



INTERACCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y FIBRA DIETARIA: CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y BIODISPONIBILIDAD

PHENOLIC COMPOUNDS AND DIETARY FIBER INTERACTION:
ANTIOXIDANT CAPACITY AND BIOAVAILABILITY

Ana Elena Quirós Saucedo, Hugo Palafox, Rosario Maribel Robles Sánchez y Gustavo A. González Aguilar*

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC (CIAD, AC). Carretera a la Victoria Km 0.6. La Victoria, Hermosillo, Sonora 83000, México. Tel: (662) 289 2400 ext 272, Fax: (662) 280 0422.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la relación entre el consumo de frutas y la salud humana ha sido el punto focal de la investigación científica. Este interés se debe a la búsqueda específica de los compuestos contenidos en vegetales que proporcionan beneficios a la salud del consumidor (Palafox-Carlos *et al.*, 2011). Las frutas, además de ser fuente de vitaminas, minerales y fibra, también son fuente rica en compuestos bioactivos conocidos como fitoquímicos. Los compuestos fenólicos (CF) son sustancias fitoquímicas que estando en bajas concentraciones en los alimentos, pueden prevenir algunos de los procesos implicados en el desarrollo de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Denny y Buttriss, 2007). Sin embargo, la evidencia de su papel en la prevención de otras enfermedades degenerativas requiere de un mayor soporte científico.

La bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los CF es muy variada, y no necesariamente los compuestos más abundantes en las frutas ingeridas son los que conducen a mayores concentraciones de metabolitos activos en los tejidos (Manach *et al.*, 2004). Existen diversos factores que interfieren en la biodisponibilidad de estos compuestos, como la matriz alimentaria y las interacciones químicas con otros fitoquímicos y/o biomoléculas (Parada y Aguilera, 2007). En las frutas, los CF se encuentran interactuando con diferentes

macromoléculas como carbohidratos, lípidos y proteínas. En los tejidos vegetales, los CF interactúan principalmente con los carbohidratos, encontrándose en forma libre y conjugada (Manach *et al.*, 2005).

La fibra dietaria (FD), considerada un grupo de carbohidratos complejos que no puede ser digerido por el organismo humano, juega un papel importante en la dieta y salud humana (Adiotoomre *et al.*, 1990; Prosky, 2000; Montagne *et al.*, 2003; DeVries, 2004). No obstante, existe evidencia que indica que estos carbohidratos complejos pueden interactuar directamente con los CF presentes en los alimentos y pueden interferir con su adecuada asimilación (Faulks y Southon, 2005; Parada y Aguilera, 2007; Porrini *et al.*, 2008; Pérez-Jiménez *et al.*, 2009; DeVries, 2004). Sin embargo, la mayoría de los estudios sobre la biodisponibilidad de CF se centra en alimentos y bebidas de donde estos se liberan con facilidad (Furr y Clark, 1997; Lafay y Gil-Izquierdo, 2008). Por tal motivo, es importante investigar los mecanismos de bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los CF presentes en matrices sólidas; ya que sólo los compuestos liberados de sus matrices y/o absorbidos en el intestino delgado son potencialmente activos y capaces de ejercer efectos benéficos a la salud (Tagliazucchi *et al.*, 2010).

Estudios previos indican que la microestructura de los alimentos afecta los procesos de bioaccesibilidad

* Autor para correspondencia: Gustavo A. González Aguilar
Correo electrónico: gustavo@ciad.mx
Recibido: 1 de noviembre de 2011
Aceptado: 9 de enero de 2012



y biodisponibilidad de varios nutrientes, refiriéndose sobre todo a los CF (Parada y Aguilera, 2007). Sin embargo, el papel específico de la FD en la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de CF no se ha discutido ampliamente. En este contexto, el propósito de la presente revisión es presentar información que sustente la evidencia sobre la asociación de la FD y CF a través de interacciones físicas y químicas en la matriz de frutas, y las consecuencias de dichas interacciones sobre el potencial antioxidante de estos compuestos.

Frutas y su Impacto en la Salud

La producción, el comercio y el consumo de frutas ha aumentado significativamente en los últimos años, tanto en el mercado nacional como internacional. Esto debido a sus buenas características sensoriales y al creciente reconocimiento de su valor nutricional y terapéutico (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2010). Además de sus atractivos colores y aromas, las frutas son fuente rica de vitaminas, minerales, fibra dietaria y compuestos bioactivos conocidos como fitoquímicos (Palafox-Carlos *et al.*, 2011; Ajila *et al.*, 2010). Los fitoquímicos son moléculas antioxidantes capaces de estabilizar radicales libres causantes del envejecimiento y algunas enfermedades. Los fitoquímicos más comunes en las frutas son las vitaminas C y E, carotenoides y compuestos fenólicos (Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2008).

Los CF, además de sus propiedades antioxidantes poseen una amplia gama de efectos biológicos como antibacterianos, antivirales, antiinflamatorios, antitrombóticos y acciones vasodilatadoras (Di Carlo *et al.*, 1999). A pesar de que estos compuestos no se consideran nutrientes, las evidencias clínicas, epidemiológicas y experimentales han demostrado que existe una alta asociación entre el consumo de frutas y la prevención de enfermedades y este efecto protector se piensa que es otorgado por los polifenoles (Denny y Buttriss, 2007; Del Rio *et al.*, 2010; Gonzalez-Aguilar *et al.*, 2008; De La Rosa *et al.*, 2010).

Los compuestos de los frutos con propiedades antioxidantes actúan protegiendo la oxidación del ADN e inhibiendo el daño oxidativo del colesterol LDL

(Denny y Buttriss, 2007). Algunos de los beneficios adicionales que pueden atribuirse al consumo de alimentos ricos en fitoquímicos, es una reducción del riesgo de obesidad y un mejor control de la diabetes (Vincent *et al.*, 2010). Sin embargo, debido a estudios recientes en donde se reporta una asociación entre la FD y los CF presentes en las frutas, estas propiedades biológicas podrían verse negativamente afectadas.

Compuestos Fenólicos y Potencial Antioxidante

Un gran número de moléculas que tienen una estructura fenólica (grupos hidroxilo unidos a anillos aromáticos) han sido identificadas en las plantas superiores, y varios de estos se encuentran en frutas (Manach *et al.*, 2005; Denny y Buttriss, 2007). Estas moléculas son llamadas compuestos fenólicos o polifenoles y son metabolitos secundarios de las plantas que, por lo general, participan en la defensa contra la radiación ultravioleta o daños fisiológicos por patógenos (Yedidia *et al.*, 2008). Los CF pueden clasificarse en diferentes grupos, en función del número de anillos fenol que poseen y de los elementos estructurales que unen a estos anillos entre sí (Manach *et al.*, 2005). Entre los principales grupos se encuentran los flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos y lignanos. Además de esta diversidad, los CF pueden estar asociados con varios carbohidratos y ácidos orgánicos, así como entre ellos mismos.

Una de las principales propiedades de los CF es su potencial antioxidante. El potencial antioxidante se puede considerar como la actividad biológica responsable de inhibir la oxidación de biomoléculas importantes promoviendo un efecto preventivo sobre determinadas enfermedades (Soobrattee *et al.*, 2005). Esta actividad de los CF parece estar relacionada con su capacidad quelante, inhibición de la lipoxigenasa y captura de radicales libres (Alamed *et al.*, 2009). Entre los CF con un reconocido potencial antioxidante destacan los flavonoides (quercetina, kaemferol, miricetina), los ácidos fenólicos (gálico, coumárico, caféico, clorogénico) y taninos (elagitaninos); los cuales constituyen la fracción polifenólica de una gran

diversidad de alimentos de origen vegetal (Manach *et al.*, 2004).

La actividad antioxidante de los CF varía en función del grupo de compuesto estudiado y de su solubilidad. Sin embargo, en general se puede decir que esta propiedad va a depender de la estructura química de los compuestos y de la presencia de grupos hidroxilo presentes en la molécula. Además, la capacidad de ejercer el potencial antioxidante de los CF va a depender de su bioaccesibilidad en el alimento y su biodisponibilidad en el tracto gastrointestinal (Saura-Calixto, 2010). Esto indica la necesidad de estudiar el papel específico de la FD en la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de estos compuestos, con la finalidad de observar efectos sobre la actividad antioxidante.

Fibra Dietaria en Frutas

El consumo de frutas contribuye a beneficios a la salud humana, esto debido a que son fuente rica en algunos micronutrientes y FD. La FD consiste en una variedad de polisacáridos que incluyen la celulosa, hemicelulosa, pectina, β -glucanos, gomas y lignina (Michaelides y Cooper, 2005; Sudha *et al.*, 2007). Estos compuestos son resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas y se encuentran principalmente en tejidos parenquimatosos (Figuerola *et al.*, 2005; Saura Calixto *et al.*, 2010). En las frutas, las paredes celulares constituyen la mayor parte de FD, la cual en función a su solubilidad se clasifica en fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI) (Díaz-Rubio *et al.*, 2008). La FDS incluye pectinas, β -glucanos, arabinosilanos, galactomananos, así como otros polisacáridos y oligosacáridos indigeribles. Por otra parte, la FDI está compuesta por polisacáridos como la celulosa y otros compuestos como lignina y cutina (Figuerola *et al.*, 2005).

El contenido de FD en las frutas puede verse afectado por diversos factores como la variedad, condiciones de cultivo, estado de maduración, procesamiento poscosecha así como por los tratamientos térmicos (De La Rosa *et al.*, 2010). Sin embargo, las propiedades de la FD en las frutas no sólo depende de su contenido,

sino también de su composición (azúcares neutros y ácidos urónicos en FDS; azúcares neutros, ácidos urónicos y lignina Klason en FDI), la cual varía de una fruta a otra (Jimenez-Escrig *et al.*, 2001). Un ejemplo es el contenido similar de FDI en plátano y naranja, sin embargo, el contenido de ácido urónico en la FDS de naranja es tres veces mayor que en plátano (De La Rosa *et al.*, 2010). La composición monomérica de la FD corresponde a los polímeros más comunes presentes en frutas: pectinas, arabinosilanos, arabinogalactanos, entre otros. Las frutas también presentan diferencias en la composición de lignina.

Existe evidencia científica de que, además de los polisacáridos de las plantas y lignina, existen otros compuestos indigeribles como el almidón resistente, oligosacáridos y fitoquímicos que pueden considerarse componentes de la FD (Díaz-Rubio y Saura-Calixto, 2006). De estas moléculas, los fitoquímicos son componentes importantes en las frutas, los cuales parecen estar implicados en muchos de los beneficios a la salud que la FD proporciona. Numerosos estudios epidemiológicos demuestran el papel de la FD presente en las frutas sobre la salud intestinal y la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer, obesidad y diabetes (Anderson *et al.*, 2009; De La Rosa *et al.*, 2010). El alto contenido de FDS en las frutas se ha asociado a efectos más pronunciados en el ámbito intestinal. La ingesta diaria recomendada de FD es de 25-30 g/persona (Lunn y Buttriss, 2007).

El potencial benéfico atribuido al consumo de frutas se debe a las altas cantidades de FD contenida en ellas. Por lo que, podría estar sucediendo una interacción entre las altas cantidades de FD y otros compuestos presentes en las frutas.

Asociación de la Fibra Dietaria y Compuestos Fenólicos en Frutas

La FD y los CF son dos importantes componentes de las frutas. Sin embargo, la abundante literatura en esta área no ha establecido una relación entre estos dos compuestos; probablemente debido a sus diferencias estructurales, fisicoquímicas y biológicas. No obstante, estudios recientes han demostrado



una estrecha asociación entre estas moléculas, tanto en la matriz del fruto (Figura 1) como siguiendo un proceso fisiológico común y sinérgico en el tracto gastrointestinal (Saura-Calixto, 2010). Este autor menciona que los componentes primarios de la FD (resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas) son capaces de interactuar con otros constituyentes de los alimentos, como los compuestos fenólicos.

Los CF son un grupo complejo de moléculas presentes principalmente en las frutas, de forma libre o asociadas a los componentes de la pared celular (Sánchez-Alonso *et al.*, 2007). La unión entre estas moléculas puede darse por medio de interacciones hidrofóbicas y enlaces covalentes formados en la matriz del fruto (Saura-Calixto, 2010). Algunos autores reportan la asociación de estas moléculas en diferentes alimentos. Saura-Calixto y Diaz-Rubio (2007) reportan que los principales CF asociados a la FD en vino son flavan-3-ol y los ácidos benzoicos. Sin

embargo, debido a esta asociación, la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los CF se puede ver afectada (Parada y Aguilera, 2007).

La biodisponibilidad de cada CF en el tracto gastrointestinal es muy variada y puede depender de diversos factores como la fuente del alimento y las interacciones químicas con otros fitoquímicos y biomoléculas (Manach *et al.*, 2005; Parada y Aguilera, 2007). De acuerdo a esto, los CF pueden dividirse en dos grupos: biodisponibles en el tracto gastrointestinal humano y no biodisponibles o asociados a la FD (Saura-Calixto, 2010). Entre los compuestos asociados a la FD se encuentran principalmente polifenoles poliméricos y polifenoles de bajo peso molecular. En este sentido, es necesario seguir realizando estudios que establezcan la asociación entre la FD y CF en la matriz de frutas, así como en el tracto gastrointestinal humano.

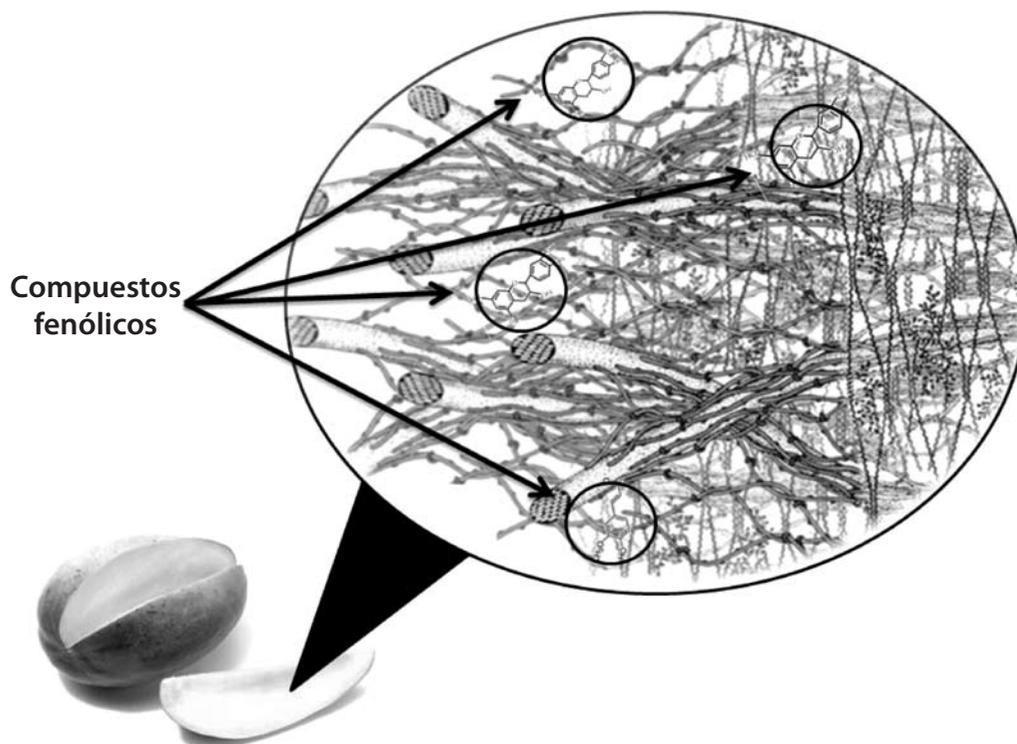


Figura 1. Compuestos fenólicos embebidos en la matriz de frutas.
Figure 1. Entrapped phenolic compounds in fruit matrix.

Interacciones de la FD con CF

La presencia de CF asociados a la fibra dietaria es una característica común en los alimentos vegetales ricos en polifenoles, como las frutas (Díaz-Rubio *et al.*, 2009). El complejo grupo de polisacáridos que forman a la FD puede actuar atrapando CF o bien formando interacciones químicas con ellos. Los CF poseen anillos aromáticos hidrofóbicos y grupos hidroxilo hidrofílicos con la capacidad de enlazar polisacáridos y proteínas en la superficie de la pared celular (Serrano *et al.*, 2009). Este tipo de interacciones puede darse por puentes de hidrógeno (entre el grupo hidroxilo de los CF y los átomos de oxígeno de los enlaces glucosídicos de los polisacáridos), interacciones hidrofóbicas y enlaces covalentes (enlace éster entre ácidos fenólicos y polisacáridos) (Saura-Calixto, 2010) (Figura 2). En general, los compuestos de la FD que interactúan con los CF incluyen al grupo carboxilo del ácido urónico (hemicelulosa y pectina) y el grupo hidroxilo presente en la celulosa (Metzler y Mosenthin, 2008). Estas interacciones también pueden depender de la porosidad específica y propiedades de la superficie, lo que puede restringir el tamaño de las

moléculas que penetran. El tamaño de los poros de la pared celular puede variar de 4 a 10 nm de diámetro, que pueden restringir la penetración de CF con masas moleculares más grandes a 10 kDa (equivalente a 34 unidades de catequina) (Saura-Calixto, 2010). Por tal motivo, la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los CF presentes en los alimentos unidos a la FD podría verse afectada.

Propiedades de los CF Asociados a la FD

Los CF asociados a la FD se caracterizan por presentar diferentes propiedades biológicas como capacidad antioxidante en plasma y colon, además de propiedades relacionadas con la salud (Saura-Calixto, 2010). Una cantidad apreciable de polifenoles asociados a la FD proporciona una capacidad antioxidante significativa que puede tener efectos pronunciados en sus propiedades. Esta característica se deriva del poder antioxidante sinérgico acumulativo de los polifenoles asociados, así como de otros componentes menores (carotenoides y productos de la reacción de Maillard). En este contexto, se ha encontrado que algunas frutas y subproductos de éstas (cáscara de mango, cáscara

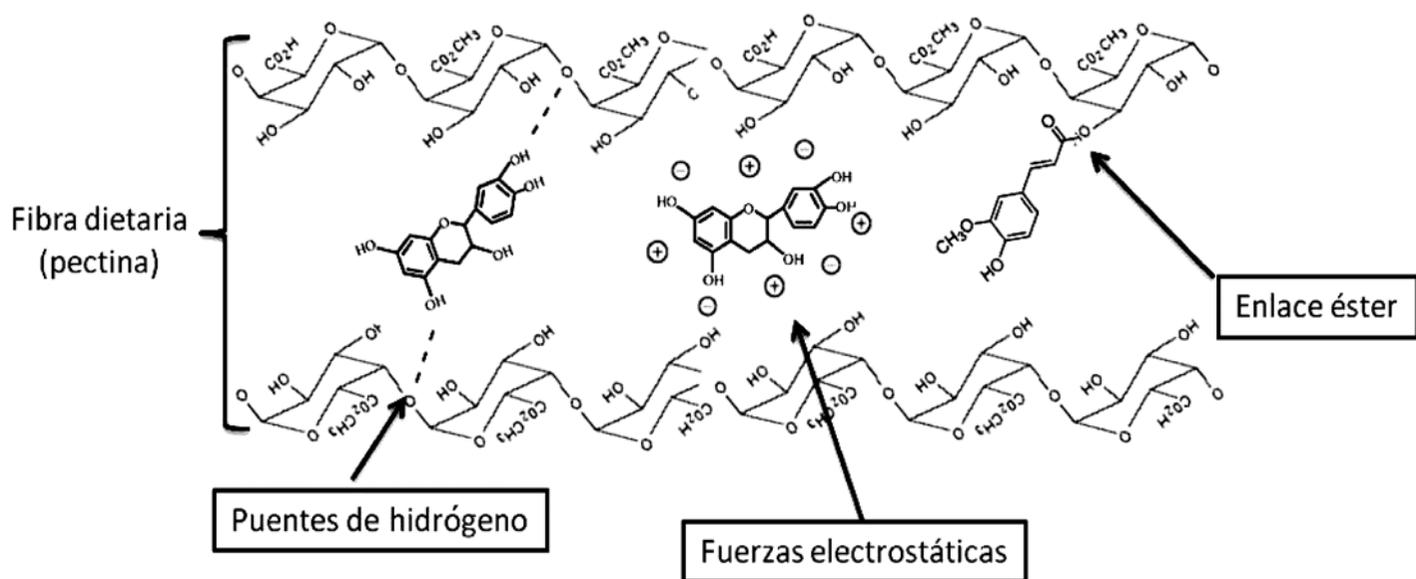


Figura 2. Tipos de interacciones entre compuestos fenólicos y fibra dietaria.

Figure 2. Types of interactions between phenolic compounds and dietary fiber.

de piña, pulpa de guayaba, entre otras) son fuente de FD con capacidad antioxidante, conocida como fibra dietaria antioxidante (Ajila *et al.*, 2010; Jimenez-Escrig *et al.*, 2001). Este producto puede ser utilizado como ingrediente en los alimentos, ya que puede prevenir la oxidación de lípidos en la carne y productos pesqueros, manteniendo la calidad nutricional y prolongando la vida útil (Sánchez-Alonso *et al.*, 2007).

La fermentación de los CF en el colon humano es un evento fisiológico que puede tener efectos significativos en la salud intestinal. Los polifenoles no absorbibles asociados a la FD no son biodisponibles en el intestino delgado humano y llegan al colon, donde son sustratos fermentables para la microflora bacteriana (Saura-Calixto, 2010). Debido a que este material insoluble permanece durante mucho tiempo en el tracto gastrointestinal, tiene la capacidad de estabilizar radicales solubles formados ahí mismo. Los ácidos fenilacético, fenilpropiónico, fenilbutírico y urolitinas A y B, son metabolitos absorbibles de los polifenoles que pueden ejercer efectos sistémicos (Saura-Calixto *et al.*, 2010). Sin embargo, los metabolitos no absorbibles y CF no fermentables permanecen en el lumen del colon, donde pueden contribuir a un ambiente antioxidante (eliminando radicales libres) y contrarrestar los efectos pro-oxidantes de la dieta (Selma *et al.*, 2009).

Estudios realizados en animales reportan algunas propiedades biológicas de los polifenoles asociados a la FD frente a la salud. Entre las principales propiedades derivadas de estos compuestos se encuentran: (a) un aumento de la excreción de lípidos, proteínas, agua y heces totales; (b) efectos positivos sobre el metabolismo lipídico; (c) aumento de la actividad antioxidante en el intestino grueso, y (e) una inhibición de la proliferación en el epitelio del colon, reduciendo el número total de ratas muertas (Saura-Calixto, 2010). Estos resultados sugieren efectos positivos en la prevención de enfermedades cardiovasculares y también en la salud gastrointestinal, incluida la prevención del riesgo de contraer cáncer de colon.

Sin embargo, existe muy poca información que sustente los beneficios de estos compuestos sobre las propiedades relacionadas a la salud.

Bioaccesibilidad y Biodisponibilidad de CF Asociados a la FD

Las propiedades biológicas de los antioxidantes dependen de su bioaccesibilidad y biodisponibilidad (Saura-Calixto, 2010). La bioaccesibilidad se define como la cantidad de un componente del alimento que está presente en el intestino humano, como consecuencia de su liberación de la matriz del alimento, y que puede ser capaz de atravesar la barrera intestinal (Shim *et al.*, 2009). En cambio, la biodisponibilidad se define como la cantidad y velocidad a la que el principio activo se absorbe y llega al lugar de acción (Holst y Williamson, 2008). Por tanto, para que un CF sea potencialmente biodisponible, primeramente debe estar bioaccesible en la matriz del alimento (Tagliazucchi *et al.*, 2010). Sin embargo, la presencia y tipo de FD, puede interferir en diferente magnitud con su biodisponibilidad durante el proceso de digestión (Palafox-Carlos *et al.*, 2011).

El tracto gastrointestinal humano puede considerarse como un extractor, en donde la masticación y la acción química durante la fase de digestión, contribuyen a la extracción de CF de las matrices sólidas como las frutas (Lafay y Gil-Izquierdo, 2008). En particular, la acción mecánica de la masticación influye en la degradación de las células de las frutas con la liberación de los CF contenidos en las vacuolas y los asociados a la pared celular. Otra parte de los CF presentes en la matriz del alimento, son desprendidos en el tracto gastrointestinal humano (Saura-Calixto, 2010). Esto ocurre por solubilización directa (37° C, pH 1-7,5) o por acción de las enzimas digestivas que hidrolizan los enlaces no covalentes entre los grupos hidroxilo de los CF y los grupos polares de las moléculas polisacáridas (Palafox-Carlos *et al.*, 2011). No obstante, dependiendo de su tamaño y grado de conjugación sólo una parte de los CF son capaces de atravesar la pared intestinal (Saura-Calixto, 2010).

Los CF de bajo peso molecular así como los polifenoles asociados a la FD, no están biodisponibles en el intestino delgado humano (Saura-Calixto, 2010). Por tal motivo, estas moléculas llegan al colon en asociación con la FD, donde se convierten en sustratos fermentables para la microflora bacteriana, junto con los hidratos de carbono digeribles y proteínas (Manach *et al.*, 2005). Los CF no fermentados permanecen en el lumen del colon, donde pueden contribuir a un medio ambiente antioxidante al eliminar los radicales libres y contrarrestar los efectos de los compuestos pro-oxidantes de la dieta (Selma *et al.*, 2009). Por otra parte, algunos polifenoles pueden ser excretados en las heces (Saura-Calixto *et al.*, 2007) (Figura 3). Desde el

punto de vista nutricional, es evidente que las enzimas digestivas no liberan completamente a los polifenoles asociados a la FD, lo que sugiere que una fracción importante de polifenoles no será biodisponible en el intestino y sólo después de la fermentación bacteriana del colon podría ser absorbida (Pérez-Jiménez *et al.*, 2009).

La biodisponibilidad limitada de los CF presentes en los alimentos a partir de matrices de frutas está determinada por su baja bioaccesibilidad en el intestino delgado, debido a las interacciones físicas y químicas de los antioxidantes con la FD de las paredes celulares.

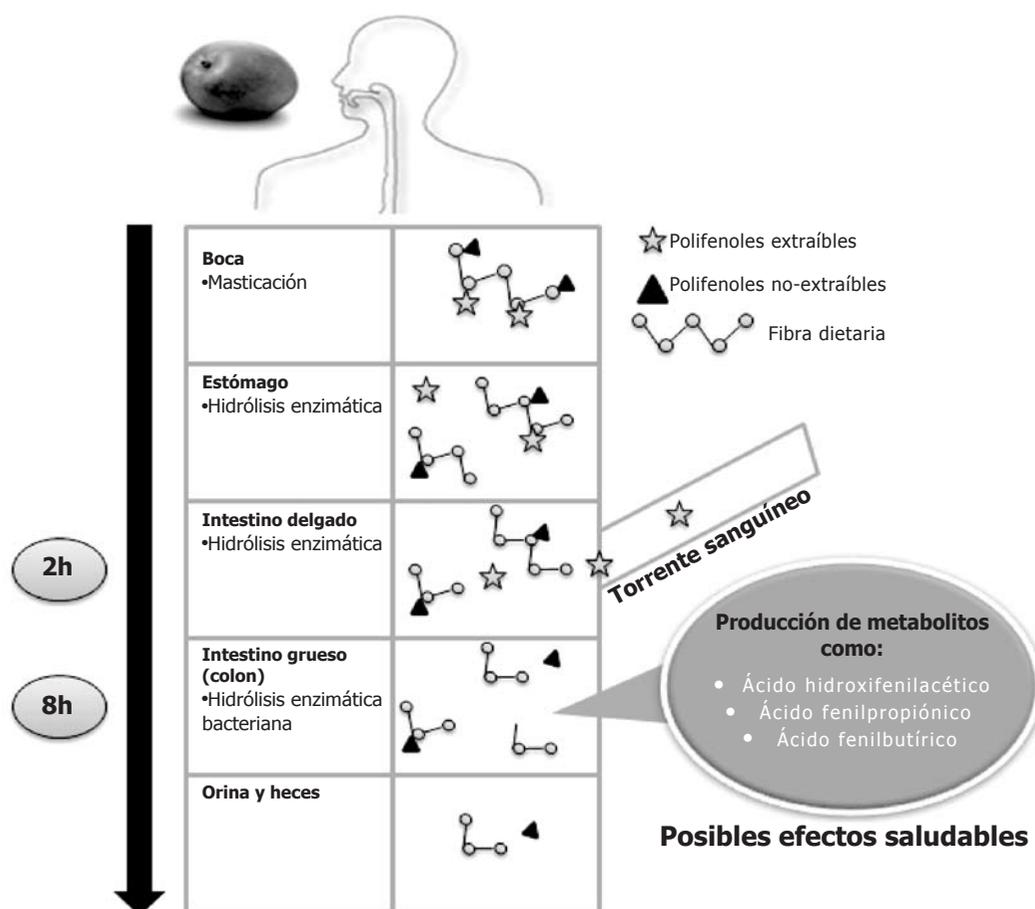


Figura 3. Biodisponibilidad de compuestos fenólicos asociados a la fibra dietaria (Modificado de Palafox-Carlos, 2011).

Figure 3. Bioavailability of phenolic compounds associated with dietary fiber (Modified from Palafox-Carlos, 2011).

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los estudios publicados recientemente, se puede concluir que existe una estrecha asociación entre la FD y los CF presentes en la matriz de frutas. Esta asociación se da por diferentes interacciones físicas como fuerzas hidrofóbicas y enlaces covalentes. Este tipo de interacciones puede afectar la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los CF, pudiendo repercutir sobre su potencial antioxidante. Sin embargo, la asociación entre estas moléculas permite que los CF pasen a través del tracto gastrointestinal, en donde al ser absorbidos o fermentados presentan propiedades prometedoras en la prevención de factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares e intestinales. Los CF asociados a la FD han sido ignorados en estudios químicos, nutricionales y epidemiológicos; sin embargo, estos pueden contribuir significativamente a los efectos saludables atribuidos a una dieta rica en frutas y vegetales.

REFERENCIAS

- Adiotomre J., M. Eastwood, C.A. Edwards y W.G. Brydon. 1990. Dietary fiber: *in vitro* methods that anticipate nutrition and metabolic activity in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 52(1):128-135.
- Ajila C., M. Aalami, K. Leelavathi y U. Rao. 2010. Mango peel powder: A potential source of antioxidant and dietary fiber in macaroni preparations. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 11(1):219-224.
- Alamed J., W. Chaiyasit, D.J. McClements y E.A. Decker. 2009. Relationships between free radical scavenging and antioxidant activity in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(7):2969-2976.
- Anderson J.W., P. Baird, R.H. Davis Jr, S. Ferreri, M. Knudtson, A. Koraym, V. Waters y C.L. Williams. 2009. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*. 67(4):188-205.
- De La Rosa L.A., E. Alvarez-Parrilla y G. González-Aguilar. 2010. Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry, Nutritional Value and Stability. Wiley-Blackwell. pp 367.
- Del Rio D., L. Costa, M. Lean y A. Crozier. 2010. Polyphenols and health: What compounds are involved? *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 20(1):1-6.
- Denny A. y J. Buttriss. 2007. Plant foods and health: Focus on plant bioactives. European Food Information Resource (EuroFIR) Consortium Funded under the EU 6th Framework Food Quality and Safety Thematic Priority. Contract FOOD-CT-2005-513944.
- DeVries J.W. 2004. Dietary fiber: the influence of definition on analysis and regulation. *Journal of AOAC International*. 87(3):682-706.
- Di Carlo G., N. Mascolo, A.A. Izzo y F. Capasso. 1999. Flavonoids: old and new aspects of a class of natural therapeutic drugs. *Life Sciences*. 65(4):337-353.
- Díaz-Rubio M.E., J. Pérez-Jiménez y F. Saura-Calixto. 2008. Dietary fiber and antioxidant capacity in *Fucus vesiculosus* products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 60(52):23-34.
- Díaz-Rubio M.E., J. Pérez-Jiménez y F. Saura-Calixto. 2009. Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. *Food Research International*. 42(7):840-846.
- Díaz-Rubio M.E. y F. Saura-Calixto. 2006. Dietary fiber in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*. 57(1):69.
- Faulks R.M. y S. Southon. 2005. Challenges to understanding and measuring carotenoid bioavailability. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*. 1740(2):95-100.
- Figuerola F., M.L. Hurtado, A.M. Estévez, I. Chiffelle y F. Asenjo. 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*. 91(3):395-401.
- Furr H.C. y R.M. Clark. 1997. Intestinal absorption and tissue distribution of carotenoids. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 8(7):364-377.
- Gonzalez-Aguilar G., R. Robles-Sanchez, M. Martinez-Tellez, G. Olivas, E. Alvarez-Parrilla y L. De la Rosa. 2008. Bioactive compounds in fruits: health benefits and effect of storage conditions. *Stewart Postharvest Review*. 4(3):1-10.
- Gonzalez-Aguilar G.A., J.A. Villa-Rodriguez, J.F. Ayala-Zavala y E.M. Yahia. 2010. Improvement of the antioxidant status of tropical fruits as a secondary response to some postharvest treatments. *Trends in Food Science & Technology*. 21(10):475-482.
- Holst B. y G. Williamson. 2008. Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology*. 19(2):73-82.
- Jimenez-Escrig A., M. Rincón, R. Pulido y F. Saura-Calixto. 2001. Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 49(11):5489-5493.
- Lafay S. y A. Gil-Izquierdo. 2008. Bioavailability of phenolic acids. *Phytochemistry Reviews*. 7(2):301-311.
- Lunn J. y J. Buttriss. 2007. Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin*. 32(1):21-64.
- Manach C., A. Scalbert, C. Morand, C. Rémésy y L. Jiménez. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 79(5):727.
- Manach C., G. Williamson, C. Morand, A. Scalbert y C. Rémésy.

2005. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 81(1):230-242.
- Metzler B. y R. Mosenthin. 2008. A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. *Asian-Aust. Journal of Animal Science*. 21(4):603-615.
- Michaelides J. y K. Cooper. 2005. Dietary Fibre: Part 2. *Food in Canada*. pp 47-49.
- Montagne L., J. Pluske y D. Hampson. 2003. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*. 108(1-4):95-117.
- Palafox-Carlos H., J.F. Ayala-Zavala y G.A. González-Aguilar. 2011. The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*. 76(1):R6-R15.
- Parada J. y J. Aguilera. 2007. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*. 72(2):21-32.
- Pérez-Jiménez J., J. Serrano, M. Taberero, S. Arranz, M.E. Díaz-Rubio, L. García-Diz, I. Goñi y F. Saura-Calixto. 2009. Bioavailability of phenolic antioxidants associated with dietary fiber: plasma antioxidant capacity after acute and long-term intake in humans. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*. 64(2):102-107.
- Porrini M., P. Riso, M. Cantile, G. Schiavo, L. Terracciano, C. Cillo, F. Rubba, A. Mattiello, P. Chiodini y E. Celentano. 2008. Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: a critical appraisal. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases (NMCD)*. 18(10):647-706.
- Prosky L. 2000. What is dietary fiber? *Journal of AOAC International*. 83(4):985-987.
- Sánchez-Alonso I., A. Jiménez-Escrig, F. Saura-Calixto y A. Borderías. 2007. Effect of grape antioxidant dietary fibre on the prevention of lipid oxidation in minced fish: Evaluation by different methodologies. *Food Chemistry*. 101(1):372-378.
- Saura-Calixto F. 2010. Dietary Fiber as a Carrier of Dietary Antioxidants: An Essential Physiological Function. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59(1):43-49.
- Saura-Calixto F. y M.E. Diaz-Rubio. 2007. Polyphenols associated with dietary fibre in wine: A wine Polyphenols gap? *Food Research International*. 40(5):613-619.
- Saura-Calixto F., J. Serrano y I. Goni. 2007. Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry*. 101(2):492-501.
- Saura-Calixto F., J. Pérez Jiménez, S. Touriño, J. Serrano, E. Fuguet, J.L. Torres y I. Goñi. 2010. Proanthocyanidin metabolites associated with dietary fibre from in vitro colonic fermentation and proanthocyanidin metabolites in human plasma. *Molecular Nutrition & Food Research*. 54(7):939-946.
- Selma M.V., J.C. Espin y F.A. Tomás-Barberán. 2009. Interaction between phenolics and gut microbiota: role in human health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(15):6485-6501.
- Serrano J., R. Puupponen Pimiä, A. Dauer, A.M. Aura y F. Saura Calixto. 2009. Tannins: Current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular Nutrition & Food Research*. 53(S2):310-329.
- Shim S.M., M.G. Ferruzzi, Y.C. Kim, E.M. Janle y C.R. Santerre. 2009. Impact of phytochemical-rich foods on bioaccessibility of mercury from fish. *Food Chemistry*. 112(1):46-50.
- Soobrattee M., V. Neergheen, A. Luximon-Ramma, O. Aruoma y T. Bahorun. 2005. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: mechanism and actions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 579(1-2):200-213.
- Sudha M., V. Baskaran y K. Leelavathi. 2007. Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*. 104(2):686-692.
- Tagliacuzzi D., E. Verzelloni, D. Bertolini y A. Conte. 2010. *In vitro* bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*. 120(2):599-606.
- Vincent H., C. Bourguignon y A. Taylor. 2010. Relationship of the dietary phytochemical index to weight gain, oxidative stress and inflammation in overweight young adults. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. 23(1):20-29.

