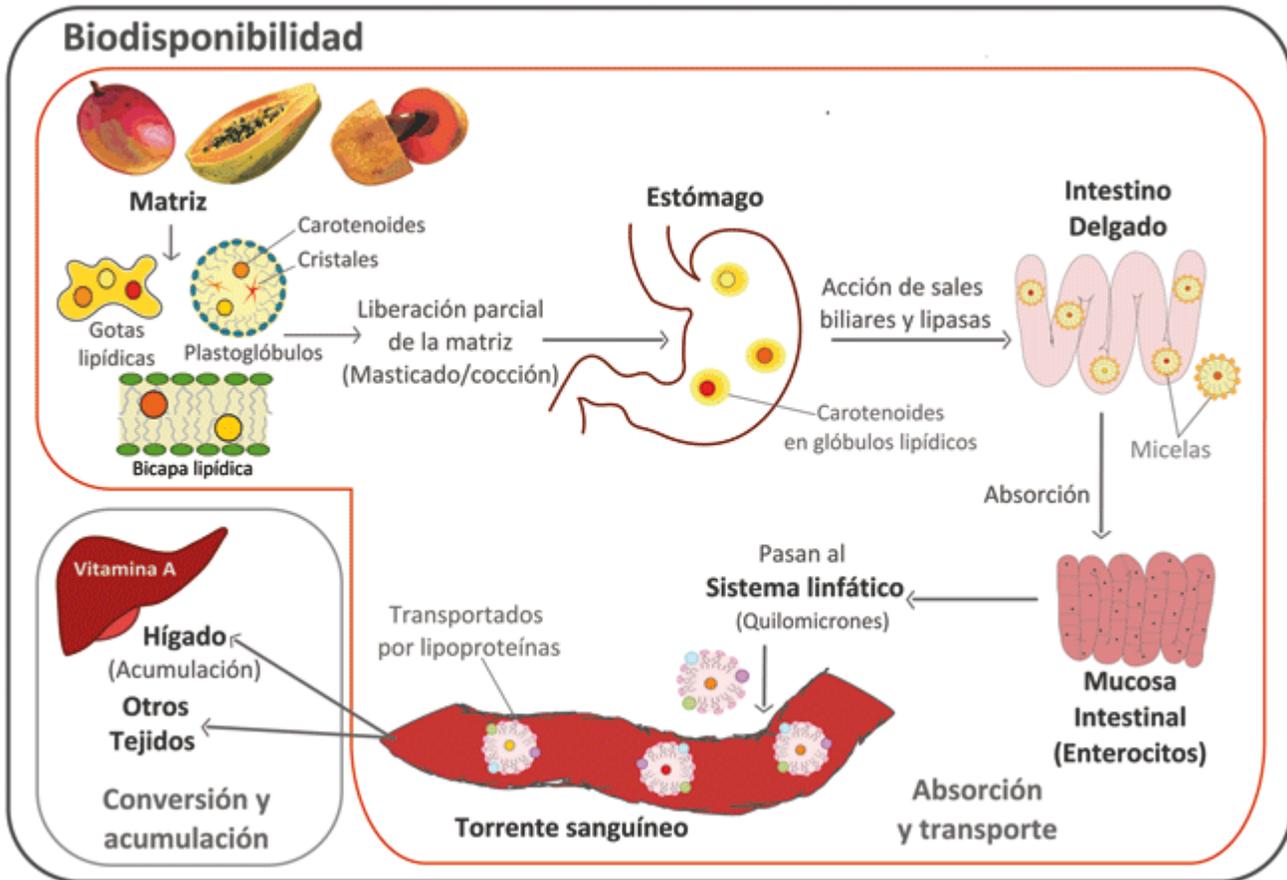


Figura 4.- Diagrama del proceso de absorción de los carotenoides desde la matriz del alimento hasta su conversión en vitamina A y distribución en los tejidos del cuerpo humano.

en grasa láctea. La adición de una fuente externa de lípidos, promueve la formación de micelas de mayor tamaño aumentando así la absorción de los carotenoides (Ornelas-Paz *et al.*, 2008), además de estar asociado con un aumento en la permeabilidad de la membrana (Kotake-Nara y Nagao, 2012). Cuando se someten los frutos a calor, aunado con un alto porcentaje de lípidos presentes en la matriz, ocasiona que se incremente la biodisponibilidad de los carotenoides (Boon *et al.*, 2010), como ha sido demostrado con el licopeno (Fielding *et al.*, 2005). Por lo tanto, si los frutos contienen una alta concentración de carotenoides y además un alto contenido en lípidos de manera natural, su absorción será mayor (Huo *et al.*, 2007).

La forma en que se encuentren presentes los carotenoides también pueden afectar su biodisponibilidad. Por ejemplo, en el mango el β -caroteno se encuentra en configuración *cis* en gotas lipídicas, lo que permite que su absorción sea superior (Vásquez-Cañedo *et al.*, 2006). Con respecto al tipo de carotenoide, se ha observado que el β -caroteno está relativamente menos biodisponible que otros pigmentos como la luteína y zeaxantina que son compuestos oxigenados. Esto se debe a que éstos últimos pueden ser incorporados en las micelas lipídicas con mayor facilidad que los compuestos menos polares como el β -caroteno (Yeum y Russell, 2002).

Uno de los puntos que también ha sido discutido es el consumo de carotenoides

mediante suplementos alimenticios. Al utilizar estos suplementos se debe utilizar como base las concentraciones obtenidas naturalmente a partir de frutos y vegetales en una dieta balanceada. Se debe considerar el mecanismo de liberación de estos carotenoides y el grado de absorción (Mortesen, 2009; Gellenbeck *et al.*, 2012). Se ha evaluado el uso de mezclas de carotenoides en suplementos, y se ha observado que se puede dar una competencia entre ellos durante la formación de micelas y absorción en las células intestinales, disminuyendo su absorción (Kostic *et al.*, 1995; van den Berg y van Vliet, 1998). Gellenbeck *et al.* (2012) desarrollaron un suplemento con liberación controlada de carotenoides. La mezcla incluía β -caroteno, α -caroteno, licopeno, luteína, zeaxantina y astaxantina. Estos autores establecieron el orden y tiempo apropiado para la liberación de cada uno de los pigmentos con el fin de eliminar la competencia en la absorción de los mismos. Al final del estudio se logró establecer una formulación que permitía la adecuada liberación de los componentes en un modelo *in vitro* del proceso de digestión. Sin embargo, a pesar de que los sistemas *in vitro* pueden llegar a simular las condiciones *in vivo*, existen una serie de factores que pueden alterar la biodisponibilidad de los compuestos en este suplemento.

6.- Efecto del estado de madurez y del procesamiento

Las cadenas de polieno presentes en todos los carotenoides son las que ocasionan la inestabilidad de estos compuestos. Éstos son propensos a sufrir alteraciones por oxidación o isomerización pasando de conformación *trans*, en la que se encuentran en la naturaleza, a *cis* (Takyi, 2001), ocasionando cambios en su uso como colorante, su actividad biológica e inclusive su absorción. Esto puede ocurrir dependiendo del estado de madurez del fruto y su manejo poscosecha; como se expone a continuación.

6.1.- Condiciones de siembra y cosecha

En general, cuando los frutos se producen en lugares con temperaturas altas, éstos presentan una mayor carotenogénesis que aquellos cultivados en zonas más frías (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004). Rodríguez-Amaya *et al.* (2008), lograron determinar que el aumento de la concentración de carotenoides por madurez en diversos frutos como el mango y la papaya de la misma variedad, va a ser influenciado por la temperatura de la zona en que se cultiven, siendo favorecidos los cultivados a altas temperaturas. Sin embargo, otros estudios han encontrado degradación por fotooxidación debido a la radiación solar (Liu *et al.*, 2009). Por ejemplo, se ha comprobado que en vegetales de hojas verdes el efecto de la radiación es reducido al cultivar en invernaderos y no en campo abierto (Rodríguez-Amaya *et al.*, 2008).

Las prácticas de cada finca también pueden afectar la concentración de carotenoides. Se han presentado grandes diferencias entre aquellas con cultivos orgánicos y las que utilizan plaguicidas, teniendo concentraciones más altas las libres de agroquímicos (Mercadante y Rodríguez-Amaya, 1991). En el chile dulce (*Capsicum annuum*, cv. Almuden) se han obtenido concentraciones del doble o el triple en β -caroteno. Se determinaron concentraciones en siembra convencional de 85 mg/kg de peso del fruto mientras que el cultivado orgánicamente alcanzó los 295 mg/kg (Pérez-López *et al.*, 2007). En cuanto a la región geográfica, se da una diferencia importante en el tipo de pigmentos presentes. En los frutos de los países tropicales y los subtropicales, se da una mayor concentración y prevalencia de carotenoides; mientras que en países con climas templados se presentan otro tipo de pigmentos como las antocianinas (Takyi, 2001).

6.2.- Maduración y manejo poscosecha

En general, la maduración incrementa el contenido de carotenoides, la carotenogénesis continúa en frutos como la papaya, el tomate, el mango, la naranja, el chile, entre otros. Además se han observado cambios cuantitativos y cualitativos en la composición de estos pigmentos (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004; Mercadante, 2007; Britton y Khachik, 2009). Este proceso implica la degradación de los fotosistemas y reacomodo de los carotenoides en los cromoplastos y un incremento considerable de carotenoides dentro de plastoglobulos. Se deben considerar algunos aspectos importantes correspondientes a los procesos que se dan en los frutos después de su cosecha. Durante este periodo y en el procesamiento, es donde se puede dar una mayor degradación de los carotenoides, sea por oxidación enzimática o no enzimática (Namitha y Negi, 2010).

Se han realizado diversas investigaciones que abarcan el tema de maduración y composición de los carotenoides (Boudries *et al.*, 2007; Andersson *et al.*, 2011; Schweiggert *et al.*, 2011a). En pitanga se determinó el aumento en la concentración de β -criptoxantina, rubixantina y licopeno después de la maduración del fruto (Porcu y Rodríguez-Amaya, 2008). Boudries *et al.* (2007) analizaron 3 variedades de dátiles *Phoenix dactylifera* (frutos obtenidos a partir de palmas al igual que los pejibayes) y evaluaron el contenido de carotenoides en diferentes estadios de maduración tardía donde se considera el fruto comestible. Los principales carotenoides encontrados correspondieron a luteína y β -caroteno, y en general, los niveles de éstos disminuyeron a medida que el fruto estaba más maduro, independientemente de la variedad evaluada. Además demostraron, que aunque la maduración aumenta la concentración de carotenoides, a medida que los frutos se

maduran y sobrepasan la etapa de carotenogénesis, comienzan a degradarse igual que los demás compuestos.

La cantidad de carotenoides varía dependiendo del estado de madurez en que se encuentre el fruto, en frutos cuyo color depende de los carotenoides, estos aumentarán durante la maduración. Sin embargo, algunos frutos donde el color después de la maduración no es dado por los carotenoides como en las fresas, el contenido de estos pigmentos disminuye conforme van madurando (Mercadante, 2007).

Durante el almacenamiento se pueden dar una serie de cambios bioquímicos que van depender de condiciones como temperatura, presencia de luz y disponibilidad de oxígeno; y van a tener un gran impacto en la concentración de carotenoides en el producto final (Takyi, 2001). En el zapote mamey, por ejemplo, se sometió el fruto a temperaturas de almacenamiento de 5 y 10 °C, después se maduró a temperatura ambiental y se encontró que en estos frutos se daba una menor acumulación de carotenoides (Alia-Tejacal *et al.*, 2002). También se ha observado que someter a temperaturas muy altas o presencia de luz también disminuye la concentración de carotenoides (During, 2007). Una medida que puede disminuir la fotooxidación de los carotenoides durante el almacenamiento es impidiendo la exposición a la luz del fruto o utilizando un empaque oscuro (Pénicaud *et al.*, 2011).

6.3.- Procesamiento

Aparte de todos los factores mencionados anteriormente, se debe considerar el procesamiento de los frutos. Cuando los carotenoides se encuentran dentro de la matriz de los alimentos están protegidos por la estructura celular y son menos vulnerables a sufrir alteraciones o degradación, esta protección ocasiona que su biodisponibilidad disminuya (Rodríguez-

Amaya, 1999). Cuando los frutos son pelados, cortados o preparados en forma de pulpa, las proteínas se empiezan a desnaturalizar y se rompen las membranas celulares haciendo a los carotenoides más biodisponibles, sin embargo también se está exponiendo a los carotenoides a la acción del oxígeno y la oxidación de los carotenoides por parte de las lipooxigenasas (Rodríguez-Amaya, 1999; Mercadante, 2007; Britton y Khachik, 2009; Pénicaud *et al.*, 2011). Es por esto que debe haber un balance en el procesamiento que permita aumentar su biodisponibilidad sin ocasionar la degradación de estos compuestos (Rodríguez-Amaya, 1999).

Los tratamientos que puedan sufrir los frutos en un hogar también favorecen la degradación de los carotenoides. El calentamiento en microondas, a vapor, cocción prolongada, hervido, entre otros, ha demostrado tener un efecto negativo en la concentración de carotenoides. La destrucción de la matriz de los alimentos cuando estos son picados incrementa el área superficial que está expuesta, esto podría generar la degradación de los carotenoides (Rodríguez-Amaya *et al.*, 2008). El secado y extracción de jugo también pueden provocar pérdidas sustanciales de los carotenoides (Namitha y Negi, 2010). Además, el calentamiento excesivo puede afectar la estabilidad de los compuestos en los alimentos y ocasionar la isomerización de *trans* a *cis*, u oxidarlos (Doring, 2007); un caso, el β -caroteno (Jatunov *et al.*, 2010). Todos estos procesos pueden disminuir la cantidad de carotenoides que van a estar disponibles cuando se consuman. No obstante, los frutos pueden presentar comportamientos diferentes dependiendo del tipo de carotenoide que contengan. Por ejemplo, el licopeno se encuentra en la naturaleza de la forma *all-trans*, mientras que en el plasma se presenta una mayor concentración en su isómero *cis*. El tratamiento térmico realiza isomerización permitiendo que después de una ligera cocción el licopeno esté más disponible según estudios

de biodisponibilidad en el tomate (Boileau *et al.*, 2002).

Por otro lado, la elaboración de jugos y posterior pasteurización también tiene un efecto sobre la concentración de carotenoides. Fernandes *et al.* (2011) realizaron una comparación de los cambios fisicoquímicos durante el procesamiento de jugo de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*), determinando que la concentración de carotenoides totales variaba relativamente poco entre la formulación y homogenización del jugo y la posterior pasteurización. Mientras que en otro estudio realizado por Maia *et al.* (2007), determinaron que la pasteurización del jugo de acerola implicaba un aumento en la concentración de los carotenoides totales. Ambos estudios difieren en el tipo de fruto utilizado, por lo que estas diferencias se pueden deber al efecto de la matriz. Como se menciona en Maia *et al.* (2007) el tratamiento térmico de la pasteurización pudo ayudar a liberar los pigmentos por medio de la ruptura de la pared celular. No obstante, en ninguno de estos estudios se realizó la determinación e identificación de los carotenoides presentes; si bien es cierto el tratamiento térmico puede ocasionar degradación de los carotenoides, al tratar con temperaturas medias con un tiempo de exposición corto, se espera también una isomerización de los carotenoides. Mezadri *et al.* (2005) realizaron una comparación del efecto de la pasteurización, pero incluyendo la determinación de los principales pigmentos carotenoides presentes. En ese estudio se vio una clara isomerización del β -caroteno y la luteína. Por lo tanto, aunque el contenido total de carotenoides sea similar después de la pasteurización, esto no implica que el perfil de carotenoides sea el mismo, esto también se puede ver reflejado en una disminución de los beneficios que se pueden obtener de su consumo.

La utilización de bajas temperaturas y el escaldado logran preservar de una manera

eficiente los carotenoides (Rodríguez-Amaya y Kimura, 2004; Namitha y Negi, 2010); la liofilización de mangos, por ejemplo, resultó efectiva para prevenir la pérdida de β -caroteno (Harnkarnsujarit y Charoenrein, 2011) y el escaldado, aunque ocasione ligeras pérdidas de carotenoides puede ayudar a la conservación a largo plazo por la inactivación enzimática (Dutta *et al.*, 2006; Namitha y Negi, 2010).

CONCLUSIONES

Los carotenoides son moléculas que han sido ampliamente estudiadas en los últimos años y han logrado despertar un gran interés por sus beneficios a nivel de salud y sus aplicaciones en la industria alimentaria. Las fuentes de estos pigmentos son muy diversas e inclusive la distribución y forma en la que estén presentes en los frutos puede variar de uno a otro. Durante la maduración de los frutos se incrementa considerablemente la concentración de estos carotenoides, sin embargo aunque éstas sean altas, no implica que estén biodisponibles. Dependiendo de la matriz en la que se encuentren y el procesamiento que se les haya dado, estos compuestos pueden ser degradados o no estar en la forma estructural que puede ser absorbida. Los frutos que han sido más estudiados funcionan como modelo para describir o predecir los aspectos generales de los carotenoides. No obstante, la caracterización debe realizarse específicamente en cada fruto, dado que las interacciones que se puedan presentar por su composición pueden afectar en gran medida la biodisponibilidad de los mismos para los seres humanos. De los frutos expuestos en esta revisión se conocen aspectos generales de su composición o distribución de los carotenoides en su interior, sin embargo la información referente a su biodisponibilidad o la interacción de sus demás componentes que puedan afectar la absorción en el cuerpo humano es muy escasa o nula. La amplia gama de frutos tropicales son fuentes

importantes de carotenoides, sin embargo es necesaria la realización de estudios posteriores para que sus potenciales usos en la salud y la industria no se vean limitados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Óscar; Pérez, Ana M. y Vaillant, Fabrice. 2009. Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 59(1):88-94.
- Agostini-Costa, Tânia da Silveira; Wondracek, Danielle Cristina; Rocha, Wesley da Silveira and da Silva, Dijalma Barbosa. 2012. Carotenoids profile and total polyphenols in fruits of *Pereskia aculeata* Miller. Revista Brasileira de Fruticultura. 34(1):234-238.
- Alia-Tejagal, I.; Colinas-León, M.T.; Martínez-Damián, M.T. y Soto-Hernández, M.R. 2002. Factores fisiológicos, bioquímicos y de calidad en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H.E. Moore & Stearn) durante poscosecha. Revista Chapingo serie horticultura. 8(2):263-281.
- Alia-Tejagal, I.; Soto-Hernández, R.M.; Colinas-León, M.T. y Martínez-Damián, M.T. 2005. Análisis preliminar de carotenoides y compuestos fenólicos en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stern). Revista Chapingo serie horticultura. 11(2):225-231.
- Alia-Tejagal, I.; Villanueva-Arce, R.; Pelayo-Zaldívar, C.; Colinas-León, M.T.; López-Martínez, V. and Bautista-Baños, S. 2007. Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn). Postharvest Biology and Technology. 45(3):285-297.
- Alminger, Marie; Svelander, Cecilia; Wellner, Anna; Martinez-Tomas, Rebeca; Bialek,

- Lucy; Larque, Elvira and Perez-Llamas, Francisca. 2012. Applicability of *in vitro* models in predicting the *in vivo* bioavailability of lycopene and β -carotene from differently processed soups. *Food and Nutrition Sciences*. 3(4):477-489.
- Andersson, Staffan C.; Rumpunen, Kimmo; Johansson, Eva and Olsson, Marie E. 2011. Carotenoid content and composition in rose hips (*Rosa* spp.) during ripening, determination of suitable maturity marker and implications for health promoting food products. *Food Chemistry*. 128(3):689-696.
- Azevedo-Meleiro, Cristiane H. and Rodriguez-Amaya, Delia B. 2004. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. *Journal of Food Composition and Analysis*. 17(3-4):385-396.
- Bagetti, Milena; Facco, Elizete Maria Pesamosca; Piccolo, Jaqueline; Hirsch, Gabriela Elisa; Rodríguez-Amaya, Delia; Kobori, Cintia Nanci; Vizzotto, Márzia and Emanuelli, Tatiana. 2011. Physicochemical characterization and antioxidant capacity of pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brazil)*. 31(1):147-154.
- Ben-Dor, A.; Nahum, A.; Danilenko, M.; Giat, Y.; Stahl, W.; Martin, H.D.; Emmerich, T.; Noy, N.; Levy, J. and Sharoni, Y. 2001. Effects of acyclo-retinoic acid and lycopene on activation of the retinoic acid receptor and proliferation of mammary cancer cells. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 391(2):295-302.
- Ben-Shaul, Yehuda and Shimon, Klein. 1965. Development and structure of carotene bodies in carrot roots. *Botanical Gazette*. 126(2):79-85.
- Boileau, Thomas W.M.; Boileau, Amy C. and Erdman, John W. Jr. 2002. Bioavailability of all-*trans* and *cis*-isomers of lycopene. *Experimental Biology and Medicine*. 227(10):914-919.
- Boon, Caitlin S.; McClements, D. Julian; Weiss, Jochen and Decker, Eric A. 2010. Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 50(6):515-532.
- Boudries, Hafid; Kefalas, Panagiotis and Hornero-Méndez, Dámaso. 2007. Carotenoid composition of Algerian date varieties (*Phoenix dactylifera*) at different edible maturation stages. *Food Chemistry*. 101(4):1372-1377.
- Bramley, Peter M. 2002. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany*. 53(377):2107-2113.
- Bréhélin, Claire and Kessler, Felix. 2008. The plastoglobule: a bag full of lipid biochemistry tricks. *Photochemistry and Photobiology*. 84(6):1388-1394.
- Britton, George. 2008. Functions of intact carotenoids. In *Carotenoids: natural functions*. Volume 4. (pp. 189-212). Switzerland: Birkhäuser Verlag Basel.
- Britton, George and Khachik, Frederick. 2009. Carotenoids in food. In *Carotenoids: nutrition and health*. Volume 5. (pp. 45-66). Switzerland: Birkhäuser Verlag Basel.
- Bugianesi, R.; Salucci, M.; Leonardi, C.; Ferracane, R.; Catasta, G.; Azzini, E. and Maiani, G. 2004. Effect of domestic cooking on human bioavailability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and β -carotene in cherry tomatoes. *European Journal of Nutrition*. 43(6):360-366.
- Canene-Adams, Kirstie and Erdman, John W. Jr. 2009. Absorption, transport, distribution in tissues and bioavailability. In *Carotenoids: nutrition and health*. Volume 5. (pp. 115-148). Switzerland: Birkhäuser Verlag Basel.

- Cazzonelli, C.I.; Nisar, N.; Hussain, D.; Carmody, M.E. and Pogson, B.J. 2010. Biosynthesis and regulation of carotenoids in plants-micronutrients, vitamins and health benefits. In Plant developmental biology - Biotechnological perspectives. Volume 2. (pp. 117-137). Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Cazzonelli, Christopher I. and Pogson, Barry J. 2010. Source to sink: regulation of carotenoid biosynthesis in plants. Trends in Plant Science. 15(5):266-274.
- Celli, Giovana Bonat; Pereira-Netto, Aducto Bellarmino and Beta, Trust. 2011. Comparative analysis of total phenolic content, antioxidant activity, and flavonoids profile of fruits from two varieties of Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.) throughout the fruit developmental stages. Food Research International. 44(8):2442-2451.
- Cuttriss, Abby J.; Mimica, Joanna L.; Howitt, Crispin A. and Pogson, Barry J. 2006. Carotenoids. In The structure and function of plastids. (pp. 315-334). Advances in Photosynthesis and Respiration. Volume 23. The Netherlands: Springer Netherlands.
- da Rosa, Sônia Maciel e de Souza, Luiz Antonio. 2003. Morfo-anatomia do fruto (hipanto, pericarpo e semente) em desenvolvimento de *Pereskia aculeata* Miller (Cactaceae). Acta Scientiarum. Biological Sciences. 25(2):415-428.
- De Rosso, V.V. and Mercadante, A.Z. 2005. Carotenoid composition of two Brazilian genotypes of acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) from two harvests. Food Research International. 38(8-9):1073-1077.
- Delgado-Vargas, Francisco and Paredes-López, Octavio. 2003. Carotenoids. In Natural colorants for food and nutraceutical uses. Boca Raton, USA: CRC Press, LLC.
- Deming, Denise M.; Boileau, Thomas W.M.; Heintz, Kasey H.; Atkinson, Christine A. and Erdman, John W. Jr. 2002. Carotenoids: linking chemistry, absorption, and metabolism to potential roles in human health and disease. In Handbook of antioxidants. (2nd. ed). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- During, Alexandrine. 2007. Bioavailability of natural pigments. In Food colorants: chemical and functional properties. (pp. 127-192). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Dutta, Debjani; Dutta, Abhishek; Raychaudhuri, Utpal and Chakraborty, Runu. 2006. Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. Journal of Food Engineering. 76(4):538-546.
- Fernandes, Aline Gurgel; do Santos, Gerusa Matias; da Silva, Daniele Sales; de Sousa, Paulo Henrique Machado; Maia, Geraldo Arraes and de Figueiredo, Raymundo Wilane. 2011. Chemical and physicochemical characteristics changes during passion fruit juice processing. Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brazil). 31(3):747-751.
- Fernández-García, Elisabeth; Carvajal-Lérida, Irene; Jarén-Galán, Manuel; Garrido-Fernández, Juan; Pérez-Gálvez, Antonio and Hornero-Méndez, Dámaso. 2012. Carotenoids bioavailability from foods: from plant pigments to efficient biological activities. Food Research International. 46(2):438-450.
- Fielding, Jeanette M.; Rowley, Kevin G.; Cooper, Pauline and O'Dea, Kerin. 2005. Increases in plasma lycopene concentration after consumption of tomatoes cooked with olive oil. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition. 14(2):131-136.
- Filho, Genival L.; De Rosso, Veridiana V.; Meireles, M. Angela A.; Rosa, Paulo T.V.; Oliveira, Alessandra L.; Mercadante,

- Adriana Z. and Cabral, Fernando A. 2008. Supercritical CO₂ extraction of carotenoids from pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). *The Journal of Supercritical Fluids*. 46(1):33-39.
- Ford, N.A.; Elsen, A.C.; Zuniga, K.; Lindshield, B.L. and Erdman, J.W. Jr. 2011. Lycopene and apo-12'-lycopenal reduce cell proliferation and alter cell cycle progression in human prostate cancer cells. *Nutrition and Cancer*. 63(2):256-263.
- Ford, Nikki A. and Erdman, John W. Jr. 2012. Are lycopene metabolites metabolically active?. *Acta Biochimica Polonica*. 59(1):1-4.
- Fратиани, A.; Cinquanta, L. and Panfili, G. 2010. Degradation of carotenoids in orange juice during microwave heating. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie (LWT) - Food Science and Technology*. 43(6):867-871.
- Furtado, Jeremy D.; Siles, Xinia and Campos, Hannia. 2004. Carotenoid concentrations in vegetables and fruits common to the Costa Rican diet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 55(2):101-113.
- Gancel, Anne Laure; Alter, Pascaline; Dhuique-Mayer, Claudie; Ruales, Jenny and Vaillant, Fabrice. 2008. Identifying carotenoids and phenolic compounds in naranjilla (*Solanum quitoense* Lam. var. Puyo Hybrid), an Andean fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(24):11890-11899.
- Gayathri, G.N.; Platel, Kalpana; Prakash, Jamuna and Srinivasan, K. 2004. Influence of antioxidant spices on the retention of β -carotene in vegetables during domestic cooking processes. *Food Chemistry*. 84(1):35-43.
- Gellenbeck, Kevin; Salter-Venzon, Dawna; Lala, Rajendra and Chavan, Jayanthi. 2012. A multicarotenoid beadlet for human nutrition - proof of concept of *in vitro* timed release. *Acta Biochimica Polonica*. 59(1):35-38.
- Gruszecki, Wiesław I. 2009. Carotenoids in lipid membranes. In *Carotenoids. Physical, chemical, and biological functions and properties*. (pp. 19-30). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Harnkarnsujarit, Nathdanai and Charoenrein, Sanguansri. 2011. Influence of collapsed structure on stability of β -carotene in freeze-dried mangoes. *Food Research International*. 44(10):3188-3194.
- Harris, William M. and Spurr, Arthur R. 1969. Chromoplasts of tomato fruits. II. The red tomato. *American Journal of Botany*. 56(4):380-389.
- Hornero-Méndez, Dámaso and Mínguez-Mosquera, María Isabel. 2007. Bioaccessibility of carotenes from carrots: effect of cooking and addition of oil. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 8(3):407-412.
- Hudák, Ján; Gálová, Eliška and Zemanová, Lenka. 2005. Plastid morphogenesis. In *Handbook of photosynthesis*. (pp. 221-245). (2nd. ed.). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- Huo, Tianyao; Ferruzzi, Mario G.; Schwartz, Steven J. and Failla, Mark L. 2007. Impact of fatty acyl composition and quantity of triglycerides on bioaccessibility of dietary carotenoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(22):8950-8957.
- Jatunov, Sorel; Quesada, Silvia; Díaz, Cecilia y Murillo, Enrique. 2010. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*. 60(1):99-104.
- Karrer, P. and Eugster, C.H. 1951. Carotinoidsynthesen VIII. Synthese des dodecapreno- β -carotins. *Helvetica Chimica Acta*. 34(6):1805-1814.

- Kim, Ji Eun; Rensing, Kim H.; Douglas, Carl J. and Cheng, Kimberly M. 2010. Chromoplasts ultrastructure and estimated carotene content in root secondary phloem of different carrot varieties. *Planta*. 231(3):549-558.
- Knockaert, Griet; Lemmens, Lien; Van Buggenhout, Sandy; Hendrickx, Marc and Van Loey, Ann. 2012. Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree. *Food Chemistry*. 133(1):60-67.
- Kostic, D.; White, W.S. and Olson, J.A. 1995. Intestinal absorption, serum clearance, and interactions between lutein and beta-carotene when administered to human adults in separate or combined oral doses. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 62(3):604-610.
- Kotake-Nara, Eiichi and Nagao, Akihiko. 2012. Effects of mixed micellar lipids on carotenoid uptake by human intestinal Caco-2 cells. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 76(5):875-882.
- Lemmens, Lien; Van Buggenhout, Sandy; Oey, Indrawati; Van Loey, Ann and Hendrickx, Marc. 2009. Towards a better understanding of the relationship between the β -carotene *in vitro* bio-accessibility and pectin structural changes: a case study on carrots. *Food Research International*. 42(9):1323-1330.
- Lima, Vera L.A.G.; Mélo, Enayde A.; Maciel, Maria Inês S.; Prazeres, Flávia G.; Musser, Rosimar S. and Lima, Daisyvângela E.S. 2005. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. *Food Chemistry*. 90(4):565-568.
- Liu, L.H.; Zabarar, D.; Bennett, L.E.; Aguas, P. and Woonton, B.W. 2009. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*. 115(2):495-500.
- Maia, Geraldo Arraes; de Sousa, Paulo Henrique Machado; dos Santos, Gerusa Matias; da Silva, Daniele Sales; Fernandes, Aline Gurgel e do Prado, Giovana Matias. 2007. Efeito do processamento sobre componentes do suco de acerola. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brasil)*. 27(1):130-134.
- Matthews, Paul D. and Wurtzel, Eleanore T. 2007. Biotechnology of food colorant production. In *Food colorants: chemical and functional properties*. (pp. 303-426). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Meléndez-Martínez, A.J.; Gómez-Robledo, L.; Melgosa, M.; Vicario, I.M. and Heredia, F.J. 2011. Color of orange juices in relation to their carotenoid contents as assessed from different spectroscopic data. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24(6):837-844.
- Meléndez-Martínez, Antonio J.; Vicario, Isabel M. y Heredia, Francisco J. 2007. Pigmentos carotenoides: consideraciones estructurales y fisicoquímicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*. 57(2):109-117.
- Mercadante, Adriana Z. 2007. Carotenoids in foods: sources and stability during processing and storage. In *Food colorants: chemical and functional properties*. (pp. 195-299). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Mercadante, Adriana Z. and Rodríguez-Amaya, Delia B. 1991. Carotenoid composition of a leafy vegetable in relation to some agricultural variables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 39(6):1094-1097.
- Mezadri, Tatiana; Fernández-Pachón, M^a Soledad; Villaño, Débora; García-Parrilla, M^a Carmen y Troncoso, Ana M. 2006. El fruto de la acerola: composición y posibles usos alimenticios. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*. 56(2):101-109.

- Mezadri, Tatiana; Pérez-Gálvez, Antonio and Hornero-Méndez, Dámaso. 2005. Carotenoid pigments in acerola fruits (*Malpighia emarginata* DC.) and derived products. *European Food Research & Technology*. 220(1):63-69.
- Mora-Urpí, Jorge; Weber, John C. and Clement, Charles R. 1997. Peach palm *Bactris gasipaes* Kunth. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 20. Gatersleben, Germany: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK) - Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- Mortensen, Alan. 2009. Supplements. In *Carotenoids: nutrition and health*. Volume 5. (pp. 67-82). Switzerland: Birkhäuser Verlag Basel.
- Murillo, Enrique; McLean, Reinaldo; Britton, George; Agócs, Attila; Nagy, Veronika and Deli, József. 2011. Sapotexanthin, an A-provitamin carotenoid from red mamey (*Pouteria sapota*). *Journal of Natural Products*. 74(2):283-285.
- Murillo, Enrique; Meléndez-Martínez, Antonio J. and Portugal, Falcón. 2010. Screening of vegetables and fruits from Panama for rich sources of lutein and zeaxanthin. *Food Chemistry*. 122(1):167-172.
- Murillo, Enrique; Mosquera, Yesury; Kurtán, Tibor; Gulyás-Fekete, Gergely; Nagy, Veronika and Deli, József. 2012. Isolation and characterization of novel capsorubin-like carotenoids from the red mamey (*Pouteria sapota*). *Helvetica Chimica Acta*. 95(6):983-988.
- Namitha, K.K. and Negi, P.S. 2010. Chemistry and biotechnology of carotenoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 50(8):728-760.
- Olson, James Allen. 1994. Absorption, transport, and metabolism of carotenoids in human. *Pure and Applied Chemistry*. 66(5):1011-1016.
- Ornelas-Paz, J. De Jesús; Failla, Mark L.; Yahia, Elhadi M. and Gardea-Bejar, Alfonso. 2008. Impact of the stage of ripening and dietary fat on *in vitro* bioaccessibility of β -carotene in 'Ataulfo' mango. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(4):1511-1516.
- Ötles, Semih and Çagind, Özlem. 2007. Carotenoids as natural colorants. In *Food colorants: chemical and functional properties*. (pp. 25-49). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Parker, Robert S. 1996. Absorption, metabolism, and transport of carotenoids. *The FASEB Journal*. 10(5):542-551.
- Pasenkiewicz-Gierula, Marta; Baczyński, Krzysztof; Murzyn, Krzysztof and Markiewicz, Michał. 2012. Orientation of lutein in a lipid bilayer-revisited. *Acta Biochimica Polonica*. 59(1):115-118.
- Pénicaud, Caroline; Achir, Nawel; Dhuique-Mayer, Claudie; Dornier, Manuel and Bohuon, Philippe. 2011. Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review. *Fruits*. 66(6):417-440.
- Pérez-López, Antonio José; López-Nicolas, José Manuel; Núñez-Delgado, Estrella; del Amor, Francisco M. and Carbonell-Barrachina, Ángel A. 2007. Effects of agricultural practices on color, carotenoids composition, and minerals contents of sweet peppers, cv. Almuden. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(20):8158-8164.
- Piña-Dumoulin, Grigna; Ochoa, Alfonsina y Magaña-Lemus, Sacramento. 2010. Caracterización físico-química de frutas frescas de cultivos no tradicionales en Venezuela. II. La pitanga. *Agronomía Tropical*. 60(2):203-209.
- Porcu, Ornella M. and Rodríguez-Amaya, Delia B. 2008. Variation in the carotenoid composition of the lycopene-rich Brazilian

- fruit *Eugenia uniflora* L. Plant Foods for Human Nutrition. 63(4):195-199.
- Porcu, Ornella Maria and Rodriguez-Amaya, Delia B. 2006. Variation in the carotenoid composition of acerola and its processed products. Journal of the Science of Food and Agriculture. 86(12):1916-1920.
- Pott, Isabell; Breithaupt, Dietmar E. and Carle, Reinhold. 2003. Detection of unusual carotenoid esters in fresh mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Kent'). Phytochemistry. 64(4):825-829.
- Pupin, A.M.; Dennis, M.J. and Toledo, M.C.F. 1999. HPLC analysis of carotenoids in orange juice. Food Chemistry. 64(2):269-275.
- Rodríguez-Amaya, D.B. 1999. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 49(3Suppl.1):38S-47S.
- Rodríguez-Amaya, D.B.; Porcu, O.M. and Azevedo-Meleiro, C.H. 2007. Variation in the carotenoid composition of fruits and vegetables along the food chain. Acta Horticulturae. 744:387-394.
- Rodríguez-Amaya, Delia B. and Kimura, Mieko. 2004. HarvestPlus handbook for carotenoid analysis. HarvestPlus Technical Monograph Series. 2. Washington D. C., USA: International Food Policy Research Institute (IFPRI) - Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
- Rodríguez-Amaya, Delia B.; Kimura, Mieko; Godoy, Helena T. and Amaya-Farfan, Jaime. 2008. Updated Brazilian database on food carotenoids: factors affecting carotenoid composition. Journal of Food Composition and Analysis. 21(6):445-463.
- Rojas-Garbanzo, Carolina; Pérez, Ana M.; Bustos-Carmona, Jairol and Vaillant, Fabrice. 2011. Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. Food Research International. 44(7):2377-2384.
- Sanjinés-Asturizaga, Adriana; Øllgaard, Benjamin and Balslev, Henrik. 2006. Frutos comestibles. En Botánica económica de los Andes Centrales. (pp. 329-346). La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Schweiggert, R.M.; Mezger, D.; Schimpf, F. Steingass, C.B. and Carle, R. 2012. Influence of chromoplast morphology on carotenoid bioaccessibility of carrot, mango, papaya, and tomato. Food Chemistry. 135(4):2736-2742.
- Schweiggert, Ralf M.; Steingass, Christof B.; Heller, Annerose; Esquivel, Patricia and Carle, Reinhold. 2011b. Characterization of chromoplasts and carotenoids of red- and yellow-fleshed papaya (*Carica papaya* L.). Planta. 234(5):1031-1044.
- Schweiggert, Ralf Martin; Steingass, Christof Björn; Mora, Eric; Esquivel, Patricia and Carle, Reinhold. 2011a. Carotenogenesis and physico-chemical characteristics during maturation of red fleshed papaya fruit (*Carica papaya* L.). Food Research International. 44(5):1373-1380.
- Serrano, Mauricio; Umaña, Gerardina y Sáenz, Marco V. 2011. Fisiología poscosecha, composición química y capacidad antioxidante de frutas de pejobaye (*Bactris gasipaes* Kunth) cv. Tuira Darién cosechadas a tres diferentes edades. Agronomía Costarricense. 35(2):75-87.
- Sliwka, Hans Richard and Partali, Vassilia. 2012a. Superlative carotenoids. Acta Biochimica Polonica. 59(1):17-20.
- Sliwka, Hans Richard and Partali, Vassilia. 2012b. Key to xenobiotic carotenoids. Molecules. 17(3):2877-2928.
- Stahl, Wilhelm; von Laar, Jutta; Martin, Hans Dieter; Emmerich, Theresia and Sies, Helmut. 2000. Stimulation of gap junctional communication: comparison of acyclo-retinoic acid and lycopene.

- Archives of Biochemistry and Biophysics. 373(1):271-274.
- Sujak, Agnieszka. 2012. Exceptional molecular organization of canthaxanthin in lipid membranes. *Acta Biochimica Polonica*. 59(1):31-33.
- Sujak, Agnieszka; Gabrielska, Janina; Grudziński, Wojciech; Borc, Robert; Mazurek, Piotr and Gruszecki, Wiesław I. 1999. Lutein and zeaxanthin as protectors of lipid membranes against oxidative damage: the structural aspects. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 371(2):301-307.
- Sujak, Agnieszka; Gabrielska, Janina; Milanowska, Justyna; Mazurek, Piotr; Strzałka, Kazimierz and Gruszecki, Wiesław I. 2005. Studies on canthaxanthin in lipid membranes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*. 1712(1):17-28.
- Sujak, Agnieszka; Gagoś, Mariusz; Serra, M. D. and Gruszecki, Wiesław I. 2007. Organization of two-component monomolecular layers formed with dipalmitoylphosphatidylcholine and the carotenoid pigment, canthaxanthin. *Molecular Membrane Biology*. 24(5-6):431-441.
- Takaichi, Shinichi; Murakami, Akio; Mochimaru, Mari and Yokoyama, Akiko. 2012. α -Carotene and its derivatives have a sole chirality in phototrophic organisms?. *Acta Biochimica Polonica*. 59(1):159-161.
- Takeiti, Cristina Y.; Antonio, Graziella C.; Motta, Eliana M.P.; Collares-Queiroz, Fernanda P. and Park, Kil J. 2009. Nutritive evaluation of a non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 60(s1):148-160.
- Takyi, Etor E.K. 2001. Bioavailability of carotenoids from vegetables versus supplements. In *Vegetables, fruits, and herbs in health promotion*. (pp. 19-34). Boca Raton, USA: CRC Press, LLC.
- Thomson, William W. 1966. Ultrastructural development of chromoplasts in Valencia oranges. *Botanical Gazette*. 127(2-3):133-139.
- Tuan, Pham Anh; Park, Nam Il; Park, Woo Tae; Kim, Yeon Bok; Kim, Jae Kwang; Lee, Jonghoon; Lee, Suh hee; Yang, Tae Jin and Park, Sang Un. 2012. Carotenoids accumulation and expression of carotenogenesis genes during seedling and leaf development in Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*). *Plant Omics Journal*. 5(2):143-148.
- van den Berg, H. and van Vliet, T. 1998. Effect of simultaneous, single oral doses of beta-carotene with lutein or lycopene on the beta-carotene and retinyl ester responses in the triacylglycerol-rich lipoprotein fraction of men. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 68(1):82-89.
- Vásquez-Cacedo, Ana Lucía; Heller, Annerose; Neidhart, Sybille and Carle, Reinhold. 2006. Chromoplast morphology and β -carotene accumulation during postharvest ripening of mango cv. 'Tommy Atkins'. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(16):5769-5776.
- Veda, Supriya; Platel, Kalpana and Srinivasan, K. 2007. Varietal differences in the bioaccessibility of β -carotene from mango (*Mangifera indica*) and papaya (*Carica papaya*) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(19):7931-7935.
- Wilberg, Viktor C. and Rodriguez-Amaya, Delia B. 1995. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie (LWT) - Food Science and Technology*. 28(5):474-480.
- Yahia, Elhadi M.; Gutiérrez-Orozco, Fabiola and Arvizu de León, Claudia. 2011. Phytochemical and antioxidant

- characterization of mamey (*Pouteria sapota* Jacq. H. E. Moore & Stearn) fruit. *Food Research International*. 44(7):2175-2181.
- Yeum, Kyung Jin and Russell, Robert M. 2002. Carotenoid bioavailability and bioconversion. *Annual Review of Nutrition*. 22:483-504.
- Zanatta, Cinthia Fernanda; Cuevas, Elyana; Bobbio, Florinda O.; Winterhalter, Peter and Mercadante, Adriana Z. 2005. Determination of anthocyanins from Camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(24): 9531-9535.
- Zanatta, Cinthia Fernanda and Mercadante, Adriana Z. 2007. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Food Chemistry*. 101(4):1526-1532.
- Zhang, H.; Kotake-Nara, E.; Ono, H. and Nagao, A. 2003. A novel cleavage product formed by autoxidation of lycopene induces apoptosis in HL-60 cells. *Free Radical Biology & Medicine*. 35(12):1653-1663.