



Biotecnia

E-ISSN: 1665-1456

biotecnia@ciencias.uson.mx

Universidad de Sonora

México

Perez-Perez, Liliana Maribel; García-Borbón, Leslie; González-Vega, Ricardo Iván; Rodríguez-Figueroa, José Carlos; Rosas-Burgos, Ema Carina; Huerta-Ocampo, José Ángel; Ruiz-Cruz, Saúl; Wong-Corral, Francisco Javier; Borboa-Flores, Jesús; Rueda-Puente, Edgar Omar; Del-Toro-Sánchez, Carmen Lizette
LIBERACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS LIGADOS EN EL GARBAZO (*Cicer arietinum L.*) UTILIZANDO MICROBIOTA HUMANA INTESTINAL
Biotecnia, vol. 20, núm. 3, septiembre-diciembre, 2018, pp. 146-154
Universidad de Sonora

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=672971088020>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



LIBERACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS LIGADOS EN EL GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) UTILIZANDO MICROBIOTA HUMANA INTESTINAL

RELEASE OF LINKED PHENOLIC COMPOUNDS IN CHICKPEA (*Cicer arietinum* L.) USING INTESTINAL HUMAN MICROBIOTA

Liliana Maribel Perez-Perez¹, Leslie García-Borbón¹, Ricardo Iván González-Vega¹, José Carlos Rodríguez-Figueroa¹, Ema Carina Rosas-Burgos¹, José Ángel Huerta-Ocampo², Saúl Ruiz-Cruz³, Francisco Javier Wong-Corral¹, Jesús Borboa-Flores¹, Edgar Omar Rueda-Puente¹, Carmen Lizette Del-Toro-Sánchez^{1*}

¹ Universidad de Sonora, Rosales y Niños Heroes S/N, 83000, Hermosillo, Son, México.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Carretera a La Victoria km 0.6 C.P. 83304, Hermosillo, Sonora, México.

³ Instituto Tecnológico de Sonora-ITSON, Cd. Obregón, Sonora, México.

RESUMEN

El garbanzo es una legumbre que además de aportar nutrientes para la salud, contiene una serie de compuestos bioactivos, principalmente compuestos fenólicos considerados altamente antioxidantes. Por lo tanto, puede prevenir enfermedades generalmente crónico-degenerativas. El problema con estos compuestos es que alrededor del 70 al 90 % se encuentran ligados a la matriz alimentaria a través de enlaces covalentes; para que puedan pasar a torrente sanguíneo y ejercer su actividad biológica (biodisponibilidad) tienen primero que estar liberados de la matriz alimentaria y biotransformarse en compuestos de bajo peso molecular para que puedan atravesar el intestino (bioaccesibilidad). Desafortunadamente el intestino delgado (donde se lleva a cabo la mayor absorción) carece de enzimas específicas para la hidrólisis de los compuestos ligados, por lo que tienen que pasar al intestino grueso, donde la microbiota intestinal se encarga de su hidrólisis. Sin embargo, aún no están bien definidos los mecanismos que la microbiota utiliza para realizar esta acción. Por lo tanto, en esta revisión se describe la importancia de los compuestos fenólicos del garbanzo, así como su bioactividad y mecanismos que la microbiota utiliza para hacerlos más bioaccesibles y biodisponibles.

Palabras clave: *Cicer arietinum*, compuestos fenólicos, microbiota, bioaccesibilidad, biodisponibilidad

ABSTRACT

The chickpea is a legume that in addition to providing nutrients for health, contains bioactive compounds, mainly phenolic compounds considered highly antioxidants, therefore they prevent usually chronic-degenerative diseases. The problem with these compounds is that around of 70 to 90% are bond in the food matrix by covalent bonds and so they can go to bloodstream and exert its biological activity (bioavailability) must first be freed from the food matrix and become compounds of low molecular weight so that they can pass through the intestine (Bioaccessibility). Unfortunately, the small intestine (where it is carried out the greatest absorption) lacks of specific enzymes for hydrolysis of the bound compounds, then they have to go to the large intestine where the intestinal microbiota is responsible for this hy-

drolysis. However, are still not very specific the mechanisms that the microbiota used to perform this action. Therefore, in this review describes from the importance of phenolic compounds of chickpeas, until its bioactivity and mechanisms that the microbiota uses to make them more bioaccessible and bioavailables.

Keywords: *Cicer arietinum*, phenolic compounds, microbiota, bioaccessibility, bioavailability

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tendencias en el consumo de alimentos y los cambios en el estilo de vida se han enfocado a buscar productos más saludables, que además de su aporte nutricional tenga un efecto benéfico a la salud, como es el caso de las legumbres (Mendoza-Jiménez *et al.*, 2018). Un número creciente de estudios afirman que los beneficios a la salud, debido al consumo de legumbres como el garbanzo son, gracias al contenido de fibra soluble e insoluble, almidón resistente a la degradación durante el proceso digestivo, a la presencia de proteínas con propiedades bioactivas, así como a los compuestos fenólicos (Delgado-Andrade *et al.*, 2016).

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios que se encuentran en las plantas, cuya función es proporcionar un buen desarrollo y crecimiento y, a su vez, ser un mecanismo de defensa (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz, 2013; De la Rosa-Alcaraz *et al.*, 2017). Su clasificación es muy amplia, de forma general se pueden dividir flavonoides o no flavonoide (Figura 1). El garbanzo presenta gran variedad de compuestos fenólicos, especialmente, alta proporción de taninos condensados. Si bien, hace años se consideraban un factor anti nutriente, debido a la capacidad de formar complejos con las proteínas y elementos minerales divalentes, interfiriendo en su absorción y utilización digestiva, hoy en día forman parte de los componentes bioactivos de los alimentos por su actividad antioxidante (Gil y Majem, 2010). También contiene flavonoides y ácidos fenólicos que tienen alto impacto por su actividad antioxidante (Quintero-Soto *et al.*, 2018). Éstos reducen el estrés oxidativo, poseen propiedades antiinflamatorias y participan en la prevención de enfermedades crónico-degenerativas como el cáncer y padecimientos cardiovasculares. Su efectividad depende

*Autor para correspondencia: Carmen Lizette Del Toro Sánchez
Correo electrónico: carmen.deltoro@unison.mx

Recibido: 25 de septiembre de 2017

Aceptado: 14 de diciembre de 2017

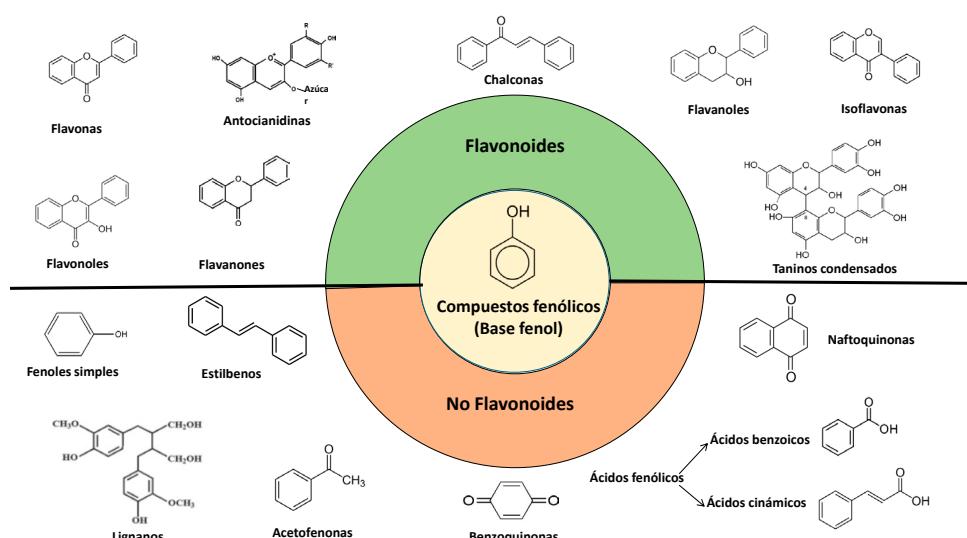


Figura 1. Clasificación de los compuestos fenólicos.
Figure 1. Classification of phenolic compounds.

de la cantidad consumida y su biodisponibilidad (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz, 2013).

Sin embargo, no todos los polifenoles se absorben con la misma eficacia dentro del organismo. En el garbanzo los compuestos fenólicos se encuentran del 20 al 30 % en forma libre (interaccionan con otras moléculas por enlaces débiles como puentes de hidrógeno o interacciones hidrofóbicas), y del 70 al 90 % se encuentran en forma ligada (unidos a celulosa, hemicelulosa, pectinas etc., por enlaces éster) (Figura 2) (Shahidi y Yeo, 2016). Son ampliamente metabolizados por enzimas intestinales y hepáticas, así como por la microbiota intestinal. En general, la absorción de los polifenoles en el

tracto digestivo comienza en el íleon, donde las estructuras más complejas como ésteres, glucósidos o polímeros no pueden ser absorbidas en su forma original, por lo tanto, deben ser hidrolizadas por las enzimas que se encuentran en el intestino o por la microbiota intestinal antes de que puedan ser absorbidos (Serra et al., 2012; Surco-Laos et al., 2016). En consecuencia, en esta revisión se describe la liberación de compuestos fenólicos a través de la microbiota intestinal con el fin de poder ser mejor aprovechados por el organismo y de esta forma poseer los beneficios a la salud que confieren este tipo de compuestos.

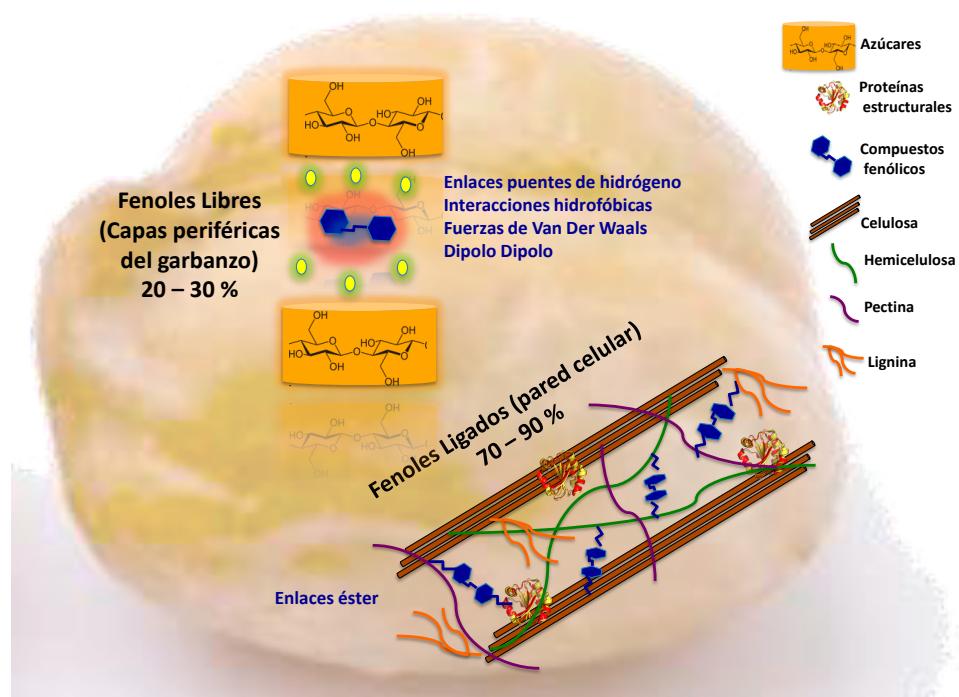


Figura 2. Fenoles libres y ligados en el grano de garbanzo.
Figure 2. Free and bond phenols in the chickpea grain.

Generalidades del garbanzo

El garbanzo (*Cicer arietinum*) es una leguminosa de la familia Fabaceae, el cual ocupa el tercer lugar en cuanto a cantidad de producción total mundial (13 millones de toneladas) (Gupta et al., 2017; SIAP, 2017). Es un cultivo idóneo debido a que es una planta resistente a la sequía y a las bajas temperaturas (siendo su rango térmico de desarrollo de 5-35 °C) (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz, 2013). Además, mejora la calidad del suelo a través de la fijación de nitrógeno (Armenta-Calderón et al., 2016; Jat et al., 2018). Existen dos tipos de garbanzo, el kabuli y desi. En el tipo kabuli las semillas son grandes, menos arrugadas y de color blanco o crema. El tipo desi, son semillas pequeñas y de color marrón, contiene una capa áspera con una angularidad pronunciada y una superficie fuertemente estriada. Las primeras se destinan al consumo humano y las segundas al forrajero (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz, 2013).

En los últimos años han surgido grandes cambios en la selección de alimentos para la dieta, en donde el consumidor además de inocuidad y de abastecimiento de nutrientes esenciales, demanda alimentos que contengan compuestos bioactivos que auxilien en la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, un gran ejemplo son las leguminosas como el garbanzo. Bajo este contexto, el consumo del garbanzo presenta beneficios significativos para la nutrición humana y para la salud cuando se consumen con regularidad en dietas bien equilibradas. Es por ello que las guías alimentarias destacan la necesidad del consumo de cereales y leguminosas (USDA, 2010; Rochín-Medina et al., 2015).

Actualmente se han tratado de enriquecer los alimentos que consumimos en nuestra dieta haciendo combinaciones de cereal-leguminosa, por ejemplo Carmelo-Méndez et al. (2017), elaboraron pastas con garbanzo y maíz; Javan et al. (2018), suplementaron harina con garbanzo y cereales (arroz, trigo y cebada); Benkadri et al. (2018), elaboraron bizcochos libres de gluten a base de arroz y garbanzo. Adicionalmente, se han suplementado alimentos con garbanzo como en el caso de postres lácteos (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz, 2018), harinas (Chávez-Murillo et al., 2018) y café (Sezer et al., 2018), entre otros. Por lo tanto, existe gran variedad de alimentos suplementados con garbanzo y, todos ellos demuestran ser productos con grandes beneficios a la salud debido a sus componentes nutricionales y en su mayoría a los compuestos fenólicos que contiene.

Compuestos fenólicos en el garbanzo

El garbanzo se compone principalmente de carbohidratos (66.3 %), seguido de proteína (22.7 %), lípidos (5 %), fibra (3 %) y minerales (3 %). Además de ser una fuente rica de proteínas y carbohidratos, es también fuente de compuestos fenólicos (2.2 %) (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz, 2013). Los compuestos fenólicos en el garbanzo se pueden encontrar de diferentes formas, como lo son aquellos que están enlazados en las matrices del alimento o interaccionando química o físicamente con otras macromoléculas, por ejemplo unidos químicamente a macromoléculas de alto peso molecular

tales como fibra dietética, unido iónicamente a la matriz alimentaria, físicamente atrapado a la matriz de alimentos y atrapado en varias estructuras celulares (Gokmen et al., 2009). Del total de los compuestos fenólicos que conforman el garbanzo, la mayor parte (70-90 %) se encuentra en forma ligada por enlaces covalentes tipo éster a componentes de la pared celular como celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, etc. El resto (20-30 %) pertenecen a los compuestos solubles o libres, que se encuentran en las capas periféricas del grano de garbanzo, los cuales pueden estar interaccionando con otras moléculas a través de enlaces débiles como puentes de hidrógeno, fuerzas electrostáticas, interacciones hidrofóbicas, dipolo-dipolo y fuerzas de Van Der Waals (Figura 2) (Wang et al., 2016).

El contenido fenólico en granos ha sido comúnmente subestimado en la literatura, porque los fenoles ligados a la matriz del alimento generalmente no se incluyen en los estudios. En la mayoría de los estudios relacionados a leguminosas, reportan el contenido de fenoles totales, pero generalmente es en base a la extracción de los fenoles libres (Tabla 1). Sin embargo, Heira-Palazuelos et al. (2013) y Wang et al. (2016) han cuantificado fenoles libres y ligados, pero en garbanzo crudo (Tabla 2), manteniéndose la mayor proporción de fenoles en la forma ligada.

En un estudio realizado por Xu et al. (2007) se cuantificaron fenoles totales en garbanzo, reportando aproximadamente 1.68 mg EAG/g de muestra. Sin embargo, Silva-Cristobal et al. (2010) determinaron una cantidad de 0.72 mg EAG/g. Posteriormente Singh et al. (2013), cuantificaron 2.1 mg EAG/g y recientemente Niño-Medina et al. (2017), reportaron 1.61 mg EAG/g. Por lo tanto, la cantidad de fenoles totales en el garbanzo puede variar considerablemente dependiendo de varios factores, como lugar de muestreo, fecha de cosecha, composición fitoquímica, técnicas y condiciones de extracción, entre otros.

Por otra parte, los compuestos fenólicos identificados en el garbanzo han sido ácidos hidroxibenzoicos, aldehídos, ácidos hidroxicinámicos y derivados, antocianinas, proantocianinas, y glucósidos de flavonoles e isoflavinas (Gil, 2010; Gavirangappa et al., 2014; Wang et al., 2016). En la Tabla 3, se puede observar que hay escasos estudios de identificación de compuestos fenólicos en diferentes tratamientos de garbanzo. A pesar de que la cantidad de fenólicos es relativamente baja, se ha demostrado que muy pequeñas cantidades de este tipo de compuestos pueden conferir actividades biológicas importantes dentro del organismo, de ahí la importancia de su estudio.

Bioactividad de los compuestos fenólicos del garbanzo

Lo más destacable de los compuestos fenólicos son sus propiedades antioxidantes, es decir, inhiben la oxidación de biomoléculas importantes (Soobrattee et al., 2005). El potencial antioxidante de los compuestos fenólicos se debe a su capacidad quelante y captura de radicales libres (Alamed et al., 2009). En general, se puede decir que esta propiedad va a depender de la estructura química de los compuestos y

Tabla 1. Cuantificación de fenoles totales en diferentes legumbres.
Table 1. Cuantification of total phenols in different legumes.

Nombre científico	Nombre común	Fenoles totales mg EAG*/g	Referencia
<i>Cicer arietinum</i>	Garbanzo	0.72 ± 0.20	Silva-Cristobal et al., (2010)
	Garbanzo	1.61 ± 0.07	Niño-Medina et al., (2017)
	Garbanzo	1.68 ± 0.04	Xu et al.,(2007)
	Garbanzo	2.10 ± 0.00	Singh et al., (2013)
<i>Glycine hispida</i>	Soya	18.70 ± 0.02	Djordjevic et al., (2011)
<i>Glycine max</i>	Soya	02.08 ± 0.02	Niño-Medina et al., (2017)
	Soya	02.50 ± 0.00	Singh et al., (2013)
	Soya negra	02.35 ± 0.03	Xu et al.,(2007)
	soya amarilla	02.44 ± 0.12	Xu et al.,(2007)
<i>Lens culinaris</i>	Lenteja	03.09 ± 0.20	Silva-Cristobal et al., (2010)
	Lenteja	21.90 ± 0.03	Djordjevic et al., (2011)
<i>Lens sculenta</i>	Lenteja roja	04.90 ± 0.00	Singh et al., (2013)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol riñón	08.09 ± 0.00	Singh et al., (2013)
	Frijol rojo	18.80 ± 0.05	Djordjevic et al., (2011)
	Frijol rojo	03.73 ± 0.07	Xu et al.,(2007)
	Frijol negro	02.51 ± 0.02	Xu et al.,(2007)
	Frijol negro	02.54 ± 0.30	Silva-Cristobal et al., (2010)
	Frijol pinto	03.74 ± 0.13	Akillioglu et al., (2010)
<i>Phaseolus vulgaris</i> L. cv. Dermason	Frijol común	2.36 ± 0.11	Akillioglu et al., (2010)
<i>Pisum sativum</i>	Chícharo verde	01.31 ± 0.20	Xu et al.,(2007)
	Chícaro amarillo	01.42 ± 0.04	Xu et al.,(2007)
<i>Vigna aconitifolia</i>	Frijol makusta	02.40 ± 0.00	Singh et al., (2013)
<i>Vicia faba</i>	Haba	10.70 ± 0.00	Siah et al., (2014)
<i>Vigna radiata</i>	Frijol mungo	06.90 ± 0.00	Singh et al., (2013)
	Frijol mungo	17.00 ± 0.05	Djordjevic et al., (2011)

* mg EAG: miligramos de Equivalentes de Ácido Gálico.

de la presencia de grupos hidroxilo presentes en la molécula. Los grupos hidroxilo, al estar unidos a un anillo bencénico, presentan la posibilidad de que el radical libre interaccione con los electrones del anillo, lo que les confiere características especiales respecto al resto de alcoholes. Por otro lado, pueden actuar como quelantes (sobre todo los fenoles no flavonoides) y formar complejos con metales di o trivalentes, especialmente con el hierro y el aluminio, lo que puede tener también implicaciones nutricionales (Segev et al., 2010). De acuerdo a Quintero-Soto et al. (2018), el ácido sináptico hexósido, ácido gálico, miricetina, querctetina y catequina,

Tabla 2. Contenido de compuestos fenólicos totales libres y ligados en garbanzo
Table 2. Contain of total free and bond phenolic compounds of chickpea.

Fenoles totales (mg EAG*/g)	Fenoles libres (mg EAG*/g)	Fenoles ligados (mg EAG*/g)	Tipo muestra de garbanzo	Referencia
0.34	0.21	0.15	Crudo	Wang et al., 2016
1.31	0.29	1.08	Crudo Café -ICC3512	
1.33	0.31	1.02	Crudo Rojo- ICC13124	
1.35	0.34	1.07	Crudo Negro ICC3761	Heiras et al., 2013
1.43	0.48	0.95	Extrudido Café -ICC3512	
1.40	0.51	0.89	Extrudido Rojo- ICC13124	
1.44	0.54	0.98	Extrudido Negro ICC3761	

* mg EAG: miligramos de Equivalentes de Ácido Gálico

son los principales responsables de la actividad antioxidante en el garbanzo.

De todos los compuestos fenólicos, el grupo de los flavonoides es el más extendido en la naturaleza y dentro de ellos, los flavonoles son los que poseen un mayor potencial antioxidante. Estudios epidemiológicos han demostrado que una ingestión rica en flavonoides se correlaciona con un menor riesgo de enfermedad cardiovascular y se ha observado que actúan a diferentes niveles (Denny y Buttriss, 2007). Las propiedades quimioprotectoras e inmunoestimuladoras contra diversos tipos de cáncer han sido ampliamente estudiadas en extractos del garbanzo (Jayaprakash y Das, 2018). También al garbanzo se le han atribuido propiedades analgésicas, anti-inflamatorias y diuréticas (Masroor et al., 2018; Monk et al., 2018). Adicionalmente, estudios realizados en ratones albinos machos incorporando garbanzo en su dieta, demostraron que se puede mejorar la eficacia de la fertilidad elevando los niveles de testosterona en suero, la concentración y motilidad de espermatozoides, así como los niveles de antioxidantes testiculares como glutatión, glutatión peroxidasa y catalasa (Sayed et al. 2018); de igual forma, los niveles de colesterol y triglicéridos en suero se ven disminuidos con los compuestos fenólicos del garbanzo (Xue et al., 2018).

Por otra parte, las tendencias alimentarias no solo están en función del consumo del garbanzo, sino también del aprovechamiento de sus propiedades para ayudar a proteger o conferir valor agregado a otros alimentos, como por ejemplo, empleándolos en películas comestibles. En este sentido, Akhtar et al. (2018), incorporaron garbanzo a películas hechas a base de carboximetil celulosa obteniendo cubiertas comestibles con potencial efecto antioxidante.

Para que los compuestos fenólicos puedan aportar sus propiedades bioactivas, principalmente la antioxidante,

Tabla 3. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos en garbanzo
Table 3. Identification and quantification of phenolic compounds in chickpea

Referencia	Compuesto fenólico	Compuestos fenólicos totales (μg/g)					
		Fenoles Libres (μg/g)	Fenoles Ligados (μg/g)	Garbanzo Crudo	Garbanzo Germinado	Garbanzo Cocido tradicional	Garbanzo Cocido por microondas
Wang et al., 2016	Isoqueritrina	95.01	-	-	-	-	-
Gavirangappa et al., 2014	Quercitrina	99.02	-	-	-	-	-
Gavirangappa et al., 2014	Quercetina	90.80	-	-	-	-	-
Gavirangappa et al., 2014 Quintero-Soto et al., 2018*	Ácido gálico	70.79 -	82.85 -	40.2 194.9	-	12.6 -	20.8 -
Gavirangappa et al., 2014 Xu et al., 2018+	Ácido protocatecuico	95.34 35.0	110.98 2.8	358.9 -	514.2 37.8	466.8 -	312.1 -
Gavirangappa et al., 2014 Quintero-Soto et al., 2018*	Ácido p-hidroxi benzoico	- -	- -	10.5 49.1	14.9 -	-	53.3 -
Gavirangappa et al., 2014 Xu et al., 2018+ Quintero-Soto et al., 2018*	Ácido gentísico	- -	21.4 -	26.0 0.4	34.4 -	13.6 -	18.5 -
Gavirangappa et al., 2014 Quintero-Soto et al., 2018*	Ácido vanílico	- -	- -	80.8 0.78	70.2 -	7.54 -	45.1 -
Gavirangappa et al., 2014	Ácido siríngico	-	-	222.1	186.9	222.1	354.9
Gavirangappa et al., 2014	Ácido p-cumárico	-	-	-	-	0.33	0.46
Gavirangappa et al., 2014 Quintero-Soto et al., 2018*	Ácido ferúlico	-	-	0.90 4.1	-	0.97	0.84
Gavirangappa et al., 2014 Quintero-Soto et al., 2018*	Ácido sinápico hexósido	- -	- -	7.81 235.6	-	0.47 -	0.49 -
Gavirangappa et al., 2014	Ácido salicílico	-	-	-	-	76.6	6.57
Gavirangappa et al., 2014	Ácido cinámico	-	-	-	-	-	2.93
Xu et al., 2018+	Hesperetina	2.9	0.8	-	3.7	-	-
Xu et al., 2018+ Quintero-Soto et al., 2018*	Kaempferol	- -	21.2 0.38	- -	21.2 -	-	-
Xu et al., 2018+	Prunetina	11.2	17.8	-	39.0	-	-
Xu et al., 2018+	Gliciteína	31.2	26.2	-	74.5	-	-
Xu et al., 2018+	Formononetina	17.6	26.6	-	44.2	-	-
Xu et al., 2018+	Pseudobaptigenina	14.1	7.5	-	21.6	-	-
Quintero-Soto et al., 2018*	Ácido dihidroxibenzoico	-	-	2.4	-	-	-
Quintero-Soto et al., 2018*	Ácido benzoico	-	-	3.7	-	-	-
Quintero-Soto et al., 2018*	Catequina Catequina pentósido	- -	- -	48.5 71.2	-	-	-
Quintero-Soto et al., 2018*	Rutina	-	-	0.26	-	-	-

*Los datos fueron del garbanzo kabuli blanoro. +Los datos fueron del cuarto día de germinación.

dependerá directamente de su bioaccesibilidad y su biodisponibilidad (Figura 3). La bioaccesibilidad está definida como la fracción máxima de una sustancia que puede liberarse de la matriz del alimento hacia el tracto gastrointestinal. La biodisponibilidad representa a la fracción de una sustancia que alcanza la circulación sistémica a partir del tracto gastrointestinal y que se encuentra disponible para ejercer acción en el organismo (Manach *et al.*, 2004; Gutierrez-Grijalava *et al.*, 2016). Por lo tanto, para que los compuestos fenólicos sean bioaccesibles y biodisponibles, deben ser alterados por la flora intestinal, metabolizados y transformados a nivel hepático.

Papel de la microbiota en la liberación de compuestos fenólicos

El término "microflora" o "microbiota" intestinal hace referencia al ecosistema microbiano que coloniza el tracto gastrointestinal, el cual incluye especies nativas (adquiridas al nacer y durante el primer año de vida) que colonizan permanentemente el tracto gastrointestinal y una serie variable de microorganismos vivos que transitan temporalmente por el tubo digestivo (se ingieren continuamente a través de alimentos, bebidas, etc.). La población microbiana del intestino humano incluye unos 100 billones de bacterias de unas 500 a 1000 especies distintas (Guarner, 2007). Las bacterias más comunes son *Bacteroides* y *Fusobacterium* entre los bacilos gramnegativos, y especies de *Peptostreptococcus*, *Sarcina* y *Veillonella* entre los cocos. Los bacilos grampositivos están representados por especies de *Bifidobacterium*, *Actinomyces*, *Bacillus*, *Lactobacillus* y *Clostridium*. Entre los anaerobios facultativos predominan las entrobacterias siendo *Escherichia coli* la que predomina, seguida de especies de *Klebsiella*, *Proteus*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. Entre los cocos grampositivos pueden hallarse especies de *Enterococcus*, *Streptococcus* y *Staphylococcus* (Eckburg *et al.*, 2005; Popa *et al.*, 2015).

La mayoría de los polifenoles presentes en los alimentos se encuentran en forma de glucósidos (flavonoles, fla-

vonas, flavanonas, isoflavonas y antocianinas), junto con los oligómeros menos frecuentes (proantocianidinas), que no se pueden absorber en la mucosa intestinal. Sólo las agliconas y algunos glucósidos intactos pueden ser absorbidos. Por lo tanto, los polifenoles nativos de la matriz alimentaria necesitan ser conducidos por enzimas humanas y microbianas como un mecanismo necesario para que pasen a través de la barrera intestinal (Valdés *et al.*, 2015). Generalmente una proporción grande de fenoles no absorbidos en el intestino delgado (> 500 Da), principalmente los compuestos fenólicos ligados, deberán pasar al intestino grueso donde serán metabolizados por la microbiota intestinal produciendo fenoles de menor peso molecular con una mayor absorción (Chen *et al.*, 2012). Consecuentemente, la capacidad antioxidante de estos compuestos aumentará debido a que los grupos funcionales de los compuestos fenólicos se encontrarán más expuestos (Singleton, 1981; Spencer *et al.*, 2000; Tomás-Barberan *et al.*, 2001; Serrano *et al.*, 2009). Sin embargo, la participación definitiva de las bacterias en el metabolismo de los fenoles no está completamente establecida, pero existen estudios que tratan de explicar ciertos mecanismos.

Algunas investigaciones indican que los compuestos fenólicos como los flavonoides pueden pasar por varias etapas, tanto en el intestino delgado como en el grueso (Figura 4). Primeramente, los compuestos fenólicos solubles o libres pueden ser hidrolizados por células de la mucosa, o bien pueden ser transportados en los enterocitos por el transportador de glucosa dependiente de sodio (SGLT1). Posteriormente pueden ser hidrolizados por la lactasa floridina hidrolasa (LPH) que se encuentra en el borde intestinal. Despues, en las células epiteliales la β -glucosidasa citosólica puede hidrolizar y formar agliconas (Surco-Laos *et al.*, 2016). Las agliconas liberadas experimentan transformaciones microbianas posteriores que pueden incluir fisión de anillo, α o β -oxidación, deshidrogenación, deshidroxilación y desmetilación, esto da como resultado la generación de

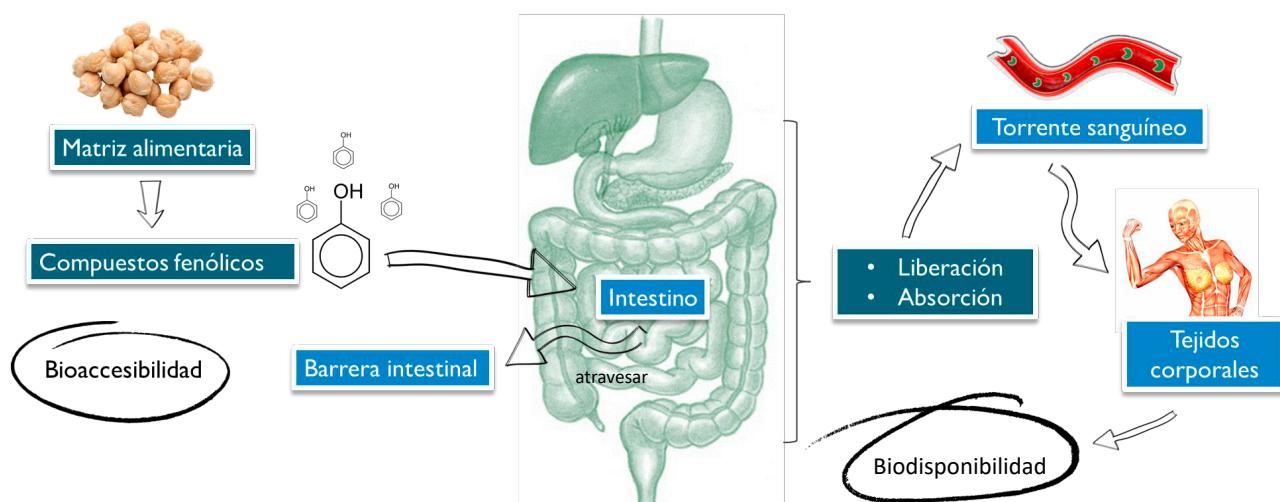


Figura 3. Bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los compuestos fenólicos.
Figure 3. Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds.

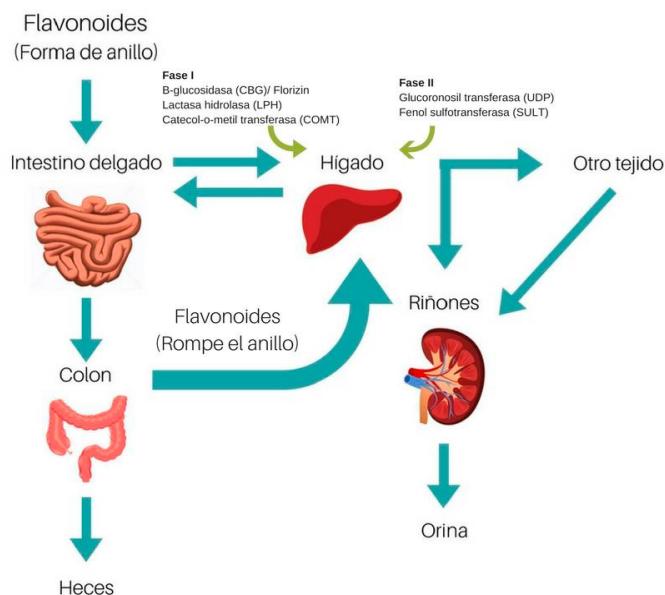


Figura 4. Etapas metabólicas de los flavonoides a partir del intestino.

Figure 4. Metabolic Stages of flavonoids from the intestine.

compuestos más simples (Mosele, 2015). Los agliconas y monómeros de polifenol se pueden transportar a través de difusión pasiva y portadores de membrana en la circulación enterohepática. Sin embargo, existen algunos compuestos fenólicos como flavinas, ácido ferúlico, ácido cinámico, ácido p-cumárico, que ya absorbidos pueden convertirse en compuestos glucoronidados, ya que no pueden ser utilizados como energía, entonces el organismo termina por excretarlos en orina y bilis (Shahidi y Yeo, 2016). La efectividad de absorción de polifenoles del tracto alimentario está influenciada por varios factores, por ejemplo, la masa molecular, pH ambiental, hidrofobicidad, grado de polimerización y el tipo de azúcar presente en la molécula (Tarko et al., 2009).

Finalmente, los compuestos fenólicos de forma ligada son hidrolizados por enzimas como esterasas y xilanásas, entre otras. Estas enzimas son segregadas por los microorganismos que se encuentran en el colon. Algunos microorganismos encargados de sintetizar dichos compuestos son: *Clostridium spp*, *Eubacterium spp* y *Bifidobacterium adolescentes* (Acosta-Estrada et al., 2014). La microbiota intestinal también puede degradar agliconas, liberando compuestos aromáticos simples, como los ácidos hidroxifenilacéticos de flavonoles, ácidos hidroxifenilpropiónicos de flavonas y flavanonas así como también fenilvalerolactonas y ácidos hidroxifenilpropiónicos de flavonoles, los cuales pueden ser absorbidos y posteriormente conjugados (Mosele et al., 2015).

Existen identificadas algunas enzimas de la microbiota que ayudan a la bioaccesibilidad de los fenoles como la esterasa de ácido ferúlico y esterasa de ácido p-cumárico (Cooper-Bribiesca, 2013). En frijol se ha demostrado que las esterasas de la microbiota pueden liberar ácido diferúlico de los polisacáridos (Andreasen et al., 2001). Por otra parte, en frijol cargamanto se puede liberar ácido ferúlico, ácido sinámico, flavonoles, ácido p-cumarico, ácido p-hidroxibenzoico,

epicatequina y catequina a través de las enzimas pectinásas, arabanasa, celulasas y B-glucanasas (Chen et al., 2015). Adicionalmente, los estudios en otras leguminosas se han enfocado prácticamente al estudio de microorganismos individuales sobre la liberación y transformación de algún fenol específico. Lo anterior pudiera explicar la intervención del sistema enzimático de un microorganismo en particular, pero es muy probable que un conjunto de microorganismos ayude a la bioaccesibilidad de los fenoles, por lo que no hay estudios en el garbanzo que se enfoquen directamente al perfil enzimático de la microbiota en conjunto.

Existen modelos de cultivo de microbiota humana intestinal que simulan procesos microbianos en el intestino grueso que se han utilizado ampliamente para investigar el metabolismo microbiano de polifenoles (Van de Wiele et al., 2007; Gross et al., 2010; Van Duynhoven et al., 2011). La complejidad de los modelos intestinales *in vitro* es diversa, estos van desde la simple carga de fermentación fecal para modelos continuos avanzados, hasta modelos de lectura, tales como el Simulador del Ecosistema Microbiano Intestinal Humano (SHIME, por sus siglas en inglés), y el modelo TNO Intestinal 2 (TIM 2) (Van Duynhoven et al., 2011). Sin embargo, a pesar de las técnicas avanzadas, la ventaja de las incubaciones fecales es que proveen un medio sencillo para ensayar diferentes condiciones experimentales usando muestras fecales de diferentes individuos (Macfarlane y Macfarlane, 2007). Actualmente ya se han estudiado incubaciones fecales en algunos cereales (Andreasen et al., 2001) y legumbres como el frijol (Chen et al., 2012) para determinar un perfil enzimático de la microbiota capaz de liberar los compuestos fenólicos ligados; sin embargo, en la mayoría de las legumbres esta información es escasa, por lo que sería un área de oportunidad para futuros estudios sobre el tema.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la revisión bibliográfica analizada, en garbanzo no se han realizado estudios sobre la forma de liberación y transformación de los fenoles ligados y tampoco se han determinado las enzimas que participan en la microbiota humana para este fin. Si bien, ya se han identificado algunas enzimas en otras matrices alimentarias, el perfil enzimático puede variar dependiendo el tipo de matriz alimentaria y el tipo de compuestos fenólicos. Por lo tanto, obteniendo el perfil enzimático, en estudios posteriores se podrían caracterizar enzimas específicas que podrían ser utilizadas para liberación y transformación selectiva de fenoles de otras matrices de legumbres, considerándose un proceso amigablemente ecológico. En consecuencia, los fenólicos liberados por estas enzimas se pueden considerar como naturales por las autoridades regulatorias, de esta forma se podrían utilizar en bioprocessos o bien, en la elaboración y formulación de alimentos funcionales.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública (SEP) por el apoyo económico del proyecto DSA/103.5/16/10231.

REFERENCIAS

- Akhtar, H.M.S., Riaz, A., Hamed, Y.S., Abdin, M., Chen, G., Wan, P. y Zeng, X. 2018. Production and characterization of CMC-based antioxidant and antimicrobial films enriched with chickpea hull polysaccharides. International Journal of Biological Macromolecules.118 (Pt A): 469-477.
- Acosta-Estrada, B.A., Gutiérrez-Uribe, J.A. y Serna-Saldívar, S.O. 2014. Bound phenolics in foods, a review. Food Chemistry. 152: 46-55.
- Aguilar-Raymundo, V.G. y Vélez-Ruiz, J.F. 2018. Physicochemical and Rheological Properties of a Dairy Dessert, Enriched with Chickpea Flour. Foods. 7(2): E25.
- Aguilar-Raymundo, V. y J. Vélez-Ruiz. 2013. Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Temas Selectos De Ingeniería De Alimentos. 7(2): 25-34.
- Akillioglu, H.G. y Karakaya S. 2010. Changes in total phenols, total flavonoids and antioxidant activities of common bean and pinto beans after soaking, cooking and in vitro digestion process. Food Science and Biotechnology. 19 (3): 633-639.
- Alamed, J., Chaiyosit, W., McClements, D.J. y Decker, E.A. 2009. Relationships between free radical scavenging and antioxidant activity in foods. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 57(7): 2969-2976.
- Andreasen, M.F., Kroon, P.A., Williamson, G. y Garcia-Conesa, M.T. 2001. Intestinal release and uptake of phenolic antioxidant diferulic acids. Free Radical Biology and Medicine. 31: 304-314.
- Armenta-Calderón, A.D., Furazola-Gómez, E., Moreno-Salazar, S.F., Ayala-Astorga y G.I., Ochoa-Meza, A. 2016. Variación en el estatus micorrízico de leguminosas del desierto sonorense. Biotecnia. XVIII (1): 52-58.
- Benkadri, S., Salvador, A., Zidoune, M.N. y Sanz, T. 2018. Gluten-free biscuits based on composite rice-chickpea flour and xanthan gum. Food Science and Technology International. doi: 10.1177/1082013218779323.
- Camelo-Méndez, G.A., Flores-Silva, P.C., Agama-Acevedo, E. y Bello-Pérez, L.A. 2017. Multivariable Analysis of Gluten-Free Pasta Elaborated with Non-Conventional Flours Based on the Phenolic Profile, Antioxidant Capacity and Color. Plant Foods for Human Nutrition. 72(4): 411-417.
- Chávez-Murillo, C.E., Veyna-Torres, J.I., Cavazos-Tamez, L.M., de la Rosa-Millán, J. y Serna-Saldívar, S.O. 2018. Physicochemical characteristics, ATR-FTIR molecular interactions and in vitro starch and protein digestion of thermally-treated whole pulse flours. Food Research International. 105: 371-383.
- Chen, H., Hayek, S., Rivera-Guzman, J., Gillitt, N.D., Ibrahim, S.A., Jobin, C. y Sang, S. 2012. The microbiota is essential for the generation of black tea theaflavins-derived metabolites. PLOS ONE. 7(12): 1-10.
- Chen, P.X., Dupuis, J.H., Marcone, M.F., Pauls, K.P., Liu, R., Liu, Q., Tang, Y., Zhang, B. y Tsao, R. 2015. Physicochemical properties and in vitro digestibility of cooked regular- and non-darkening cranberry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and their effects on bioaccessibility, phenolic composition and antioxidant activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 63(48): 10448-10458.
- Cooper-Bribiesca. 2013. Enzimas xilanolíticas bacterianas y sus aplicaciones industriales. VERTIENTES Revista Especializada en Ciencias de la Salud. 16(1):19-22.
- De la Rosa-Alcaraz, M.A., Torrescano-Urrutia, G.R., Pérez-Álvarez, A.P., Fernández-López, J. y Sánchez-Escalante, A. 2017. Evaluación de fitoquímicos y actividad antioxidante de subproductos de dátil (*Phoenix dactylifera* L.) producidos en el estado de Sonora. Biotecnia. XIX (3): 11-17.
- Delgado-Andrade, C., Olías, R., Jiménez-López, J.C. y Clemente A. 2016. Aspectos de las legumbres nutricionales y beneficiosos para la salud humana. Arbor. 192(779): a313.
- 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.
- Djordjevis, T.M., Siler-Marinkovic, S. y Dimitrijevic-Brankovic, S. 2011. Antioxidant activity and total phenolic content in some cereals and legumes. International Journal of Food Properties. 14: 175-184.
- Eckburg, P.B., Bik, E.M., Bernstein, C.N., Purdom, E., Dethlefsen, L., Sargent, M., Gill, S.R., Nelson, K.E. y Relman, D.A. 2005 Diversity of the human intestinal microbial flora. Science. 308: 1635-1638.
- Gavirangappa, H. y Krishnapura, S. 2014. Bioaccessibility of polyphenols from wheat (*Triticum aestivum*), sorghum (*Sorghum bicolor*), green gram (*Vigna radiata*) and chickpea (*Cicer arietinum*) as influenced by domestic food processing. Journal of agriculture and food chemistry. 62(46): 11170-11179.
- Gil, Á. 2010. "Tratado de nutrición." Tomo II, Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos, Editorial Médica Panamericana, Capítulo 20: 535.
- Gil, Á. y Majem, S. 2010. Libro blanco del pan, Ed. Médica Panamericana. México.
- Gokmen, V., Serpen, A. y Fogliano, V. 2009. Medida directa de la capacidad antioxidante total de los alimentos: el enfoque "QUENCHER". Tendencias Food science Technology. 20: 278-88.
- Gross, G., Jacobs, D.M., Peters, S., Possemiers, S., van Duynhoven § , J., Vaughan, E.E. y van de Wiele, T. 2010. In vitro bioconversion of polyphenols from black tea and red wine/grape juice by human intestinal microbiota displays strong interindividual variability. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58: 10236-10246.
- Guarner, F. 2007. Papel de la flora intestinal en la salud y en la enfermedad. Nutrición hospitalaria. 22(Supl. 2): 14-19.
- Gupta, R.K., Gupta, K., Sharma, A., Das, M., Ansari, I.A., y Dwivedi, P. D. 2017. Health Risks and Benefits of Chickpea (*Cicer arietinum*) Consumption. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65, 6-22.
- Gutiérrez-Grijalva, E.P., Ambriz-Pérez, D.L., Leyva-López, N., Castillo-López, R.I. y Heredia, J.B. 2016. Biodisponibilidad de compuestos fenólicos dietéticos: Revisión. Revista Española de Nutrición Humana y Dietética. 20(2): 140-147.
- Heira-Palazuelos, M.J., Garzón-Tiznado, J.A., Espinoza-Moreno, R.J., Cano-Campos, C.M., Delgado-Vargas, F., Gutierrez-Dorado, R., Milan-Carrillo J., Reyes-Moreno, C. 2013. Potencial antioxidante y anti mutagénico de harinas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) tipo deshidratado. Memorias del XXXIV Encuentro Nacional y III Congreso Internacional de la AMIDIQ.
- Jat, R.L., Jha, P., Dotaniya, M.L., Lakaria, B.L., Rashmi, I., Meena, B.P., Shirale, A.O. y Meena, A.L. 2018. Carbon and nitrogen mineralization in Vertisol as mediated by type and placement method of residue. Environmental Monitoring and Assessment. 190(7): 439.
- Javan, R., Kooshki, A., Afzalaghaei, M., Aldaghi, M. y Yousefi, M. 2018. Effectiveness of supplementary blended flour based on chickpea and cereals for the treatment of infants with moderate acute malnutrition in Iran: A randomized clinical trial. Electron Physician Journal. 9(12): 6078-6086.
- Jayaprakash, B. y Das, A. 2018. Extraction and Characterization of Chick PEA (*Cicer arietinum*) Extract with Immunostimulant Activity in BALB/C MICE. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention. 19(3): 803-810.
- Macfarlane, G.T. y Macfarlane, S. 2007. Models for intestinal fermentation: association between food components, delivery systems, bioavailability and functional interactions in the gut. Current Opinion in Biotechnology. 18: 156-162.

- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémesy, C. y Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*. 79(5): 727-747.
- Masroor, D., Baig, S.G., Ahmed, S., Ahmad, S.M. y Hasan, M.M. 2018. Analgesic, anti-inflammatory and diuretic activities of *Cicer arietinum* L. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*. 31(2): 553-558.
- Mendoza-Jiménez, Y.L., Eusebio-Moreno, J.C., Álvarez-García, R., Abreu-Corona, A., Vergas-Hernández, G., Téllez-Jurado, A., Tovar-Jiménez, X. 2018. Actividad antioxidante de los hidrolizados proteicos del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) cv Negro primavera-28 y flor de duraznno. *Biotecnia*. XX(2): 25-30.
- Monk, J.M., Wu, W., McGillis, L.H., Wellings, H.R., Hutchinson, A.L., Liddle, D.M., Graf, D., Robinson, L.E. y Power, K.A. 2018. Chickpea supplementation prior to colitis onset reduces inflammation in dextran sodium sulfate-treated C57Bl/6 male mice. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*. doi: 10.1139/apnm-2017-0689.
- Mosele, J.I., Macià, A. y Motilva, M.J. 2015. Metabolic and microbial modulation of the large intestine ecosystem by non-absorbed diet phenolic compounds: a review. *Molecules*. 20(9): 17429-17468.
- Muzquiz, M. y Wood, J.A. 2007. Nutritional and compositional study of desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Punjab, Pakistan. *Food Chemistry*. 105: 1357-1363.
- Niño-Medina, G., Muy-Rangel, D. y Urías-Orona, V. 2017. Chickpea (*Cicer arietinum*) and Soybean (*Glycine max*) Hulls: By products with Potential Use as a Source of High Value Added Food Products. *Waste Biomass Valor*. 8(4): 1199-1203.
- Popa, D.E., Dragoi, C.M., Arsene, A.L., Dumitrescu, I.B., Nicolae, A.C., Velescu, B.S. y Burcea-Dragomiroiu, G.T.A. 2015. The relationship between phenolic compounds from diet and microbiota. *Food and Function*. 6: 2424-2439.
- Quintero-Soto, M.F., Saracho-Peña, A.G., Chavez-Ontiveros, J., Garzon-Tiznado, J.A., Pineda-Hidalgo, K.V., Delgado-Vargas, F. y Lopez-Valenzuela, J.A. 2018. Phenolic profiles and their contribution to the antioxidant activity of selected chickpea genotypes from Mexico and ICRISAT collections. *Plant Foods for Human Nutrition*. 73(2): 122-129.
- Rochín-Medina, J.J., Milán-Carrillo, J., Gutiérrez-Dorado, R., Cuevas-Rodríguez, E.O., Mora-Rochín, S., Valdez-Ortiz, A., Delgado-Vargas, F. and Reyes-amoreno, C. 2015. Bebida funcional de valor nutricional/nutraceuticalo alto elaborada a partir de una mezcla de granos integrales (maíz+garbanzo) extrudidos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 2(1): 51-65.
- Sayed, A.A., Ali, A.A. y Mohamed, H.R.H. 2018. Fertility enhancing efficacy of *Cicer arietinum* in male albino mice. *Cell Mol Biol* (Noisy-le-grand). 64(4): 29-38.
- Segev, A., Badani, H., Kapulnik, Y., Shomer, I., Oren-Shamir M. y Galili, S. 2010. Determination of Polyphenols, Flavonoids and Antioxidant Capacity in Colored Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Food Science*. 75 (2): S115-S119.
- Serra, A., Macià, A., Romero, M-P., Regant, J., Ortega, N. y Motilva, J. 2012. Metabolic pathways of the colonic metabolism of flavonoids (flavonols, flavones and flavanones) and phenolic acids. *Food chemistry*. 130(2): 383-393.
- Serrano, J., Puupponen-Pimiä, R., Dauer, A., Aura, A. y Saura-Calixto, F. 2009. Tannins: Current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular Nutrition and Food Research*, 53(SUPPL. 2): 310-329.
- Sezer, B., Apaydin, H., Bilge, G., Boyaci, I.H. 2018. Coffee arabica adulteration: Detection of wheat, corn and chickpea. *Food Chemistry*. 264: 142-148.
- Shahidi, F. y J. Yeo (2016). Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules* 21(9): 1216.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. *Atlas agroalimentario*. Primera edición. México. 86 y 87 pp.
- Silva-Cristobal, L., Osorio-Díaz, P., Tovar, J. y Bello-Perez, L.A. 2010. Composición química, digestibilidad de carbohidratos y capacidad antioxidante de variedades mexicanas cocidas de frijol negro, garbanzo y lenteja. *CyTA Journal of Food*. 8(1): 7-14.
- Singh, H.G., Sharma, P., Gupta, N. y Abbas-Wan, A. 2013. Antioxidant Properties of Legumes and their Morphological Fractions as Affected by Cooking. *Food Science Biotechnology*. 22(1): 187-194.
- Singleton, V.L. 1981. Naturally occurring food toxicants: phenolic substances of plant origin common in foods. *Advances in Food Research*. 27: 149-242.
- Soobrattee, M., Neergheen, V., Luximon-Ramma, A., Aruoma, O. y Bahorun, T. 2005. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: mechanism and actions. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 579(1-2): 200-213.
- Surco-Laos, F., Valle, C.M. y Loyol, E. 2016. Actividad antioxidante de metabolitos de flavonoides originados por la microflora del intestino humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 82(1): 29-37.
- Spencer, J.P.E., Chaudry, F., Pannala, A.S., Srai, S.K., Debnam, E. y Rice-Evans, C. 2000. Decomposition of cocoa procyandins in the gastric milieu. *Biochemical and biophysical research communications*. 272(1): 236-241.
- Tarko, T., Duda-Chodak, A., Sroka, P., Satora, P. y Michalik, J. 2009. Transformations of phenolic compounds in an in vitro model simulating the human alimentary tract. *Food Technology and Biotechnology* 47(4): 456-463.
- Tomás-Barberán, F.A., Gil, M.I., Cremin, P., Waterhouse, A.L., Hess-Pierce, B. y Kader, A.A. 2001. HPLC - DAD - ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10): 4748-4760.
- USDA. 2010. *Antioxidants and Health*. ACES publications. Pp. 4.
- Valdés, L., Cuervo, A., Salazar, N., Ruas-Madiedo, P., Gueimonde, M., González, S. 2015. The relationship between phenolic compounds from diet and microbiota: impact on human health. *Food and function* 6(8): 2424-2439.
- Van de Wiele, T., Boon, N., Possemiers, S., Jacobs, H., Verstraete, W. 2007. Inulin type fructans of longer degree of polymerization exert more pronounced in vitro prebiotic effects. *Journal of Applied Microbiology*. 102: 452-460.
- Van Duynhoven, J., Vaughan, E.E., Jacobs, D.M., Kemperman, R.A., van Velzen, E.J., Gross, G., Roger, L.C., Possemiers, S., Smilde, A.K., Doré, J., Westerhuis, J.A. y Van de Wiele, T. 2011. Metabolic fate of polyphenols in the human superorganism. *Proceedings of the National Academy of Sciences U S A*. 108(suppl 1): 4531-4538.
- Wang, Y.K., Zhang, X., Chen, G.L., Yu, J., Yang, L.Q. y Gao, Y.Q. 2016. Antioxidant property and their free, soluble conjugate and insoluble-bound phenolic contents in selected beans. *Journal of Functional Foods*. 24:359
- Xu, B.J. y Chang, K.C.S. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of food science*. 72(2): 159-166.
- Xu, M., Jin, Z., Ohm, J-B., Schwarz, P., Rao, J. y Chen, B. 2018. Improvement of the Antioxidative Activity of Soluble Phenolic Compounds in Chickpea by Germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66: 6179-6187.
- Xue, Z., Hou, X., Yu, W., Wen, H., Zhang, Q., Li, D. y Kou, X. 2018. Lipid metabolism potential and mechanism of CPe-III from chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International*. 104: 126-133.