



Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos

A. P. Porras - Loaiza^{*} y A. López – Malo

*Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Universidad de las Américas Puebla.
San Andrés Cholula, Pue., México*

Resumen

Los componentes fenólicos constituyen uno de los grupos de micronutrientes presentes en el reino vegetal, que forman parte importante de la dieta humana. Dentro de la clasificación general se encuentran los fenoles, ácidos fenólicos y flavonoides, que constituyen un amplio grupo de sustancias químicas consideradas metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y propiedades. Existe un gran interés en estudiarlos debido a sus propiedades antioxidantes, su participación en procesos sensoriales de los alimentos naturales y procesados, además de sus posibles aplicaciones benéficas para la salud humana, tales como el tratamiento y prevención del cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras patologías de carácter inflamatorio. Esta revisión ofrece una visión de los grupos más importantes de compuestos fenólicos existentes en los alimentos vegetales, su metabolismo y biodisponibilidad. Al mismo tiempo se hace relevante la importancia de continuar con estudios que permitan poner de manifiesto el mecanismo de acción, así como la constitución intrínseca de los alimentos que contienen grupos fenólicos, utilizando sus características antioxidantes para el beneficio del ser humano.

Palabras clave: fenólicos, polifenoles, flavonoides, cumarinas, lignanos, taninos, antioxidante.

Abstract

Phenolic compounds belong to the micronutrients group in plants, being an important group of human diet. Within the general classification of these are phenols, flavonoids and phenolic acids that are part of a large group of chemicals, considered secondary plant metabolites with different chemical structures and properties. There is a great interest to study them, due to its antioxidant properties, its influence in the sensory aspect of natural and processed foods, in addition, to its beneficial applications for human health, such as the treatment and preventing cancer, cardiovascular disease and other inflammatory pathologies. This review provides an overview of the major groups of phenolic compounds in plant foods, their metabolism and bioavailability. At the same time, it is of relevant priority the research on this subjects in order to clarify the mechanism of action, as well as the intrinsic constitution of food matter that contains phenolic antioxidants, using its features for the benefit of the human health.

Keywords: phenolic, polyphenols, flavonoids, cumarinic, lignin, tanin, antioxidant.

^{*} Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: rosario.sotodo@udlap.com

Introducción

Los fenoles son compuestos químicos que se encuentran ampliamente distribuidos en las frutas y vegetales. Originan una de las clases más importantes de metabolitos secundarios en plantas, en su mayoría derivados de la fenilalanina y en menor cantidad de la tirosina (López, 2008). Estos compuestos constituyen un amplio grupo de sustancias, presentes en las plantas con diferentes estructuras químicas y actividades metabólicas. Existen más de 8000 compuestos fenólicos identificados (Shahidi y Nacz, 1995).

Los compuestos fenólicos están relacionados con la calidad sensorial de los alimentos de origen vegetal, frescos y procesados. Actualmente este grupo de compuestos fitoquímicos es de gran interés nutricional por su contribución al mantenimiento de la salud humana (Clifford, 1992).

Además, los compuestos fenólicos intervienen como antioxidantes naturales en los alimentos, por lo que la obtención y preparación de productos con un alto contenido de estos compuestos supone una reducción en la utilización de aditivos antioxidantes, pudiendo incluso englobarlos dentro de los llamados alimentos funcionales. Desde un punto de vista nutricional, esta actividad antioxidante se asocia con su papel protector en las enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Berra *et al.*, 1995; Posada *et al.*, 2003).

El comportamiento antioxidante de los compuestos fenólicos parece estar relacionado con su capacidad para quelar metales, ya sea manteniendo o incrementando su actividad catalítica o reduciéndolos (Decker, 1997).

Actualmente las hierbas culinarias cada vez son más populares por sus características saborizantes en gran cantidad de alimentos. Además, son fuentes importantes de compuestos fenólicos; sin embargo los datos de composición específica son insuficientes enfatizando la necesidad de ser estudiados (Zheng y Wang, 2001).

El propósito de este artículo es presentar una breve revisión sobre los compuestos fenólicos, su estructura química, clasificación, funciones e importancia, para conocer de manera específica sus propiedades.

Revisión bibliográfica

Estructura química y clasificación

Los tres grupos más importantes en los que se dividen los compuestos fenólicos son: flavonoides, ácidos fenólicos y polifenoles. Químicamente los fenoles pueden ser definidos como sustancias que poseen un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo, incluyendo a sus derivados funcionales.

Las plantas y alimentos contienen una amplia variedad de derivados fenólicos incluyendo fenoles simples, fenilpropanoides, derivados del ácido benzoico, flavonoides, estilbenos, taninos, lignanos y ligninas; además los fenoles unidos a una cadena larga de ácidos carboxílicos son componentes de la suberina y de la cutina (Fig.1); estas sustancias son esenciales para el crecimiento y la reproducción de plantas. Dentro de otras propiedades que se les confiere a los fenoles son la función de antibióticos, uso como pesticidas naturales, agentes protectores de los rayos UV y aislantes en las paredes celulares (Shahidi y Nacz, 2004).

Las antocianinas son otro grupo derivado de los fenoles, las cuales están distribuidas ampliamente en alimentos, especialmente en frutas y tejidos florales; son utilizadas como nutraceuticos en su forma seca y pulverizada. Son responsables del color rojo, azul, violeta y morado de casi todas las plantas, utilizándose en la industria alimenticia como colorantes (Shahidi y Naczsk, 2004).

Lo anterior ha generado el interés de estudiar y cuantificar los compuestos y la generación de metabolitos a partir de los grupos fenólicos, midiendo su capacidad antioxidante entre otras propiedades (Gil *et al.*, 2002).

Fenoles, ácidos fenólicos y ácidos fenilacéticos

Los fenoles simples como el fenol, cresol, timol y resorcinol están ampliamente distribuidos entre todas las especies vegetales. Igualmente, los ácidos fenólicos como el gálico, vainillínico, *p*-hidroxibenzoico, y los aldehídos como la vainillina, también son abundantes en plantas superiores y helechos. Por el contrario, existe poca información en la literatura científica sobre los ácidos fenilacéticos en los vegetales

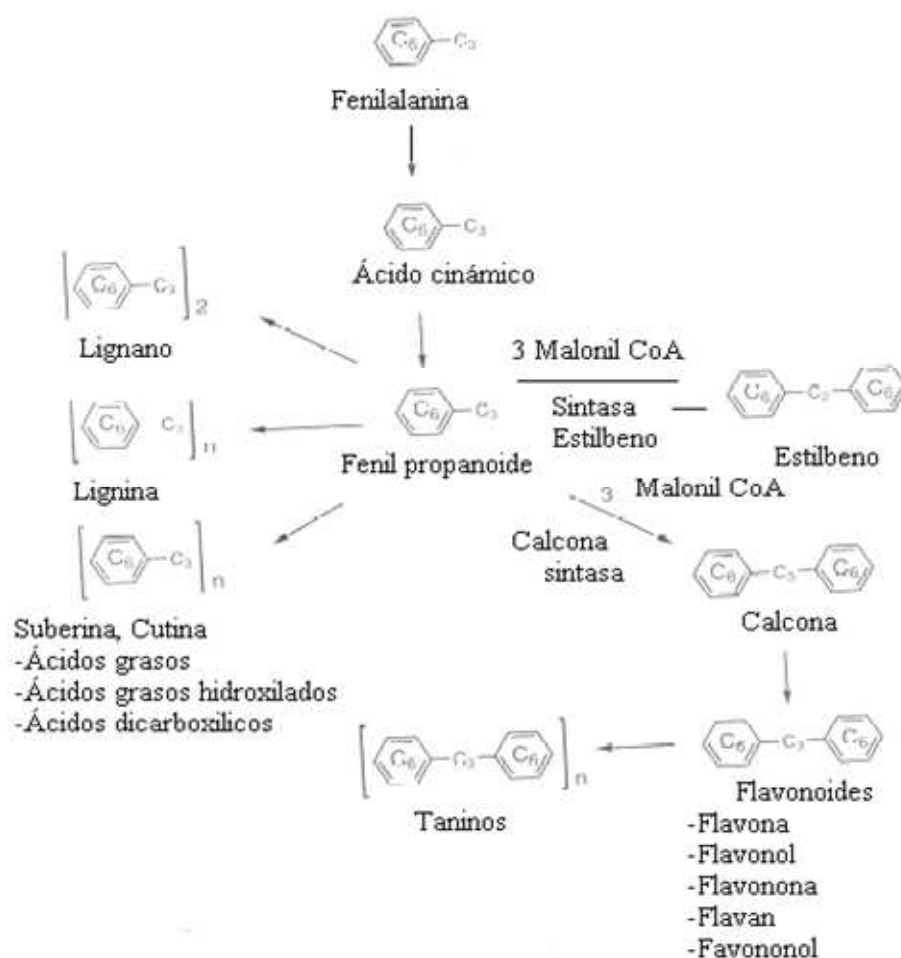


Fig. 1. Producción de fenilpropanoides, estilbenos, lignanos, ligninas, suberinas, cutinas, flavonoides y taninos de la fenilalanina. Adaptado de Shahidi y Naczsk (2004).

Tabla I. Radicales de algunos ácidos fenólicos ^a

Ácido	Nombre científico	Radical 1	Radical 2	Radical 3
<i>p</i> -Hidroxibenzoico	4-Hidroxibenzoico	H	OH	H
Protocatecoico	3,4-Dihidroxibenzoico	OH	OH	H
Vainillínico	4-Hidroxi-3-Metoxibenzoico	OCH ₃	OH	H
Siríngico	3,5-Dimetoxibenzoico	OCH ₃	OH	OCH ₃
Gálico	3,4,5-Trihidroxibenzoico	OH	OH	OH

^a Shahidi y Naczk (2004)(Martínez *et al.*, 2000).

Los ácidos fenólicos presentan generalmente actividad antioxidante en frutas, verduras y otras plantas (Zheng y Wang, 2001). En la Tabla I, se muestran algunos de los ácidos fenólicos de interés en alimentos, con sus respectivos radicales.

Ácidos cinámicos, cumarinas e isocumarinas

Los ácidos cinámicos (cafeico, ferúlico, *p*-cumárico y sináptico) se encuentran raramente libres, ya que por regla general, se hallan presentes en forma de derivados. Así por ejemplo, el ácido cafeico se encuentra esterificado con el ácido quínico como ácido clorogénico, isoclorogénico, neoclorogénico y criptoclorogénico. Las cumarinas e isocumarinas se encuentran generalmente en forma de glicósido, mientras que los cromonoles son menos conocidos y se forman a partir de las antocianidinas ante el incremento del pH del medio (Martínez *et al.*, 2000).

Lignanos y neolignanos

Los lignanos, otra subclase de polifenoles biológicamente activos, tienen un puente de cuatro carbonos y dan origen a muchas y diferentes estructuras químicas presentes en la naturaleza (Sarría, 2005).

Estos son metabolitos de plantas de bajo peso molecular formados por el acoplamiento oxidativo de unidades de hidroxifenilpropano, las cuales se unen mediante puentes de hidrógeno. Los lignanos constituyen monómeros y dímeros del ácido hidroxicinámico y también del alcohol cinámico, propenilbenceno y alilbenceno. El término lignano se aplica cuando el compuesto está formado a partir de uniones entre el ácido y/o el alcohol, mientras que cuando se unen las moléculas de propenilbenceno y/o alilbenceno la molécula resultante se denomina neolignano (Martínez *et al.*, 2000).

Taninos

Muchos flavonoides de los alimentos se polimerizan en las propias plantas o como resultado del procesamiento de los alimentos. Estos polímeros se conocen como taninos, los cuales son responsables de precipitar algunas proteínas y alcaloides para convertir la piel del animal en cuero (Sarría, 2005).

Los taninos son compuestos fenólicos hidrosolubles con un peso molecular comprendido entre 500 a 3000 Da (Daltons, unidad de masa atómica). Estos compuestos contienen un número importante de grupos hidroxilos entre otros grupos funcionales, siendo capaces de unirse a proteínas y otras macromoléculas (Martínez *et al.*, 2000).

Los taninos se clasifican en dos grupos hidrolizables y no hidrolizables o condensados, estos últimos tienen como núcleo central un alcohol polihídrico como la glucosa y grupos hidroxilo que se encuentran esterificados parcial o completamente ya sea con el ácido gálico o el ácido hexahidroxidifénico, formando los galotaninos y elagitaninos respectivamente (Chung *et al.*, 1998). Los taninos condensados también llamados proantocianidinas constan de unidades monoméricas de flavanos ligados por medio de carbono-carbono y uniones éter. Se han identificado quince subclases de proantocianidinas, pero sin embargo, sólo tres tienen hasta el momento, importancia en alimentos de origen vegetal para humanos; procianidinas (catequina y sus polímeros), prodelfinidinas (galocatequina y sus polímeros) y propelargonidinas (afselecina y sus polímeros) o sus mezclas. En estos taninos, las unidades monoméricas están primariamente unidas por medio de uniones $4 \rightarrow 6$ ó $4 \rightarrow 8$ carbono-carbono (unión β), o por medio de uniones $4 \rightarrow 8$ carbono-carbono y $2 \rightarrow 7$ uniones éter (uniones α). Se han identificado otras uniones aisladas en plantas no alimenticias o constituyendo compuestos menores en algunos alimentos, como en el cacao. Los taninos pueden variar desde dímeros hasta grandes polímeros. Se encuentran en una amplia variedad de alimentos como manzanas, bayas, chocolate, vinos rojos, frutos secos y otros (Sarría, 2005).

Una segunda clase de taninos presentes en alimentos son los derivados que se forman principalmente bajo condiciones enzimáticas oxidativas y atmosféricas o durante el procesamiento de los alimentos, como por ejemplo los que se encuentran en vinos rojos,

té y café. A causa de la complejidad de los compuestos, ha sido difícil utilizar una estricta denominación química y con frecuencia se les han asignado nombres populares (Clifford, 1992). De los téis oolong y negro se derivan las teoflavinas y derivados del flavanol. La característica de las teoflavinas es un anillo de siete miembros.

Otra clase de taninos hidrolizables en los alimentos, constan de ácido gálico o ácido elágico, al que se esterifica un poliol no aromático, como el azúcar o el ácido quínico. En esta clase de taninos, también pueden producirse otras uniones (C-C ó C-O-C), para formar dímeros y complejos superiores, que tienen varios grados de resistencia a la fractura química. Se ha demostrado el efecto de la mejora en las características sensoriales de los vinos, derivado de la acción de los taninos hidrolizables (Sarría, 2005).

Flavonoides

En la Fig. 2 se presentan algunos compuestos bioactivos de tipo flavonoides presentes en alimentos, también denominados fitonutrientes. Son una subclase de los polifenoles que se caracterizan por poseer estructuras C6-C3-C6 y dos o más anillos aromáticos, y por tener cada uno, al menos un hidroxilo aromático y conectar con un puente de carbono como lo muestra la Fig. 3. Para los flavonoides, este puente consta de tres carbonos que se combinan con un oxígeno y dos carbonos de uno de los anillos aromáticos (anillo A) para formar un tercer anillo de 6-miembros (anillo C). Los flavonoides se dividen, a su vez, en subclases basadas en la conexión del anillo B al anillo C, así como en el estado de oxidación y en los grupos funcionales del anillo C, como se muestra en la Fig. 4 (Shahidi y Naczk, 2004).

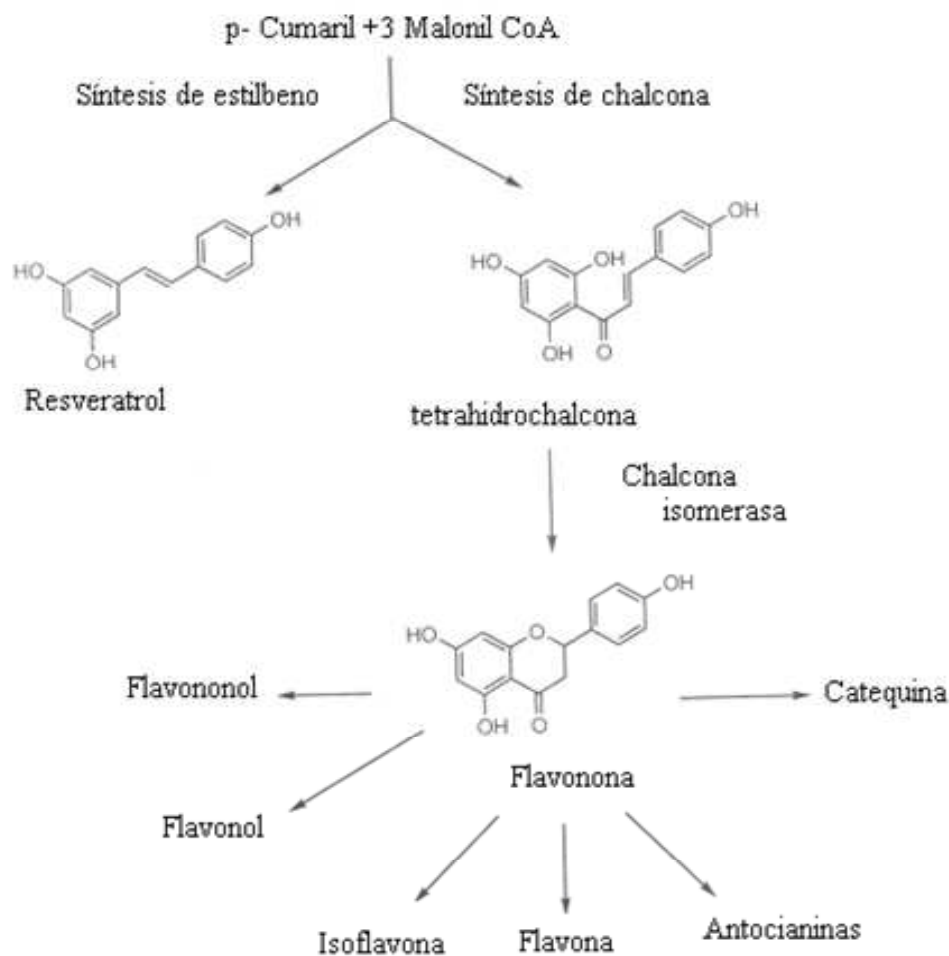


Fig. 2. Producción de flavonoides y estilbenos a partir de fenilpropanoides. Adaptado de Shahidi y Naczki (2004).

La clasificación de los flavonoides en base a sus variaciones estructurales es:

1. Con doble enlace entre las posiciones 2 y 3: a) flavonas: con H en la posición 3 y b) flavonoles: con OH en la posición 3.
2. Sin doble enlace entre las posiciones 2 y 3: a) flavononas: con H en la posición 3 y b) flavonololes: con OH en la posición 3.
3. Chalconas: con el anillo C abierto.

4. Isoflavonoides: con el anillo B en la posición 3 (3-fenil-gamma-cromona).

Existen también dímeros de flavonoides, denominados diflavonoides (Sarría, 2005). En general los flavonoides que contienen múltiples grupos hidroxilo tienen mayor actividad antioxidante que los ácidos fenólicos contra los radicales peróxidos. Sin embargo el flavonoide glicosidasa posee una baja capacidad antioxidante (Zheng y Wang, 2001).

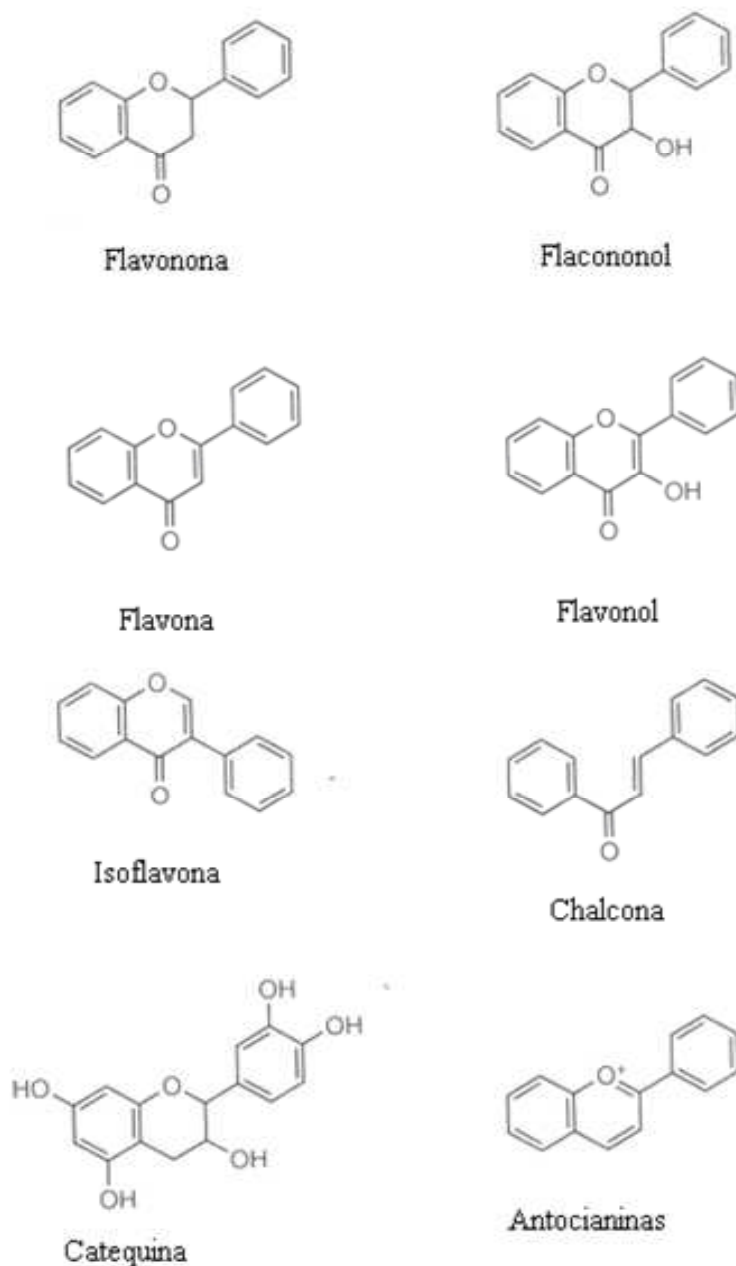


Fig.3. Estructuras químicas de diversos compuestos C6-C3-C6 encontrados en alimentos y nutraceuticos. Adaptado de Shahidi y Naczk (2004).

En la Tabla II se presenta el contenido en flavonoides y taninos de algunos alimentos. En general estos datos muestran que una porción de frutas de manzanas o arándanos, de chocolate negro y de vino rojo tienen un contenido, de moderado alto, en flavonoides

y/o taninos. Sin embargo, una porción de brócoli o de zumo de naranja proporciona bajas concentraciones de estos fitonutrientes (Sarría, 2005).

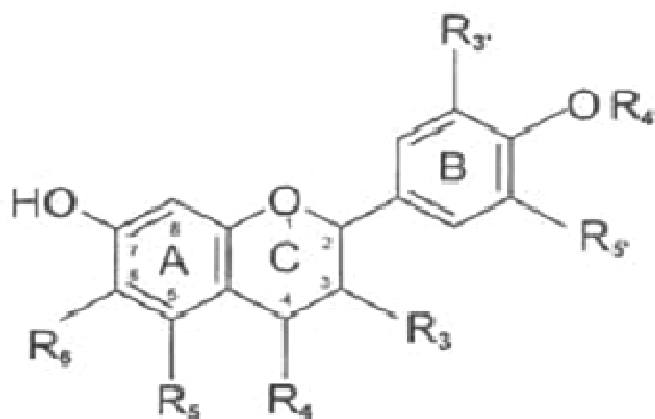


Fig. 4. Estructura general y numeración de los flavonoides de alimentos. Adaptada de Shahidi y Naczk (2004).

Compuestos fenólicos presentes en vegetales

Hay un gran interés en conocer el potencial antioxidante de las plantas con compuestos fenólicos como los flavonoides y como pueden reducir la oxidación de las células. Estudios recientes muestran que algunos grupos fenólicos aparecen en el plasma y cuerpo de estas plantas, por lo que se podrían considerar nutrientes importantes. Sin embargo, esto no se puede establecer con certeza hasta que sus efectos en las marcas biológicas del proceso oxidativo sean establecidas (Duthie y Crozier, 2000).

Los flavonoides son los responsables del color natural de los alimentos, como las

antocianinas de los colores rosa, escarlata, rojo, malva, azul y violeta de los vegetales, jugos de frutas y vinos. Numerosas sustancias encontradas en los vegetales, consideradas como componentes no nutritivos del alimento se comportan como antioxidantes efectivos en estudios *in vitro* e *in vivo*. Las flavononas son los compuestos responsables del sabor amargo en los cítricos (Martínez *et al.*, 2000).

Otros compuestos fenólicos, entre los que destaca el ácido clorogénico, han sido asociados al sabor amargo de la cerveza, el vino y la sidra. Mientras que los ácidos hidroxycinámicos y sus derivados son responsables del sabor amargo de los

Tabla II. Flavonoides y taninos contenidos en algunos alimentos (mg/porción)^a

Alimento	Proantocianidinas	Antocianidinas	Flavan-3-oles	Flavonoles	Flavanonas	Tearubiginas
Árandano	131	82	1	3	-	-
Brócoli Crudo	-	-	0	3	-	-
Chocolate negro	165	-	24	-	-	-
Manzana con piel	147	-	13	6	-	-
Naranja, zumo	-	-	-	>1	28	-
Té negro, infusión	-	-	6	10	-	116
Té verde, infusión	-	-	304	12	-	3
Vino blanco	2 a 3	-	3 a 12	-	-	-
Vino rojo	77 a 103	9 a 405	10 a 20	10	-	-

^a Adaptado de Sarriá (2005)

arándanos. El pardeamiento de las frutas y vegetales está también relacionado con el contenido de compuestos fenólicos. Así, la formación de pigmentos amarillos y marrones durante la manipulación y procesamiento de los alimentos vegetales, está controlada por los niveles de polifenoles, la presencia de oxígeno y la actividad de la polifenoloxidasas. Esta enzima contiene cobre y cataliza la reacción entre un grupo fenol y el oxígeno para dar agua y quinona, compuesto responsable de los pigmentos amarillos y marrones (Martínez *et al.*, 2000).

Efecto sobre macro nutrientes

Algunos polifenoles son considerados inhibidores de nutrientes ya que pueden formar complejos con las proteínas, almidón y enzimas digestivas, causando una reducción en el valor nutritivo de los alimentos (Martínez *et al.*, 2000). Este efecto se ha asociado generalmente a los taninos hidrolizados que se encuentran en cantidades trazas en los alimentos consumidos habitualmente; se considera a los taninos condensados o proantocianidinas como los principales inhibidores de la absorción de nutrientes de entre todos los polifenoles. Numerosos estudios realizados en animales de granja y experimentación, para evaluar el efecto de los taninos sobre las proteínas, ha mostrado que estos compuestos intervienen negativamente sobre la ingesta, la tasa de crecimiento, la digestibilidad de las proteínas y la disponibilidad de los aminoácidos, pudiendo incluso llegar a ocasionar la muerte (Martínez *et al.*, 2000).

Para que se produzca la unión entre los taninos y las proteínas se requieren moléculas con un peso superior a 350 Da, por lo que un flavonoide dimérico o una molécula de ácido elágico serían suficientes para formar este complejo. La unión se realiza mediante enlaces por puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilos de los

taninos y los grupos carboxilos de los enlaces peptídicos de las proteínas, presentando los taninos una alta afinidad por las proteínas ricas en prolina (Martínez *et al.*, 2000).

Además del efecto inhibitorio en la absorción de los nutrientes, la formación de complejos entre los taninos y las proteínas supone un gran problema tecnológico, ya que pueden dar lugar a la formación de dispersiones coloidales, que pueden llegar a hacerse incluso más grandes con la sedimentación. Este hecho se ha observado en bebidas como cervezas, vinos, zumos de frutas, cafés y té, dando lugar a la aparición de turbidez, afectando la vida útil de los productos (Martínez *et al.*, 2000).

Los taninos pueden unir proteínas endógenas en el intestino, principalmente enzimas digestivas, lo que afecta a la absorción de otros macronutrientes, debido principalmente a la inhibición enzimática de procesos digestivos y de las enzimas microbianas que intervienen en la fermentación (Martínez *et al.*, 2000).

Efecto sobre biodisponibilidad de minerales

Cada vez se dispone de mayor evidencia sobre la absorción y la biodisponibilidad de los flavonoides (Ross y Kasum, 2002).

Los polifenoles están reconocidos como inhibidores de la absorción de distintos minerales, ya que tienen la capacidad de quelar cationes divalentes, principalmente Fe y Zn, a través de su unión a los grupos hidroxilos y carboxilos, reduciendo la biodisponibilidad de los mismos en el intestino. Los compuestos fenólicos son liberados de los alimentos durante la digestión y pueden unirse al Fe en el lumen intestinal haciéndolo no biodisponible. La capacidad de quelar este catión varía de unos compuestos fenólicos a otros, al estar directamente relacionada con la estructura

química. Así, la reducción en la biodisponibilidad del Fe se encuentra relacionada con la presencia en la dieta de los flavonoides monoméricos, catequinas y ésteres del ácido gálico, que se hallan en el té, de las catequinas del cacao, del ácido clorogénico del café, de los ácidos fenólicos, flavonoides monoméricos y poliméricos del vino y de los taninos del sorgo y de las habas (Lunte *et al.*, 1988). Estudios realizados por Hurrell *et al.*, (1997), han demostrado que la presencia de polifenoles en té y en distintas infusiones de hierbas, causan una reducción en la biodisponibilidad del Fe del pan enriquecido con sulfato ferroso, cuando se administran de forma conjunta durante el desayuno, siendo esta reducción más evidente en el té que en otras infusiones como consecuencia del mayor contenido en polifenoles (Martínez *et al.*, 2000).

El efecto de los polifenoles sobre la absorción de Zn y Cu ha recibido poca atención, aunque la información disponible sugiere que tales compuestos pueden quelar dichos minerales, afectando su biodisponibilidad. Estudios realizados por Ganjii y Kies (1994), mostraron que el consumo de té provocaba un efecto no significativo sobre el balance de Zn en humanos. Esto fue confirmado con estudios posteriores realizados en ratas no mostraron efecto alguno de los polifenoles presentes en el té sobre la absorción de Zn (Martínez *et al.*, 2000).

De forma general, los polifenoles estudiados en la bibliografía científica se pueden ordenar del siguiente modo, con relación a su mayor o menor efecto sobre la biodisponibilidad mineral: ácido gálico > ácido clorogénico = ácido cafeico > catequinas (Martínez *et al.*, 2000).

Se ha investigado acerca de la biodisponibilidad *in vitro* de los polifenoles del cacao. Se evaluó la absorción de 80g de

cacao semidulce rico en procianidinas y después de dos horas de su ingestión se presentó un incremento significativo en los niveles de epicatequina plasmática.

De igual manera dentro del mismo periodo se presentó un incremento en la capacidad antioxidante del plasma a un 31% y una reducción de 40% de las sustancias óxido-reactivas. Estos resultados apoyan el concepto de que los flavonoides del chocolate son bien absorbidos y que su consumo disminuye las concentraciones plasmáticas de sustancias oxidantes (Balasundram *et al.*, 2005).

Investigaciones recientes se han centrado en la biodisponibilidad de los polifenoles mediante el estudio de la ingesta y excreción en sus formas conjugadas. Pocas de éstas enfatizan la presencia de metabolitos *in vivo*, formados vía degradación por las enzimas de las bacterias presentes en el colon, para después ser metabolizadas en el hígado. Estos metabolitos son: glucuronidas de 3-hidroxifenilacético, ácido vanílico, homovanílico, e isoferúlico, así como los ácidos propiónicos 3-(3-metoxi-4-hidroxifenil), 3-(3-hidroxifenil), y el ácido 3-hidroxipúrico, en contraste con los polifenoles conjugados como las glucuronidas de la quercetina, naringenina, ácido sinápico, ferúlico y *p*-cumárico, que fueron detectados en menores concentraciones. Esto sugiere que se le debe dar mayor atención a productos que contengan derivados polifenólicos, por demostrar una función importante como componentes bioactivos *in-vivo* (Rechner *et al.*, 2003).

Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos

Un antioxidante es un compuesto químico que hallándose presente a bajas concentraciones con respecto a las de un

sustrato oxidable, retarda o previene la oxidación de dicho sustrato. Igualmente se definen como compuestos que protegen el sistema celular de efectos potencialmente perjudiciales en los procesos que puedan causar una oxidación excesiva (Posada *et al.*, 2003).

En el organismo existen sistemas biológicamente activos conocidos como antioxidantes que actúan para proteger y contribuir al equilibrio fisiológico garantizando la vida. Los estudios epidemiológicos, experimentales y clínicos han demostrado que los antioxidantes proveen una eficacia biológica en la prevención y en la disminución de los efectos negativos de las enfermedades producidas por el estrés oxidativo (Posada *et al.*, 2003).

Los antioxidantes deben estar presentes en el organismo en una concentración suficiente que permita prevenir la acumulación de elementos prooxidantes, estado conocido como estrés oxidativo. El antioxidante al

reaccionar con el radical libre le cede un electrón, oxidándose a su vez y transformándose en un radical libre débil no tóxico, que en algunos casos como el de la vitamina E, puede regenerarse a su forma primitiva por la acción de otros antioxidantes (Posada *et al.*, 2003).

La actividad antioxidante de muchas sustancias depende del metabolismo celular y son conocidas como antioxidantes endógenos, como lo muestra la Tabla III, entre los cuales están la superóxido dismutasa, las catalasas y la glutathion peroxidasa. También existen factores nutricionales conocidos como antioxidantes exógenos, siendo los más estudiados el alfa tocoferol, el beta-caroteno, el ácido ascórbico y los polifenoles.

Es importante destacar que algunos minerales como el hierro, el zinc, el cobre, el selenio y el manganeso actúan como cofactores para la producción de antioxidantes endógenos (Posada *et al.*,

Tabla III . Clasificación de antioxidantes exógenos y endógenos ^a

Antioxidantes exógenos	Antioxidantes endógenos
Ácido-ascórbico	Glutathión
Alfa-tocoferol	Coenzima Q
Beta-carotenos, carotenos, luteína, licopeno y zeaxantina	Proteínas: Ceutoplasmina, lactoferrina, transferrina y ferritina
Flavonoides	Bilirrubina
Cofactores enzimáticos:	Uratos
Minerales:	Enzimas:
Selenio, cobre, zinc, hierro, manganeso	Glutathion
	Glutathion reductasa
	Glutathion transferasa
	Glutathion peroxidasa
	Superóxido dismutasa
	Catalasa
	Glucosa 6-fosfato-dehidrogenasa
	NADPH-FADH+H

^aPosada *et al.* (2003)

2003).

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos es debida a sus propiedades redox, las cuales juegan un papel importante en la absorción y neutralización de radicales libres y en la descomposición de peróxidos. Existen dos tipos de antioxidantes, los naturales y los sintéticos. La desventaja de los últimos son las características carcinógenas atribuidas. La relación entre los contenidos fenólicos y la actividad antioxidante en las hierbas medicinales tuvo una correlación lineal positiva; el resultado fue el mismo para las hierbas culinarias, en especial para los tres tipos de orégano (*P. longiflora*, *Origanum Majoricum* y *O. vulgare ssp*).

Sin embargo, éstas presentaron mayor composición de grupos fenólicos y actividad antioxidante. Los resultados muestran que los componentes fenólicos presentes en las hierbas tienen una mayor capacidad antioxidante (Zheng y Wang, 2001).

Para comprender mejor la actividad fisiológica de los fenólicos, se debe tener en cuenta que la capacidad antioxidante varía en función del grupo de compuestos estudiados y de su solubilidad en fase acuosa o lipídica. Asimismo, la gran diversidad de métodos empleados proporciona diferentes resultados, difíciles de comparar. Para solventar este problema en la mayoría de los estudios científicos en los que se valora la actividad antioxidante, ya sea de compuestos puros o de extractos vegetales, se utiliza el Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7 S-tetrametilcroman-2-carboxílico), como patrón, sustancia que se caracteriza por ser un análogo hidrosoluble de la vitamina E (Owen *et al.*, 2000). Todas las clases de fenoles han demostrado ser antioxidantes potentes, como se demuestra en el aceite de oliva, relacionándolo con la actividad anti cancerígena (Owen *et al.*, 2000).

Compuestos fenólicos y su relación con diversas patologías

Las hierbas medicinales en las que se encontró mayor contenido de compuestos fenólicos fueron *Catharanthus roseus*, *Thymus vulgaris*, *Hypericum perforatum* y *Menta piperita*. La primera se ha utilizado en tratamientos de leucemia, linfomas y cáncer. *Hypericum perforatum* se ha utilizado tradicionalmente de forma externa para tratar heridas y quemaduras; como forma interna se ha utilizado como tónico, antidepresivo y tranquilizador. *Thymus. vulgaris* se utiliza de forma tópica en cremas por su acción antibacterial. *Menta piperita* es un híbrido natural, empleado en el tratamiento de cólicos, indigestión y flatulencia (Zheng y Wang, 2001).

El cacao parece ser efectivo al poseer bioactivadores que disminuyen las enfermedades cardiovasculares y el cáncer (Sarría, 2005). A los compuestos fenólicos, se les han atribuido actividades farmacológicas y médicas relacionadas con la prevención y/o mejora del estado de salud, destacando sus efectos vasodilatadores, anticarcinogénicos, antiinflamatorios, bactericidas, estimuladores de la respuesta inmune, antialérgicos, antivirales, efectos estrogénicos e inhibidores de la fosfolipasa A2, de la cicloxigenasa, lipoxigenasa, glutatión reductasa y xantina oxidasa (Jiang y Dusting, 2003).

Los polifenoles pueden interferir distintas etapas que conducen al desarrollo de tumores malignos al proteger al ADN del daño oxidativo, inactivando los carcinógenos e inhibiendo los genes mutagénicos de la actividad de las enzimas encargadas de la activación de procarcinógenos. Numerosos estudios *in vivo* con animales se han desarrollado para establecer los efectos anticarcinogénicos de los polifenoles, mediante aplicaciones tópicas, o bien con la

administración de dietas enriquecidas con polifenoles y/o con alto contenido en estos compuestos, siendo necesarias altas concentraciones para poder observar este tipo de respuesta. Diferentes estudios epidemiológicos han puesto en evidencia el efecto preventivo de los polifenoles frente al cáncer de vejiga así como frente a otros tipos de cánceres, como el de pulmón, aunque en algunos casos los resultados obtenidos pueden no ser concluyentes o ser contradictorios (Galati y O'Brien, 2004).

Estudios epidemiológicos han demostrado que la dieta que incluye compuestos fenólicos provenientes de las plantas reduce el riesgo de enfermedades coronarias del corazón. La actividad antioxidante e hipolipidémica de estos compuestos tienen importantes funciones en la prevención de la oxidación lipoproteica y en lesiones arterioscleróticas. Los compuestos fenólicos tienen efectos antiinflamatorios incluyendo la inhibición del proceso de adición de la molécula citosina y quemoquina y supresión suave de la actividad muscular entre otros efectos pro-inflamatorios. Sin embargo la evidencia terapéutica de los beneficios de estos compuestos es aún dispersa (Jiang y Dusing 2003).

Los alimentos de origen vegetal, poseen una gran diversidad de compuestos fenólicos, que pueden significar una fuente natural de antioxidantes como los flavonoides, otros como las antocianinas que mejoran las características sensoriales de color en los alimentos procesados y los taninos que contribuyen a mejorar los padecimientos de origen cardiovascular. La importancia de consumir estos productos como parte de la dieta, beneficiará a la población debido a los antioxidantes que poseen los grupos fenólicos. Con base a lo anteriormente expuesto, es importante continuar con las investigaciones relacionadas con aspectos químicos, estudios sobre la biodisponibilidad

y los efectos *in vivo* de los diferentes compuestos fenólicos presentes en la gran diversidad de alimentos endémicos de México.

Conclusión

Las investigaciones científicas reportan una gran variedad de compuestos fenólicos disponibles en el reino vegetal, así como su relación entre los polifenoles y los efectos fisiológicos positivos para la salud, como en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, cáncer, procesos patológicos de carácter inflamatorio, infecciones, entre otros; además de tener una importante participación en la calidad sensorial de los alimentos naturales y procesados. Por lo tanto, se recomienda profundizar las investigaciones en diferentes productos naturales que contengan, compuestos fenólicos para definir tipos, concentraciones, biodisponibilidad y sus mecanismos de acción, así como su posible sinergismo y/o antagonismo con otros componentes de la dieta o del organismo, con el fin de aprovechar mejor todas sus propiedades.

Referencias

- Balasundram, N., Sundram, K. y Samman, S. 2005. Phenolic compounds in plants and agroindustrial by-products: antioxidant activity, occurrence and potential uses. *Food Chemistry*. 99(1):191-203.
- Berra, B., Caruso, D., Cortesi, N., Fedeli, E., Rasetti, M. F. y Galli, G. 1995. Antioxidant properties of minor polar components of olive oil on the oxidative processes of cholesterol in human LDL. *Rivista Italiana Sost Grasse*. 72:285-291.
- Clifford, M. N. 1992. Sensory and dietary properties of phenols. *Proceedings of the 16th international conference of grape polyphenol*. 16(11):18-23.

- Chung, K.T., Wong, T.Y., Wei, C.I., Huang, Y.W. y Lin, Y. 1998. Tannins and Human Health. *Critical Reviews Food Sciences and Nutrition*. 38(6):421-464.
- Decker, E. A. 1997. Phenolics: prooxidants or antioxidants? *Nutritional Reviews*. 55(1):396-398.
- Duthie, G. y Crozier, A. 2000. Plant derived phenolic antioxidants. *Current Opinion on Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 3(6):447-51.
- Galati, G. y O'Brien, P. J. 2004. Potential toxicity of flavonoids and other dietary phenolics: significance for their chemopreventive and anticancer properties. *Free Radical Biology & Medicine*. 37(3):287-303.
- Ganjii, V. y Kies, C. V. 1994. Zinc bioavailability and tea consumption: study in healthy humans consuming self-selected and laboratory controlled diets. *Plant Foods for Human Nutrition*. 46:267-276.
- Gil, I. M., Barberán, A. F., Hess, P. B. y Kader, A. 2002. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *Agricultural Food Chemistry*. 50(17):4976-4982.
- Hurrell, R. F., Reddy, M. y Cook, J. D. 1997. Influence of polyphenol containing beverage on iron absorption. En: Proceedings of a European cost concerted action scientific workshop. *Polyphenols in foods*. Aberdeen. Escocia. pp. 169-172.
- Jiang, F. y Dusting, G. J. 2003. Natural phenolic compounds as cardiovascular therapeutics: potential role of their antiinflammatory effects. *Current Vascular Pharmacology*. 1(22):135-156.
- López, J. 2008. *Los Alimentos Funcionales: Importancia y Aplicaciones*. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Chile.
- Chile potencia alimentaria. http://chilepotenciaalimentaria.cl/content/view/129789/Los_alimentos_funcionales_Importancia_y_Aplicaciones.html, accesada 10/02/2009.
- Lunte, J. M., Blankenship, K. D. y Scott, A. R. 1988. Detection and identification of procyanindins and flavonoids in wine by dual-electrode liquid chromatography. *Analyst*. 113:99-103.
- Martínez, V. I., Periago, M. J. y Ros. G. 2000. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 50(1):1-19.
- Owen, R. W., Mier, W., Giacosa, A., Hull, W. E., Spiegelhalter, B. y Bartsch, H. 2000. Phenolic compounds and squalene in olive oils: the concentration and antioxidant potential of total phenols, simple phenols, secoiridoids y lignansand squalene. *Food Chemistry and Toxicology*. 38(8):647-659.
- Posada Jaramillo, M., Pineda-Salinas, V. y Agudelo-Ochoa, G. M. 2003. *Los antioxidantes de los alimentos y su relación con las enfermedades crónicas*. http://chocolatecorona.com.co/docs/libro_antioxidantes.pdf, accesada 15/02/2009.
- Rechner, A., Kuhnle, G., Bremner, P., Hubbard, K., Moore, R. y Evans, A. 2003. The metabolic fate of dietary polyphenols in humans. *Free Radical Biology and Medicine*. 33(2):220-235.
- Ross, J. A. y Kasum, C. M. 2002. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects and safety. *Annual Review of Nutrition*. 22:19-34.
- Sarría, C. A. 2005. Flavonoides: compuestos bioactivos de los alimentos. *Boletín Pediátrico de la Sociedad Aragonesa*. 34:88-92.
- Shahidi, F. y Naczk, M. 1995. *Food Phenolics Sources, Chemistry, Effects, Applications*. Technomic Publishing Co. EE.UU. 106 p.
- Shahidi, F. y Naczk, M. 2004. *Phenolics in food and nutraceuticals*. CRC Press. Londres. pp. 1-16.
- Zheng, W. y Wang, S. Y. 2001. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Agricultural and Food Chemistry*. 49(11):5165-5170.