



Phenolic compounds: presence, identification and antioxidant activity in plants and fruits

Compuestos fenólicos: presencia, identificación y propiedades antioxidantes en plantas y frutos

Leobardo González-Barraza¹, Rubén Díaz-Godínez², Citlalli Castillo-Guevara³, Antonio Nieto-Camacho⁴, Daniel Méndez-Iturbide*⁵

¹Maestría en Biotecnología y Manejo de Recursos Naturales, Universidad Autónoma de Tlaxcala, San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

²Laboratorio de Biotecnología, Centro de Investigación de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

³Laboratorio de Biodiversidad, Centro de Investigación de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

⁴Laboratorio de Pruebas de Actividad Biológica, Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México.

⁵Laboratorio de Investigación de Química de la Nutrición, Licenciatura en Nutrición, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Tlaxcala, San Pablo del Monte, Tlaxcala, México. *Email: danychem@yahoo.com.mx
<https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.46>

ABSTRACT

Phenolic compounds are often found in fruits, vegetables and cereals. They are divided into two large groups, which include flavonoids and non-flavonoids. They are known for their antioxidant activity, which may be due to the hydrogen donation, as well as their ability to transition metals. In addition, it has been shown in several studies that have a beneficial effect on health to participate in anti-inflammatory, anticancer, antimicrobial processes. Due to the diversity of these compounds there are several methods for their separation and determination, highlighting chromatography, infrared, mass spectroscopy, ray UV and hydrolysis. This article provides an updated review of the study of these compounds.

Keywords: antioxidant, chromatography, flavonoids, isolation

RESUMEN

Los compuestos fenólicos se encuentran con frecuencia en frutas, verduras y cereales. Se dividen en dos grandes grupos, que incluyen los flavonoides y no flavonoides. Son conocidos por su actividad antioxidante, que puede deberse a la donación de hidrógeno, así como su capacidad para quelar metales de transición. Además, se ha demostrado en diversos estudios que poseen un afecto benéfico para la salud al participar en procesos

antiinflamatorios, anticancerígenos, antimicrobianos. Debido a la diversidad de estos compuestos existen diversos métodos para su separación y determinación destacando la cromatografía, infrarrojo, espectroscopia de masa, rayos UV e hidrólisis. Este artículo proporciona una revisión actualizada del estudio de dichos compuestos abordando diferentes aspectos para su mejor entendimiento.

Palabras clave: antioxidante, cromatografía, flavonoides, aislamiento.

1. INTRODUCCIÓN

Los compuestos fenólicos son un grupo de metabolitos secundarios presentes en las plantas; además de tener una función en ellas, estos compuestos presentan una serie de propiedades biológicas benéficas para la salud (Dzialo et al., 2016; Galano et al., 2016; Dai & Mumper 2010). En los últimos años, la identificación y el desarrollo de compuestos fenólicos o extractos de diferentes plantas se ha convertido en un área importante de la investigación (Dai & Mumper 2010). Estudios recientes sugieren que una mayor ingesta de alimentos de origen vegetal se asocia con una menor incidencia de enfermedades crónicas; muchos de los beneficios de una dieta rica en frutas se atribuyen a la presencia de diferentes sustancias bioactivas, tales como vitaminas, carotenoides y compuestos fenólicos (Burkholder-Cooley et al., 2016; Gomes-Rochette et al., 2016). Los beneficios para la salud de los polifenoles, dependen de su cantidad ingerida y su biodisponibilidad; diferentes factores influyen en la biodisponibilidad de estos compuestos tales como el clima, las prácticas agrícolas, los procesos industriales y el propio metabolismo (Kiemlian, 2016).

2. CLASIFICACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS

Actualmente, se han encontrado aproximadamente 8.000 estructuras diferentes de los compuestos fenólicos (Balasundrama et al., 2006) y está aumentando debido a la evolución continua de nuevos genes y las mutaciones en respuesta a la adaptación a los cambios ambientales (Kiemlian, 2016). La clasificación general de los compuestos fenólicos se divide en dos grandes grupos; los compuestos flavonoides y no flavonoides [tabla 1 y 2] (Dzialo et al., 2016).

En este grupo se encuentran seis subclases principales: flavonoles, flavonas, favanoles, flavanonas, isoflavonas y antocianidinas.

En el segundo grupo se clasifican los fenoles no flavonoides; los cuales se subdividen en: ácidos fenólicos (hidroxibenzoatos C_6-C_1), (hidroxicinamatos C_6-C_3), (lignanós C_6-C_3), estilbenos ($C_6-C_2-C_6$), taninos y lignina (Del Rio et al., 2013; Huang et al., 2010).

También podemos encontrar en este grupo a los taninos y ligninas; compuestos que se producen principalmente como biopolímeros y carecen de una base de carbono primario definido (Prozil et al., 2014; Ricci et al., 2016).

Como se mencionó anteriormente los compuestos fenólicos se divide en dos grandes grupos; los compuestos flavonoides (flavonoles, flavonas, flavanonas, isoflavonas y antocianidinas) y no flavonoides (ácidos fenólicos, lignanos, estilbenos, taninos y ligninas). Cada uno varía en función, composición, estructura y distribución en plantas y alimentos (Burkholder-Cooley et al., 2016; Manach et al., 2004). La gran variabilidad de los flavonoides se debe a las diferencias en la estructura del anillo de la aglicona, las

diferencias en el grado de hidroxilación de la aglicona y en las posiciones de los grupos hidroxilo (Agati et al., 2012; Agrawal, 1989).

2.1 Flavonoides

A. Antocianidinas

Las antocianidinas son pigmentos solubles en agua compuestas de una aglicona y un azúcar unido principalmente en la posición 3 en el anillo C o menos frecuentemente en la posición 5 o 7 en el anillo A. Las antocianidinas más frecuentes son cianidina, delphinidina, petunidina, peonidina, pelargonidina, y malvidina (Prior et al., 2001; Latti et al., 2009; Mullen et al., 2010; Novruzov & Shamsizade 2011).

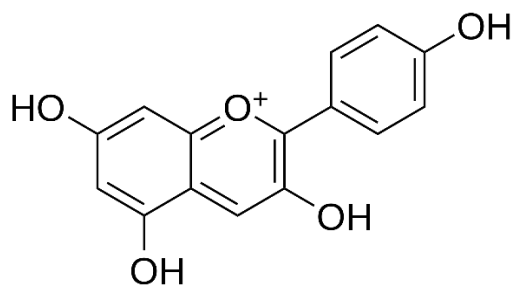


Fig. 1. Estructura química antocianidina.

B. Flavonoles

En este grupo se encuentra la quercetina, posee un grupo carbonilo en posición 4 y un grupo -OH en posición 3 del anillo C; se unen azúcares en la posición C3 y con menor frecuencia a la posición C7 del anillo A, de forma que estos compuestos se encuentran comúnmente como O-glicósidos, siendo la D-glucosa el residuo azúcar más frecuente (Letan, 1966; Aherne & O'Brien 2002; Zhang et al., 2010).

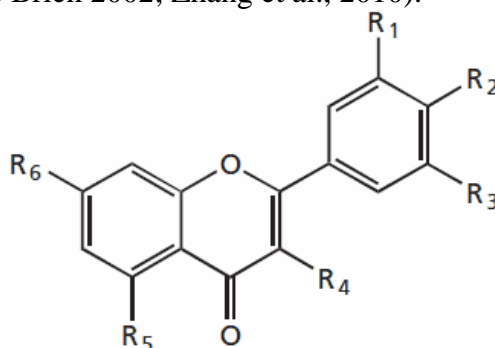


Fig. 2. Estructura química flavonol.

C. Flavonas

Las flavonas son compuestos polifenólicos formados un grupo carbonilo en posición 4 del anillo C y carecen del grupo hidroxilo en posición C3. Diversos estudios han mostraron que las flavonas tienen diferentes actividades como: farmacológica, antioxidante,

antiinflamatoria, antimicrobiana, citotóxica, antitumoral y antialérgica (Culhaoglu et al., 2016). Las flavonas, como la diosmetina poseen un grupo carbonilo en posición 4 del anillo C y carecen del grupo hidroxilo en posición C3; de igual manera se une a azúcares como los flavonoles (Letan, 1966; Aherne & O'Brien 2002; Zhang et al., 2010).

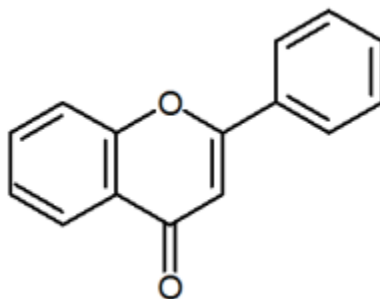


Fig. 3. Estructura química flavona.

D. Flavononas

Estos compuestos existen en muy pequeñas cantidades comparados con los otros flavonoides; son incoloros o solo ligeramente amarillos. Se pueden encontrar de dos maneras a estos compuestos: en forma de agliconas y glúcidos. Las flavanonas en forma aglicona (moléculas no unidas a restos de azúcar), incluyen Naringenina (4', 5,7-trihidroxi-4'-metoxiflavanone), hesperitina (3',5,7-trihidroxi-4'-metoxiflavanone), Isosakuratenina (3,5-dihidroxi-4'-metoxiflavanona), Heridictiol (5,7,3', 4'-tetrahidroxi-4'-metoxiflavanona); mientras que en la forma de glucósido (moléculas con restos de azúcar) son Hesperidina (hesperitina-7-rutinosido), Narirutin (Naringenin- 7-rutinósido), neohesperidina (hesperitina-7-neohesperidosido) Neoeriocitrin (Heridictiol-7-neohesperidosido), naringina (naringenina-7-neohesperidosido). Se ha reportado que muestran una actividad antitumoral mediante la inducción de apoptosis, en enfermedades cardiovasculares, (Di Majo et al., 2005; Tripoli et al., 2007; Remya et al., 2014).

E. Flavanoles

Este grupo está integrado por la catequita y epicatequina; se han reportado como potenciales agentes antivirales y protectores de los eritrocitos humanos (Cherrak et al., 2016; Ide et al., 2016; Baccarin et al., 2015).

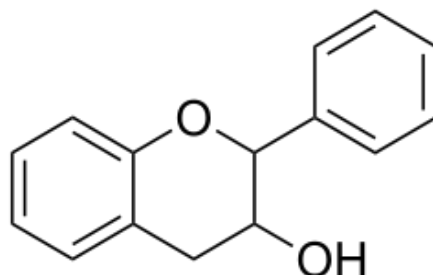


Fig. 5. Estructura química flavanol.

F. Isoflavonas

Las isoflavonas tienen grupos hidroxilo en las posiciones 7 y 4; esto le confiere propiedades como la capacidad de unirse a los receptores de estrógeno. Contienen 3 moléculas principales: la genisteína, la daidzeína, y gliciteína (Phillips et al., 2016; Setchell et al., 2016). Las isoflavonas son metabolitos secundarios de las plantas que son similares a 17 β -estradiol en estructura química (Daems et al., 2016).

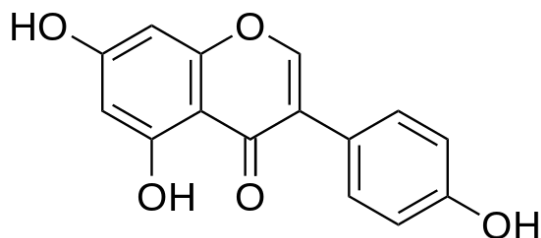


Fig. 6. Estructura química isoflavona.

Tabla 1. Presencia de compuestos fenólicos de tipo flavonoides en los distintos grupos de alimentos.

Compuestos fenólicos flavonoides	Presencia en plantas		Referencias
	Nombre común	Nombre científico	
Flavonoles	Arándano	<i>Vaccinium myrtillus</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Aherne & O'brien 2002; Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Arándano agrio	<i>Vaccinium Macrocarpon</i>	(Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Baya de sauco negro	<i>Sambucus nigra</i>	(Aherne & O'brien 2002; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Brócoli	<i>Brassica oleracea italica</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Aherne & O'brien 2002; Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Cebolla	<i>Allium cepa</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Aherne & O'brien 2002; Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Cebollino	<i>Allium schoenoprasum</i>	(Aherne & O'brien 2002; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995;

			Aherne & O'Brien 2002)
	Manzana	<i>Malus domestica</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Aherne & O'Brien 2002)
	Naranja	<i>Citrus × aurantium</i>	(Aherne & O'Brien 2002; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Pomelo	<i>Citrus × paradisi</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Repollo	<i>Brassica oleracea var.</i> <i>capitata</i>	(Aherne & O'Brien 2002)
	Té verde	<i>Camellia sinensis</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Aherne & O'Brien 2002)
	Uva	<i>Vitis vinifera</i>	(Aherne & O'Brien 2002)
	Aceituna	<i>Olea europaea</i>	(Vlahoy 1992)
	Apio	<i>Apium graveolens</i>	(Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Limón	<i>Citrus × limon</i>	(Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
Flavonas	Menta	<i>Mentha piperita</i>	(Mañach <i>et al.</i> , 2004)
	Perejil	<i>Petroselinum crispum</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004)
	Naranja	<u><i>Citrus × aurantium</i></u>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Pomelo	<i>Citrus × paradisi</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	(Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
Flavanoles	Grosella negra	<i>Ribes nigrum</i>	(Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i>	(Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>	(Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Manzana	<i>Malus domestica</i>	(Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Soya	<i>Glycine max</i>	(Mañach <i>et al.</i> , 2004)
Isoflavonas			
Antocianidinas	Arándano	<i>Vaccinium myrtillus</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Baya de sauco negro	<i>Sambucus nigra</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Cebolla	<i>Allium cepa</i>	(Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
	Cereza	<i>Prunus cerasus</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)

Fresa	<i>Fragaria × ananassa</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004; Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
Grosella negra	<i>Ribes nigrum</i>	(Mañach <i>et al.</i> , 2004)
Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	(Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
Repollo rojo	<i>Brassica oleracea var. capitata f. rubra</i>	(Bhagwat <i>et al.</i> , 2014)
Uva	<i>Vitis vinifera</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004)

2.2 No flavonoides

A. Ácido fenólico

Los ácidos fenólicos se encuentran ampliamente en frutas, verduras, cereales y vino; se ha demostrado su actividad biológica al aumentar la captación de glucosa y la síntesis de glucógeno (Vinayagam *et al.*, 2016). Dos clases de ácidos fenólicos se pueden distinguir: derivados del ácido benzoico y derivados del ácido cinámico. Los alimentos que contienen derivados del ácido benzoico son rábano, té, mangos, fresas, frambuesas, moras. En cuanto a los alimentos que contienen ácidos hidroxicinámicos son café, ferulico y sináptico.

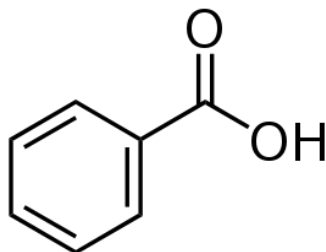


Fig. 7. Estructura química ácido benzoico.

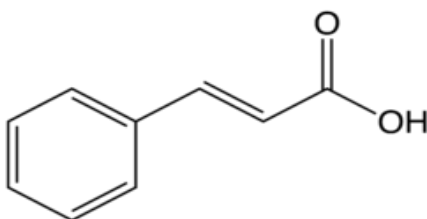


Fig. 8. Estructura química ácido cinámico.

Estos ácidos se encuentran raramente en la forma libre, excepto en los alimentos procesados que se ha sometido a congelación, esterilización, o fermentación. Las frutas que tienen el mayor contenido de estos son arándanos, kiwis, ciruelas, cerezas, manzanas (Clifford, 1999; Clifford & Scalbert 2000; Tomas-Barberan & Clifford 2000; Chen, 2016; Dzialo et al., 2016; Silva, 2016).

B. Lignanós

Los lignanos se forman de 2 unidades de fenilpropano. La fuente dietética más rica es de linaza, que contiene secoisolariciresinol y bajas cantidades de matairesinol. Se ha demostrado que este compuesto puede reducir potencialmente el riesgo de ciertos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Milder et al 2005; Milder et al 2005). Otros cereales, granos, frutas y algunas verduras también contienen estos mismos lignanos, pero las concentraciones en las semillas de lino son 1000 veces más altas que las concentraciones de estas otras fuentes de alimentos (Heinonen, 2001). Estudios adicionales demostraron que las oleaginosas como las leguminosas (lentejas), cereales (trigo), verduras (ajo, espárragos, zanahorias) y frutas (peras, ciruelas pasas) contienen menor cantidad de estos compuesto (Milder et al 2005; Dzialo et al., 2016).

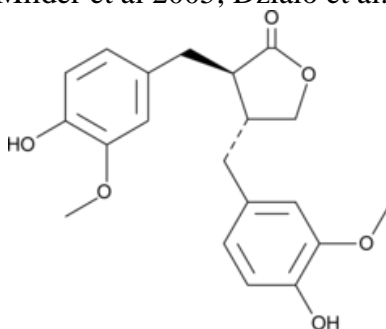


Fig. 9. Estructura química lignano.

C. Estilbenos

Los estilbenos se encuentran sólo en pequeñas cantidades en la dieta humana. Uno de ellos, es el resveratrol, encontrado en el vino tinto (Bhat & Pezzuto 2002; Kamaledin, 2016). Diversos estudios han revelado que el vino tinto disminuye efectos cardiovasculares; atribuido a sus dos componentes: la porción alcohólica y, más importante aún, la porción libre de alcohol que contienen antioxidantes. El resveratrol se encuentra principalmente en la piel de la uva, mientras que las proantocianidinas se encuentran sólo en las semillas; se ha demostrado que el resveratrol y las proantocianidinas son los principales compuestos presentes en las uvas y el vino, responsables de la protección a la salud (Vitrac et al., 2002; Bertelli & Das 2009; Shukla & Singh 2011; Kamaledin, 2016).

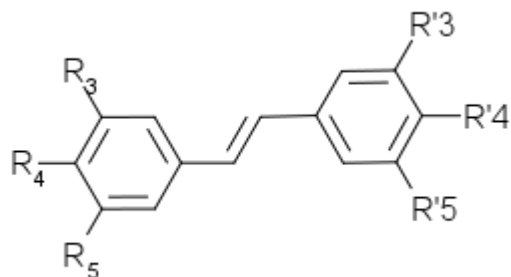


Fig.10. Estructura química estilbeno.

D. Taninos

Son compuestos de alto peso molecular, dividido en dos grupos principales: los condensados y los hidrolizables; en el primer grupo se encuentran los polímeros de catequinas y epicatequina y en el segundo grupo son polímeros de ácido gálico, cafeico y elágico. Contienen al menos un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo (Silva & Azevedo 1999). De igual manera se ha comprobado que participan en procesos antiinflamatorios y puede ser benéfico su consumo para la salud (Houston et al., 2016).

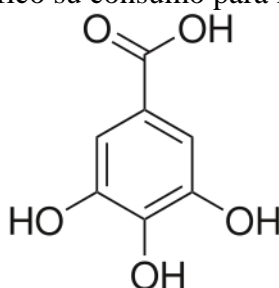


Fig. 11. Estructura química taninos.

E. Ligninas

La lignina es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas y junto con la celulosa y la hemicelulosa conforma la pared celular; se forma por la extracción del agua en los azúcares, creando compuestos aromáticos libres de azúcar. (Calvo-Flores et al., 2010; Gellerstedt et al., 2008). Se ha demostrado que protegen los hepatocitos primarios de rata contra el estrés oxidativo inducido por etanol (Kim et al., 2016).

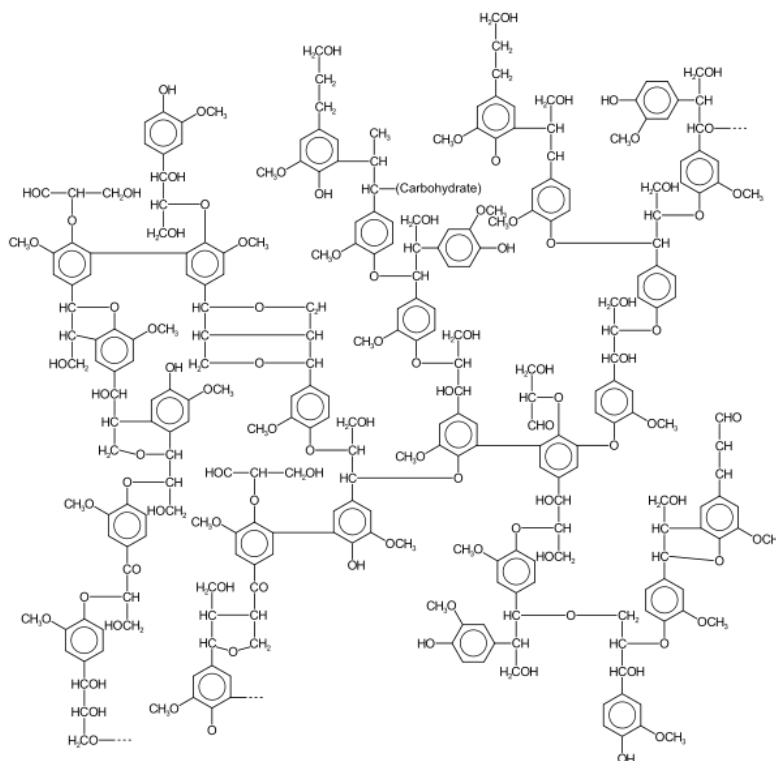


Fig. 12. Estructura química lignina.

Tabla 2. Presencia de compuestos fenólicos de tipo no flavonoides en los distintos grupos de alimentos.

Compuestos fenólicos No flavonoides	Presencia en plantas		Referencias	
	Nombre común	Nombre científico		
Ácidos hidroxibenzoicos	Arándanos	<i>Vaccinium myrtillus</i>	(Elaine <i>et al.</i> , 1989)	
	Frambuesas	<i>Rubus idaeus</i>	(Elaine <i>et al.</i> , 1989)	
	Fresas	<i>Fragaria × ananassa</i>	(Elaine <i>et al.</i> , 1989)	
	Grosella negra	<i>Ribes nigrum</i>	(Elaine <i>et al.</i> , 1989)	
	Moras	<i>Rubus ulmifolius</i>	(Elaine <i>et al.</i> , 1989)	
	Uvas	<i>Vitis vinifera</i>	(Shahrzard & Bitsch 1999)	
	Ácidos hidroxicinámicos	Aceite de oliva	<i>Olea europaea</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995)
		Albaricoque	<i>Prunus armeniaca</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995)
		Arándano	<i>Vaccinium myrtillus</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004)
		Café	<i>Coffea</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004)
Cereza		<i>Prunus cerasus</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004)	
Ciruela		<i>Prunus domestica</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004)	
Durazno	<i>Prunus persica</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995;		

	Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i>	Bhagwat <i>et al.</i> , 2014) (Rice <i>et al.</i> , 1995)
	Manzana	<i>Malus domestica</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995; Mañach <i>et al.</i> , 2004)
	Naranja	<i>Citrus × aurantium</i>	(Peleg <i>et al.</i> , 1991)
	Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	(Dao & Freidman 1992)
	Pera	<i>pyrus communis</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995)
	Pomelo	<i>Citrus × paradisi</i>	(Peleg <i>et al.</i> , 1991)
	Repollo	<i>Brassica oleracea var. capitata</i>	(Rice <i>et al.</i> , 1995)
Estilbenos	Uva	<i>Vitis vinifera</i>	(Bhoosham & Ibrahim 2009)
Lignanós	Arándano	<i>Vaccinium myrtillus</i>	
	Arroz	<i>Oryza sativa</i>	(Durazzo <i>et al.</i> , 2013)
	Avena	<i>Avena sativa</i>	(Durazzo <i>et al.</i> , 2013)
	Cebada	<i>Hordeum vulgare</i>	(Durazzo <i>et al.</i> , 2013)
	Linaza	<i>Linum usitatissimum</i>	(Mañach <i>et al.</i> , 2004; Durazzo <i>et al.</i> , 2013)
	Manzana	<i>Malus domestica</i>	
	Maíz	<i>Zea mays</i>	(Durazzo <i>et al.</i> , 2013)
	Mijo	<i>Panicum miliaceum</i>	(Durazzo <i>et al.</i> , 2013)
	Nuez	<i>Juglans regia</i>	(Chrzanowski <i>et al.</i> , 2011)
	Semilla sésamo	<i>Sesamum indicum</i>	(Durazzo <i>et al.</i> , 2013)
	Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	(Durazzo <i>et al.</i> , 2013)
Taninos	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	(Mañach <i>et al.</i> , 2004)
	Café	<i>Coffea</i>	(Zamora <i>et al.</i> , 2013)
	Lenteja	<i>Lens culinaris</i>	(Ayet <i>et al.</i> , 1997)
	Manzana	<i>Malus domestica</i>	(Lee & Wrolstad 1988)
	Pera	<i>pyrus communis</i>	(Zamora <i>et al.</i> , 2013)
	Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	(Zamora <i>et al.</i> , 2013)
	Uva	<i>Vitis vinifera</i>	(Zamora <i>et al.</i> , 2013)

3. SEPARACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS

En los últimos años, se ha demostrado el efectos positivos para la salud de los polifenoles y se producen de forma ubicua en los alimentos vegetales llevando a la necesidad de desarrollar nuevas técnicas de separación para su extracción, fraccionamiento y análisis; de manera general los polifenoles se pueden determinar y separar mediante: cromatografía como HPLC (cromatografía líquida de alta resolución) y HPLC-MS (cromatografía líquida de alta resolución acoplado a masas), UV (rayos UV), IR (infrarrojo), MS (espectroscopia de masas), CE (electromigración) mediante técnicas electroforéticas, H (hidrolisis) (Samsonowicz & Regulska 2016; Valls *et al.*, 2009; Bystrom *et al.*, 2008; Sakakibara *et al.*, 2003).

4. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos depende de la estructura, en particular del número y posiciones de los grupos hidroxilo, además, de la naturaleza en los anillos aromáticos; su actividad antioxidante incluye quelación de metales, así como, donación de átomos de hidrógeno para estabilizar radicales libres impidiendo la abstracción de hidrógeno a partir de sustrato (Samsonowicz & Regulska 2016). Diversos estudios han reportado las ventajas de los compuestos fenólicos, tales como anti-envejecimiento, anti-inflamatorios, antioxidantes y agentes antiproliferativos (Cheng et al., 2016; Antunes-Ricardo et al., 2015; Landete, 2012; Hanhineva et al., 2010). Otros estudios concluyen que estos compuestos pueden actuar en diferentes aspectos: como antioxidantes, como polímeros estructurales (lignina), como atrayentes (flavonoides y carotenoides), como pantallas UV (flavonoides), como compuestos de señal (ácido salicílico y flavonoides) y como productos químicos de respuesta de defensa (taninos y fitoalexinas) (Lin et al., 2016; Landete, 2012; Shetty & Wahlqvist 2004; Kidd et al., 2001). Los antioxidantes protegen el organismo de los radicales libres, moléculas altamente reactivas que pueden dañar el organismo a nivel celular; Este daño producido por los radicales libres puede aumentar el riesgo al desarrollo de cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades degenerativas. Los antioxidantes minimizan el daño y protegen el organismo de este tipo de enfermedades (Bystrom et al., 2008).

5. CONCLUSIONES

La investigación futura de los compuestos fenólicos requiere una comprensión más completa, este incluye el estudio de la biodisponibilidad y metabolismo de dichos compuestos, además el desarrollo de modelos *in vitro* para correlacionar la ingesta de estos compuestos y los efectos benéficos. La alta actividad antioxidante de dichos compuestos sugiere que podrían resultar beneficiosas para la salud humana si se incluye como parte de una dieta saludable; estos compuestos se encuentran presentes en diversos alimentos como manzana, arándanos, zanahoria, linaza, uvas, frambuesas, moras, fresas, bayas de sauco, pera, cebolla, tomate, rábano, trigo, maíz, avena y algunas bebidas como el vino tinto. Dentro de los beneficios que se atribuyen a estos compuestos son actividad antiinflamatoria, anticancerígena, antimicrobiana, protección frente al cáncer y problemas del corazón.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Agati G., Azzarello E., Pollastri S. & Tattini M. 2012. Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Science*. 196:67–76.
- Agrawal P.K. 1989. Carbon-13 NMR of Flavonoids. *El sevier Science*, 39(1): 1-564

- Aherne S. A & O'Brien N. M. 2002. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutrition*. 18:75-81.
- Aluyen J. K., Ton Q. N., Tran T., Yang A. E, Gottlieb H. B. & Bellanger R. A. 2012. Resveratrol: Potential as Anticancer Agent. *Journal of Dietary Supplements*. 9(1): 45-56.
- Antunes-Ricardo M., Gutiérrez-Urbe J. & Serna-Saldívar S. O. 2015. Anti-inflammatory glycosylated flavonoids as therapeutic agents for treatment of diabetes-impaired wounds. *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 15 (23): 2456–2463.
- Ayet G., Burbano C., Cuadrado C., Pedrosa M.M., Robredo L.M., Muzquiz M. De la Cuadro C., Castano A. & Osagie A. 1997. Effect of germination, under different environmental conditions, on saponins, phytic acid and tannins in lentils (*Lens culinaris*) *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 74: 273–279.
- Baccarin T., Mitjans M., Lemos-Senna E. & Vinardell M. P. 2015. Protection against oxidative damage in human erythrocytes and preliminary photosafety assessment of Punica granatum seed oil nanoemulsions entrapping polyphenol-rich ethyl acetate fraction. *Toxicology in Vitro*. 30(1):421–8.
- Balasundrama N., Sundramb K. & Sammana S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*. 99(1): 191–203.
- Bertelli A. A, Das D. K. 2009. Grapes, wines, resveratrol, and heart health. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*. 54(6): 468-476.
- Bertelli A., Bertelli A. A., Gozzini A. & Giovannini L. 1998. Plasma and tissue resveratrol concentrations and pharmacological activity. *Drugs under experimental and clinical research*. 24 (3): 133–8.
- Bhat K. P. & Pezzuto J. M. 2002. Cancer chemopreventive activity of resveratrol. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 957, 210–29.
- Bhooshan-Pandey K. & Ibrahim-Rizvi S. 2009. Plant polyphenolis as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Celular Longevity* 2 (5): 270-278.
- Burkholder-Cooley N., Rajaram S., Haddad E., Fraser G. & Jaceldo-Siegl K. 2016. Comparison of polyphenol intakes according to distinct dietary patterns and food sources in the Adventist Health Study-2 cohort. *British Journal of Nutrition* .115 (12): 2162-2169.
- Bystrom L. A., Lewis B.A., Brown D.L., Rodríguez E. & Obendorf R.L. 2008. Characterisation of phenolics by LC–UV/Vis, LC–MS/MS and sugars by GC in *Melicoccus bijugatus* Jacq. ‘Montgomery’ fruits. *Food Chemistry*. 111,1017-1024.
- Calvo-Flores F. G. & Dobado J.A. 2010. Lignin as renewable raw material. *Chemistry & Sustainability Energy & Materials*. 3, 1227-1235.

Campos J.F., De Castro D.T., Damião M.J., Vieira-Torquato H.F., Paredes-Gamero E.J., Carollo C.A., Estevinho L.M., de Picoli-Souza K. & Dos Santos E.L. 2016. The Chemical Profile of *Senna velutina* Leaves and Their Antioxidant and Cytotoxic Effects. oxidative medicine and cellular longevity. In print.

Chen C. 2016. Sinapic Acid and Its Derivatives as Medicine in Oxidative Stress-Induced Diseases and Aging. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 10.

Cheng Y. T., Lu C. C. & Yen G. C. 2016. Phytochemicals enhance antioxidant enzyme expression to protect against NSAID-induced oxidative damage of the gastrointestinal mucosa. *Molecular nutrition & food research*. In print.

Cherrak S. A, Mokhtari-Soulimane N., Berroukeche F., Bensenane B., Cherbonnel A., Merzouk H. & Elhabiri M. 2016. In Vitro Antioxidant versus Metal Ion Chelating Properties of Flavonoids: A Structure-Activity Investigation. *Public Library of Science*. 27: 11:10.

Chrzanowski G., Leszczynski B., Czerniewicz P., Sytykiewicz H., Matok H. & Krzyzanowski R. 2011. Phenolic acids of walnut (*juglans regia* L.). *Herba Polonica*. 57(2): 22-29.

Clifford M. & Scalbert A. 2000. Ellagitannins occurrence in food, bioavailability and cancer prevention. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80, 1118–25.

Clifford M. 1999. Chlorogenic acids and other cinnamates nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 79, 362–72.

Culhaoglu B., Capan A., Boga M., Ozturk M., Ozturk T. & Topcu G. 2016. Antioxidant and anticholinesterase activities of some dialkylamino substituted 3-hydroxyflavone derivatives. *Medicinal Chemistry*. In print.

Daems F., Romnee J. M., Heuskin S., Froidmont É. & Lognay G. 2016. Analytical methods used to quantify isoflavones in cow's milk: a review. *Dairy science & Technology* .96, 261-283.

Dai J. & Mumper R. 2010. Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties *Molecules*.15, 7313–7352.

Dao L. & Freidman M. 1992. Chlorogenic acid content of fresh and processed potatoes determined by ultraviolet spectrophotometry *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40: 2152–2156.

Davalos M., Konno S., Eshghi M. & Choudhury M. 2010. Oxidative renal cell injury induced by calcium oxalate crystal and renoprotection with antioxidants: a possible role of oxidative stress in nephrolithiasis. *Journal of endourology*. 24(3):339-45.

Del Rio D., Rodriguez-Mateos A., Spencer J., Tognolini M., Borges G. & Crozier A. 2013. Dietary (poly)phenolics in human health: Structures, bioavailability, and evidence of

protective effects against chronic diseases. *Antioxidants & Redox Signaling*. 18 (14): 1818-1892.

Di Majo D., Giammanco M., La Guardia M., Tripoli E., Giammanco S. & Finotti E. 2005. Flavanones in Citrus fruit: Structure-antioxidant activity relationships. *Food Research International*. 38, 1161–1166.

Durazzo A., Zaccaria M., Polito A., Maiani G. & Carcea M. 2013. Lignan content in cereals, buckwheat and derived foods. *Foods*. 2(1): 53-63.

Działo M., Mierziak J., Korzun U., Preisner M., Szopa J. & Kulma A. 2016. The Potential of Plant Phenolics in Prevention and Therapy of Skin Disorders. *International Journal of Molecular Sciences*. 17(1): 160

Elaine D., Krupnick A., Young-Hun H., Blinzler J., Nims R. & Stoner G. 1989. Extraction, stability, and quantitation of ellagic acid in various fruits and nuts. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2: 338–349.

Fishman AI., Green D., Lynch A., Choudhury M., Eshghi M. & Konno S. 2013. Preventive effect of specific antioxidant on oxidative renal cell injury associated with renal crystal formation. *Urology*. 82(2):489.

Galano A., Castañeda-Arriaga R., Pérez-González A., Tan D. & Reiter R. J. 2016. Phenolic Melatonin-Related Compounds: Their Role as Chemical Protectors against Oxidative Stress. *Molecules*. 21(11): 1442.

Gellerstedt G., Li J., Eide I., Kleinert M. & Barth T. 2008. Chemical structures present in biofuel obtained from lignin. *Energy & Fuels*. 22, 4240-4244.

Gomes-Rochette N., Vasconcelos M., Nabavi S., Mota E., Nunes-Pinheiro D., Daglia M. & De Melo D. 2016. Fruit as Potent Natural Antioxidants and Their Biological Effects. *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 17 (11): 986 – 993.

Hanhineva K., Törrönen R., Bondia-Pons I., Pekkinen J., Kolehmainen M., Mykkänen H. & Poutanen H. 2010. Impact of dietary polyphenols on carbohydrate metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*. 11, 1365–1402.

Heinonen S., Nurmi T., Liukkonen K., Poutanen K., Wähälä K., Deyama T., Nishibe S., Adlercreutz H. 2001. In vitro metabolism of plant lignans: new precursors of mammalian lignans enterolactone and enterodiol. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(7): 3178-3186.

Houston D. M., Bugert J., Denyer S. P. & Heard C.M. 2016. Anti-inflammatory activity of *Punica granatum L.* (Pomegranate) rind extracts applied topically to ex vivo skin. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*. In press.

Huang W., Cai Y. & Zhang Y. 2010. Natural phenolic compounds from medicinal herbs and dietary plants: Potential use for cancer prevention. *Journal Nutrition and Cancer*. 62: 1–20.

- Ide K., Kawasaki Y., Kawakami K. & Yamada H. 2016. Anti-Influenza Virus Effects of Catechins: A Molecular and Clinical Review. *Current medicinal chemistry*. In print.
- Kamaleddin, M. A. 2016. The paradoxical pro- and antiangiogenic actions of resveratrol: therapeutic applications in cancer and diabetes. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1-13.
- Kidd P. S., Llugany M., Poschenrieder C., Gunsé B. & Barceló J. 2001. The role of root exudates in aluminium resistance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (*Zea mays L.*). *Journal of Experimental Botany*. 52 (359):1339–1352.
- Kiemlian J. 2016. Yin and Yang of Polyphenols in Cancer Prevention: A Short Review. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*. 16(7): 832-40.
- Kim J. W., Yang H., Kim H.W., Kim H.P. & Sung S. H. 2016. Lignans from *Opuntia ficus-indica* seeds protect rat primary hepatocytes and Hep G2 cells against ethanol-induced oxidative stress. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*. 81(1):181-183
- Landete J. M. 2012. Updated knowledge about polyphenols: Functions, bioavailability, metabolism, and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52 (10); 936–948.
- Latti A.K., Kainulainen P.S., Hayirlioglu-Ayaz S., Ayaz F.A. & Riihinen K.R. 2009. Characterization of anthocyanins in caucasian blueberries (*Vaccinium arctostaphylos L.*) native to Turkey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57 (12): 5244–5249.
- Lee H.S. & Wrolstad R.E. 1988. Apple juice composition: sugar, nonvolatile acid and phenolic profile. *Journal Association of Official Analytical Chemists*. 71: 789–794.
- Letan A. 1966. The relation of structure to antioxidant activity of quercetin and some of its derivatives. *Journal Food Science*. 31:518-523
- Lin D., Xiao M., Zhao J., Li Z., Xing B., Li X., Kong M., Li L., Zhang Q., Liu Y., Chen H., Qin W., Wu H. & Chen S. 2016. An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Molecules*. 15(10); 21.
- Manach C., Scalbert A., Morand C., Rémésy C. & Jiménez L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 79 (5): 727-747.
- Milder I., Arts I., Putte B, Venema D. & Hollman P. 2005. Lignan contents of Dutch plant foods: a database including lariciresinol, pinoresinol, secoisolariciresinol and matairesinol. *British Journal of Nutrition*. 93 (3): 393-402
- Milder I., Feskens E., Arts I., Bueno de Mesquita H., Hollman P. & Kromhout D. 2005. Intake of the plant lignans secoisolariciresinol, matairesinol, lariciresinol, and pinoresinol in Dutch men and women. *Journal of Nutrition*. 135(5):1202-7.

- Mullen W., Larcombe S., Arnold K., Welchman H. & Crozier A. 2010. Use of accurate mass full scan mass spectrometry for the analysis of anthocyanins in berries and berry-fed tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58 (7): 3910–3915.
- Novruzov A.R. & Shamsizade L.A. 2011. Anthocyanins from fruit of two species of the genus *Rosa*. *Chemistry of Natural Compounds*. 47 (1): 120–121.
- Peleg H., Naim M., Rousell R.L. & Zehavi U. 1991. Distribution of bound phenolic acids in oranges (*Citrus sinensis*) and grapefruits (*Citrus paradisi*) *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 57: 417–427.
- Phillips M. M., Bedner M., Reitz M., Burdette C. Q., Nelson M. A., Yen J. H., Sander L. C. & Rimmer C.A. 2016. Liquid chromatography with absorbance detection and with isotope-dilution mass spectrometry for determination of isoflavones in soy standard reference materials. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 1-12.
- Prior R.L., Lazarus S.A., Cao G.H., Muccitelli H. & Hammerstone J.F. 2001. Identification of procyanidins and anthocyanins in blueberries and cranberries (*Vaccinium spp.*) using high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49 (3): 1270–1276.
- Prozil S., Evtuguin D., Silva A. & Lopes L. 2014. Structural characterization of lignin from grape stalks (*Vitis vinifera L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62(24):5420-8.
- Remya C., Dileep K. V., Tintu I., Variyar E. J. & Sadasivan C. 2014. Flavanone Glycosides as Acetylcholinesterase Inhibitors: Computational and Experimental Evidence. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 76(6): 567–570.
- Ricci A., Olejar K., Parpinello G., Mattioli A., Teslić N., Kilmartin P. & Versari A. 2016. Antioxidant activity of commercial food grade tannins exemplified in a wine model. *Food Additives & Contaminants*. 33(12): 1761-1774.
- Rice-Evans C.A., Miller N.J. & Paganga G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*. 7(20): 933-956.
- Sakakibara H., Honda Y., Nakagawa S., Ashida H. & Kanazawa K. 2003. Simultaneous determination of all polyphenols in vegetables, fruits, and teas. *Journal of agricultural and Food Chemistry*. 51(3):571-81.
- Salunkhe D.K., Jadhav S.J., Kadam S.S. & Chavan J.K. 1982. Chemical, biochemical, and biological significance of polyphenols in cereals and legumes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Boca Raton. 17(3): 277-305.
- Samsonowicz M. & Regulska E. 2016. Spectroscopic study of molecular structure, antioxidant activity and biological effects of metal hydroxyflavonol complexes. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*. (173):757-771.

- Schulman A., Chaimowitz M., Choudhury M., Eshghi M. & Konno S. 2016. Antioxidant and Renoprotective Effects of Mushroom Extract: Implication in Prevention of Nephrolithiasis. *Journal of Clinical Medicine Research*. 8(12):908-915.
- Setchell K.D.R., Brown N.M., Zimmer-Nechemias L., Brashear W.T., Wolfe B.E., Kirschner A.S. & Heubi J.E. 2002. Evidence for lack of absorption of soy isoflavone glycosides in humans, supporting the crucial role of intestinal metabolism for bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 76, 447–453.
- Shahrzad S. & Bitsch I. 1996. Determination of some pharmacologically active phenolic acids in juices by high-performance liquid chromatography. *Journal Chromatography*. 741: 223–231.
- Shetty K. & Wahlqvist M.L. 2004. A model for the role of the proline-linked pentose-phosphate pathway in phenolic phytochemical bio-synthesis and mechanism of action for human health and environmental applications. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 13, 1–24.
- Shukla Y. & Singh R. 2011. Resveratrol and cellular mechanisms of cancer prevention. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1215: 1–8.
- Silva D. A. & Azevedo M. A. 1999. Aspectos nutricionais de fitatos e taninos. *Nutrition Reviews*. 12(1): 5-19.
- Silva S., Costa E., Coelho M., Morais R. & Pintado M. 2016. Variation of anthocyanins and other major phenolic compounds throughout the ripening of four Portuguese blueberry (*Vaccinium corymbosum L*) cultivars. *Natural Product Research*. 31, 93-98.
- Tomas-Barberan F. & Clifford M. 2000. Dietary hydroxybenzoic acid derivatives and their possible role in health protection. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80, 1024-1032.
- Tripoli E., La Guardia M., Giammanco S., Di Majo D. & Giammanco M. 2007. Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties. *Food Chemistry*. 104 (2): 466–479.
- Valls J., Millán S., Martí M. P., Borràs E. & Arola L. 2009. Advanced separation methods of food anthocyanins, isoflavones and flavanols. *Journal of Chromatography A*. 1216, 7143–7172.
- Vinayagam R., Jayachandran M. & Xu B. 2016. Antidiabetic Effects of Simple Phenolic Acids: A Comprehensive Review. *Phytotherapy Research*. 30 (2):184-99.
- Vitrac X., Moni J.P., Vercauteren J., Deffieux G. & Mérillon J. M. 2002. Direct liquid chromatography analysis of resveratrol derivatives and flavanols in wines with absorbance and fluorescence detection. *Analytica Chimica Acta*. 458 (1): 103-110.
- Vlahov G. 1992. Flavonoids in three olive (*Olea europaea*) fruit varieties during maturation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 58: 157–159.

Yu L., Yang J., Wang X., Jiang B., Sun Y. & Ji Y. 2016. Antioxidant and antitumor activities of *Capparis spinosa L.* and the related mechanisms. *Oncology reports*. In print.

Zamora-Ros R., Rothwell J.A., Scalbert A. 2013. Dietary intakes and food sources of phenolic acids in the european prospective investigation into cáncer and nutrition (EPIC) study. *British Journal of Nutrition*. 110: 251-257.

Zhang Y., Li Y., Cao C., Cao J., Chen W., Zhang Y., Wang C., Wang J., Zhang X. & Zhao X. 2010. Dietary flavonol and flavone intakes and their major food sources in Chinese adults. *Nutrición Y Cáncer*. 62 (8): 1120-7.