

# Contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante en alimentos y bebidas

## Total polyphenol content and antioxidant capacity in foods and beverages

Argelia Sánchez-Chinchillas, Anyhram Navarro-Monroy, Tania Gómez-Sierra<sup>1\*</sup>

Fecha de recepción: 28 de enero de 2022

Fecha de aceptación: 5 de abril de 2022

**Resumen** - Los polifenoles son compuestos biológicamente activos con propiedades antioxidantes presentes en alimentos como el té negro, café, vino tinto y cacao; su contenido depende de las condiciones atmosféricas, de cultivo, procesamiento y almacenamiento. El objetivo de este trabajo fue determinar el contenido de polifenoles en alimentos y bebidas por dos métodos colorimétricos y establecer una correlación con la capacidad antioxidante. El contenido de polifenoles se determinó por los métodos Folin-Ciocalteu e ISO 9648-1988 en alimentos y bebidas y con ello se podría estimar el consumo de éstos en la dieta. La correlación lineal entre la capacidad antioxidante y los polifenoles (método Folin-Ciocalteu) es de muy fuerte a fuerte, mientras que con el método ISO 9648-1988 es de fuerte a moderada. Lo anterior indicaría que al ingerir alimentos y bebidas que tengan un mayor contenido de polifenoles presentarán una mayor capacidad antioxidante, favoreciendo la defensa antioxidante del organismo.

**Palabras claves:** Polifenoles, alimentos, antioxidantes.

**Abstract** - Polyphenols are biologically active compounds with antioxidant properties present in foods such as black tea, coffee, red wine and cocoa; its content depends on atmospheric conditions, cultivation, processing and storage. The objective of this work was to determine the content of polyphenols in foods and beverages by two colorimetric methods and to establish a correlation with the antioxidant capacity. The content of polyphenols was determined by the Folin-Ciocalteu and ISO 9648-1988 methods in foods and beverages and with this, their consumption in the diet could be estimated. The linear correlation between antioxidant capacity and polyphenols (Folin-Ciocalteu method) is from very strong to strong, while with the ISO 9648-1988 method it is from strong to moderate. The foregoing would indicate that by ingesting foods and beverages that have a higher content of polyphenols, they will present a greater antioxidant capacity, favoring the body's antioxidant defense.

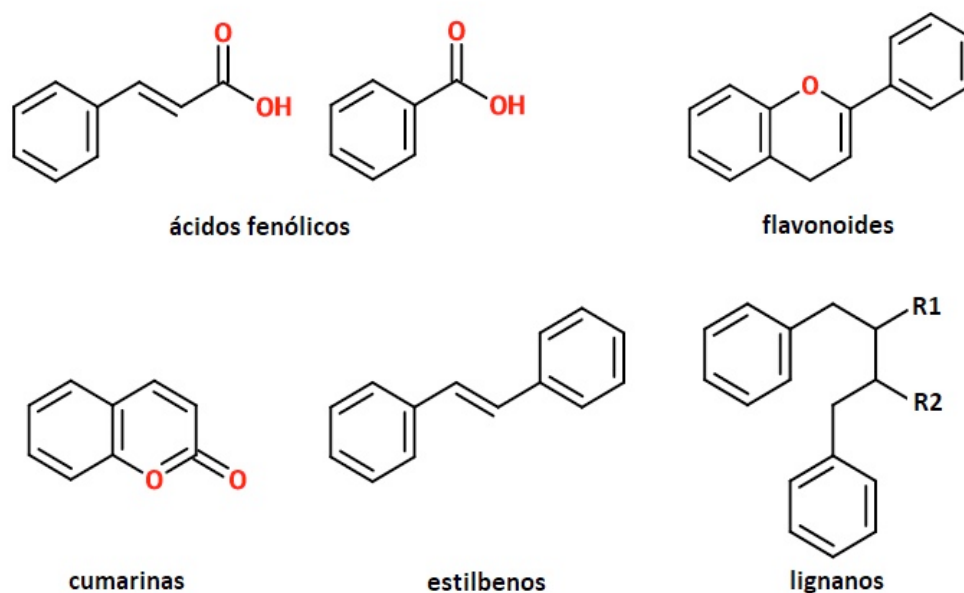
**Keywords:** Polyphenols, foods, antioxidants.

<sup>1</sup> Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Escolar sin número, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México. \*Autora de correspondencia. Correo electrónico: taniags@quimica.unam.mx. ORCID: 0000-0001-8082-4330

Las autoras Tania Gómez-Sierra y Argelia Sánchez-Chinchillas contribuyeron de igual forma en este manuscrito.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los polifenoles son un grupo de al menos 10,000 diferentes compuestos que contienen al menos dos grupos hidroxilos unidos a uno o más anillos aromáticos y también se consideran los compuestos fenólicos simples como el ácido fenólico, los cuales son precursores de los polifenoles. Con base en su estructura química, estos compuestos se clasifican en ácidos fenólicos, flavonoides, cumarinas, estilbenos y lignanos (Figura 1) (Güneş Bayir et al., 2019; Hano y Tungmunnithum, 2020). Se consideran fuentes de los polifenoles a las uvas, cítricos, bayas, chabacanos, manzanas, ciruelas, cerezas, cebollas, espinacas, brócoli, coliflor, alcachofas, tomates, frijoles, soya, zanahorias, alcaparras, aceitunas, té verde, té negro, café, vino tinto, cacao, cerveza, apio, perejil, menta, orégano, romero, tomillo, eneldo y las nueces. Los polifenoles se sintetizan a partir del ácido shikímico y participan en la defensa contra la radiación ultravioleta, especies reactivas de oxígeno (ERO) y nitrógeno, patógenos, parásitos y depredadores de las plantas; en los alimentos contribuyen al sabor amargo, la astringencia, el color, el aroma y actúan como antioxidantes (Brglez Mojzer et al., 2016; Fraga *et al.*, 2019; Hano y Tungmunnithum, 2020; Pandey y Rizvi, 2009; Perron y Brumaghim, 2009). Además, son considerados compuestos biológicamente activos, es decir, su consumo puede generar efectos benéficos a la salud, lo cual ha sido ampliamente estudiado.



**Figura 1.** Estructura química de los principales grupos de los polifenoles.

La distribución de los polifenoles en los alimentos no es uniforme, depende de la solubilidad de éstos, así como del grado de madurez del alimento de origen vegetal en el momento de la cosecha, factores ambientales, procesamiento y almacenamiento (Pandey y Rizvi, 2009; Silva y Pogačnik, 2020). Los efectos benéficos de los polifenoles están asociados principalmente con su actividad antioxidante, sin embargo, también se ha demostrado que son antiinflamatorios, antimicrobianos y anticancerígenos (Cory et al., 2018; Fraga *et al.*, 2019), por lo cual el consumo de alimentos que contienen polifenoles se ha asociado con un menor riesgo de enfermedades como las cardiovasculares, diabetes mellitus, síndrome metabólico y el cáncer (Güneş Bayir *et al.*, 2019; Hano y Tungmunnithum, 2020; Stratil *et al.*, 2006).

En estas patologías, el estrés oxidante tiene un papel clave en el desarrollo y progresión de cada enfermedad, el exceso de la producción de ERO causa daños a biomoléculas como el ADN, lípidos y proteínas lo cual afecta la permeabilidad de la membrana y altera el ciclo celular (Phaniendra *et al.*, 2015; Pizzino *et al.*, 2017). Además, estas ERO disminuyen el sistema antioxidante y alteran vías de señalización que promueven la disfunción mitocondrial, estrés de retículo endoplásmico, desregulación de la autofagia, inflamación y la apoptosis (Forman y Zhang, 2021). Por lo cual, el consumo de antioxidantes como los polifenoles favorecen la homeostasis redox y con ello pueden disminuir o prevenir los efectos mencionados anteriormente.

La capacidad antioxidante de un alimento puede utilizarse como un indicador indirecto de la actividad *in vivo*, la cual dependerá de la concentración de los compuestos biológicamente activos como los polifenoles y de las interacciones de éstos con los diferentes componentes de la matriz alimentaria (Mercado-Mercado *et al.*, 2013). La evaluación de la capacidad antioxidante por lo general requiere de ensayos de punto final, y se determina en función del número de radicales libres atrapados por un compuesto antioxidante en el equilibrio de la reacción (Gülçin, 2012; Xiao *et al.*, 2020).

El objetivo de este trabajo es determinar el contenido de polifenoles por los métodos de Folin-Ciocalteu e ISO 9648-1988 para establecer una correlación entre éstas y la capacidad antioxidante *in vitro* de alimentos y bebidas.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 PREPARACIÓN DE LOS EXTRACTOS**

#### **2.1.1 MUESTRAS SÓLIDAS**

Las muestras de alimentos se molieron hasta obtener una harina homogénea. Para la determinación de polifenoles totales por el método Folin-Ciocalteu y de la capacidad antioxidante, la extracción se realizó con una mezcla de etanol-agua (1:1) en agitación continua a temperatura ambiente durante 45 min y para el método ISO 9648-1988, la extracción se realizó con una disolución de dimetilformamida al 75% en agitación continua a temperatura ambiente durante 1 h. Al finalizar los tiempos de extracción, las muestras se filtraron y se llevaron a un volumen de aforo de 25 mL con el respectivo disolvente utilizado. Finalmente, los extractos se almacenaron a 4 °C durante 24 h para su posterior análisis.

#### **2.1.2 MUESTRAS LÍQUIDAS**

Para las determinaciones del contenido de polifenoles por los métodos Folin-Ciocalteu e ISO 9648-1988 y la capacidad antioxidante, no se realizó ningún proceso de extracción, la muestra se tomó directamente de los envases de las bebidas comerciales.

### **2.2 POLIFENOLES TOTALES**

#### **2.2.1 MÉTODO FOLIN-CIOCALTEU**

Se tomó una alícuota de los extractos preparados de las muestras sólidas y de las bebidas comerciales, se les adicionó el reactivo Folin-Ciocalteu (0.2 N) y se dejaron a temperatura ambiente durante 5 min.

Transcurrido el tiempo, se agregó la disolución de carbonato de sodio (75 g/L) y se dejaron a temperatura ambiente y en oscuridad durante 2 h (Singleton et al., 1999).

Finalmente, se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 760 nm en un espectrofotómetro UV-VIS. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico/g (muestras sólidas) y en mg de ácido gálico/mL (muestras líquidas).

### 2.2.2 MÉTODO ISO 9648-1988

Se tomó una alícuota de los extractos preparados y de las bebidas comerciales, se les adicionó agua destilada, citrato férrico amoniacal (0.35 g/100 mL) y una disolución de amoníaco (0.8 g NH<sub>3</sub>/100 mL) y se colocaron en un baño de agitación con temperatura controlada a 30 °C durante 10 min (Deshpande et al., 1986, ISO 9648-1988).

La absorbancia se determinó a una longitud de onda de 525 nm en un espectrofotómetro UV-VIS. Los resultados se expresaron como mg de ácido tánico/g (muestras sólidas) y en mg de ácido tánico/mL (muestras líquidas).

## 2.3 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

La determinación de la capacidad antioxidante de las muestras de alimentos se realizó por el método FRAP (del inglés, ferric reducing antioxidant power) a partir de los extractos elaborados para el método Folin-Ciocalteu. Se tomó una alícuota de los extractos preparados y de las bebidas comerciales, se les adicionó el reactivo FRAP (0.0125 g de 2,4,6-tripiridil-1,3,5-triazina, 4 mL HCl 40 mM, 40 mL amortiguador de acetatos, 4 mL FeCl<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O) y se dejaron a temperatura ambiente durante 15 min (Benzie y Strain, 1996; Xiao et al., 2020). La absorbancia se determinó en un espectrofotómetro UV-VIS a una longitud de onda de 593 nm. Los resultados se expresaron en  $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$  (muestras sólidas) y en  $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{mL}$  (muestras líquidas).

## 2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se expresaron como valor promedio  $\pm$  desviación estándar (DE). Las pruebas de normalidad y los análisis de correlación lineal de Pearson se realizaron con el software Prism 6.0 (GraphPad) con un valor de  $p < 0.05$  y  $p < 0.01$ .

## 3. RESULTADOS

### 3.1 CONTENIDO DE POLIFENOLES POR EL MÉTODO FOLIN-CIOCALTEU Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ALIMENTOS Y BEBIDAS

El contenido de polifenoles se determinó en distintas muestras de tés, infusiones, café, cereales, especias, cacao, frutas, vinos tintos y bebidas comerciales por el método Folin-Ciocalteu. En la Tabla 1 se presenta el contenido de las muestras sólidas, además de su respectiva capacidad antioxidante por el método de FRAP.

En esta tabla se observa que el té negro tiene un mayor contenido de polifenoles, mientras que las frutas son las de menor contenido. Con respecto a la capacidad antioxidante se observa que el café soluble y el té negro tienen los valores más altos, mientras que las frutas analizadas tienen los valores más bajos.

**Tabla 1.** Contenido de polifenoles determinados por el método Folin-Ciocalteu y capacidad antioxidante en alimentos.

<b>Muestra</b>	<b>Polifenoles totales (mg ácido gálico/g muestra)</b>	<b>Capacidad antioxidante (<math>\mu\text{mol Fe}^{2+}</math>/g muestra)</b>
<b><i>Tés e infusiones</i></b>		
Té negro	757.81 ± 112.07	862.45 ± 11.44
Té verde	470.05 ± 51.43	856.51 ± 9.33
Infusión de menta	229.14 ± 6.84	399.21 ± 10.16
Infusión de naranja	98.01 ± 2.13	153.97 ± 2.84
Infusión de hierbabuena	13.06 ± 1.27	446.5 ± 13.46
<b><i>Café</i></b>		
Café soluble	505.73 ± 3.63	1129.25 ± 428.82
Café "Member's Mark"	28.24 ± 0.41	179.640 ± 1.51
<b><i>Cereal</i></b>		
Maíz rojo	20.14 ± 0.37	16.30 ± 14.95
Sorgo	10.11 ± 0.08	52.65 ± 39.65
<b><i>Espicias</i></b>		
Pimienta negra	45.10 ± 3.61	51.50 ± 0.65
Pimienta blanca	151.90 ± 7.02	18.95 ± 1.19
Tomillo	400.58 ± 1.77	567.78 ± 2.83
Orégano	788.32 ± 8.56	1008.58 ± 138.26
<b><i>Cacao</i></b>		
Cacao con cascarilla	265.72 ± 24.17	243.95 ± 72.51
Cacao sin cascarilla	396.64 ± 6.13	426.27 ± 11.31
<b><i>Frutas</i></b>		
Cereza	1.08 ± 0.01	9.76 ± 0.35
Granada	0.70 ± 0.006	8.70 ± 0.06

Datos promedio ± DE, n=3-10 datos por muestra.

En la Tabla 2 se presenta el contenido de polifenoles en las bebidas comerciales, además de su respectiva capacidad antioxidante por el método de FRAP.

Para el caso del vino tinto, los resultados obtenidos son congruentes con los datos de Scalbert y Williamson., 2000 (1.8 mg ácido gálico/mL). En esta tabla se observa que el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante es similar entre el mismo tipo de bebida.

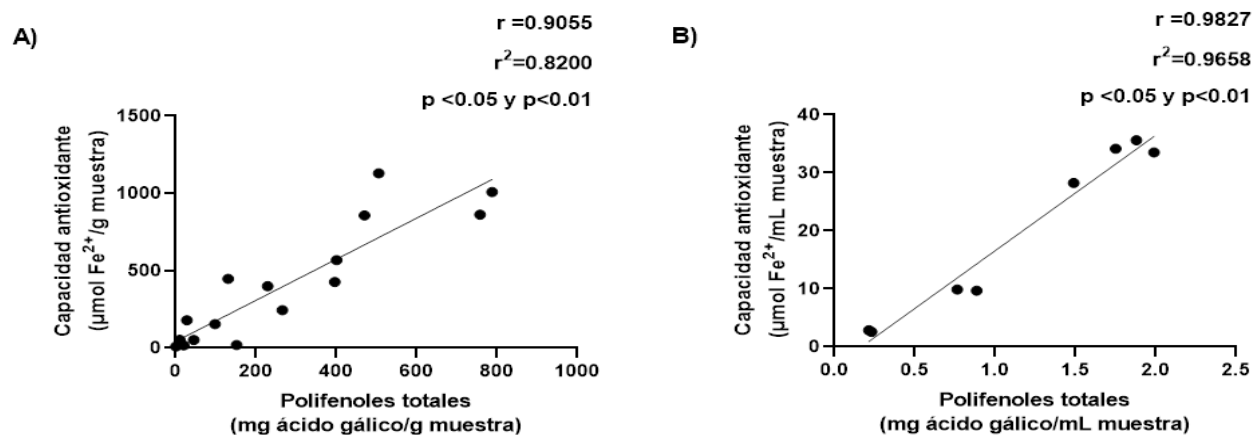
**Tabla 2.** Contenido de polifenoles determinados por el método Folin-Ciocalteu y capacidad antioxidante en bebidas.

Muestra	Polifenoles totales (mg ácido gálico/mL muestra)	Capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ /mL muestra)
<b>Vino tinto (Cabernet Sauvignon)</b>		
Valle Redondo California	1.49 $\pm$ 0.02	28.24 $\pm$ 0.66
LA Cetto	1.99 $\pm$ 0.04	33.50 $\pm$ 0.45
Santa Rita 120	1.88 $\pm$ 0.01	35.62 $\pm$ 0.34
Concha y Toro	1.75 $\pm$ 0.06	34.15 $\pm$ 0.51
<b>Bebidas</b>		
Bebida con jugo de arándano	0.89 $\pm$ 0.01	9.69 $\pm$ 0.38
Bebida con jugo de uva y arándano	0.77 $\pm$ 0.02	9.89 $\pm$ 0.55
Té negro sabor limón marca 1	0.23 $\pm$ 0.005	2.57 $\pm$ 0.15
Té negro sabor limón marca 2	0.22 $\pm$ 0.003	2.85 $\pm$ 0.19

Datos promedio  $\pm$  DE, n=3 datos por muestra.

### 3.2 CORRELACIÓN LINEAL ENTRE EL CONTENIDO DE POLIFENOLES POR EL MÉTODO DE FOLIN-CIOCALTEU Y LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ALIMENTOS Y BEBIDAS

Para establecer una relación entre el contenido de polifenoles determinado por el método Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante, se realizó un análisis de correlación lineal. En la Figura 2A se observa que la  $r^2$  es de 0.8200 para las muestras sólidas y en la Figura 2B la  $r^2$  es de 0.9658 para las muestras líquidas.



**Figura 2.** Correlación entre el contenido de polifenoles por el método Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante. A) Alimentos, número de pares de datos= 17. B) Bebidas, número de pares de datos=8.  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ .

### 3.3 CONTENIDO DE POLIFENOLES POR EL MÉTODO ISO 9648-1988 EN ALIMENTOS Y BEBIDAS

El contenido de polifenoles se determinó por el método ISO 9648-1988 en tés, café, especias, cacao, frutas y vegetales.

En la Tabla 3 se presenta el contenido de éstos y su respectiva capacidad antioxidante, mientras que en la Tabla 4 se muestran los resultados del contenido de polifenoles determinados por el método ISO 9648-1988 en vinos tinto.

**Tabla 3.** Contenido de polifenoles determinados por el método ISO 9648-1988 y capacidad antioxidante en alimentos.

<b>Muestra</b>	<b>Polifenoles totales (mg ácido tánico/g muestra)</b>	<b>Capacidad antioxidante (<math>\mu\text{mol Fe}^{2+}</math>/g muestra)</b>
<b>Tés</b>		
Té negro	54.60 $\pm$ 8.99	862.45 $\pm$ 11.44
Té verde	52.41 $\pm$ 12.56	856.51 $\pm$ 9.33
<b>Café</b>		
Café soluble	31.72 $\pm$ 6.12	1129.25 $\pm$ 428.82
<b>Especias</b>		
Orégano	18.52 $\pm$ 4.40	1008.58 $\pm$ 138.26
<b>Cacao</b>		
Cacao con cascarilla	24.33 $\pm$ 8.64	243.95 $\pm$ 72.51
Cacao sin cascarilla	27.77 $\pm$ 0.31	426.27 $\pm$ 11.31
<b>Frutas</b>		
Cereza	0.25 $\pm$ 0.03	9.76 $\pm$ 0.35
Granada	0.40 $\pm$ 0.07	8.70 $\pm$ 0.06
Ciruela roja	10.36 $\pm$ 0.24	19.99 $\pm$ 5.87
Ciruela negra	0.99 $\pm$ 0.10	23.46 $\pm$ 3.98
<b>Vegetales</b>		
Col morada	0.39 $\pm$ 0.04	17.59 $\pm$ 1.00
Berenjena	1.09 $\pm$ 0.02	29.57 $\pm$ 0.46

Datos promedio  $\pm$  DE, n=3-10 datos por muestra.

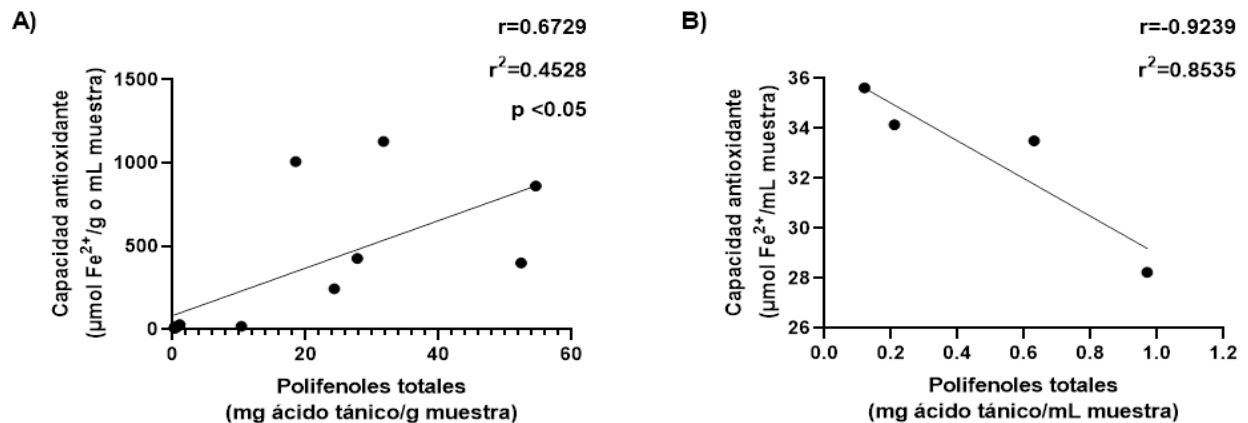
**Tabla 4.** Contenido de polifenoles determinados por el método ISO 9648-1988 en vinos tinto.

Vino tinto Cabernet Sauvignon	Polifenoles totales (mg ácido tánico/mL muestra)
Valle Redondo California	0.97 ± 0.13
LA Cetto	0.63 ± 0.01
Santa Rita 120	0.12 ± 0.01
Concha y Toro	0.21 ± 0.03

Datos promedio ± DE, n=3 datos por muestra.

### 3.4 CORRELACIÓN LINEAL ENTRE EL CONTENIDO DE POLIFENOLES POR EL MÉTODO ISO 9648-1988 Y LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ALIMENTOS Y BEBIDAS

Para establecer una relación entre el contenido de polifenoles determinados por el método ISO 9648-1988 y la capacidad antioxidante, se realizó un análisis de correlación lineal. En la Figura 3A se observa que la  $r^2$  es de 0.4528 para las muestras sólidas y en la Figura 3B la  $r^2$  es de 0.8535 para las muestras líquidas.



**Figura 3.** Correlación entre el contenido de polifenoles por el método ISO 9648-1988 y la capacidad antioxidante. A) Alimentos, número de pares de datos= 12. B) Bebidas, número de pares de datos=4.  $p < 0.05$ .

## 4. DISCUSIÓN

Los polifenoles son compuestos biológicamente activos con propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, anticancerígenas y antioxidantes (Cory et al., 2018; Fraga et al., 2019; Güneş Bayir et al., 2019). Se encuentran ampliamente distribuidos en los alimentos de origen vegetal, sin embargo, el contenido de los polifenoles en éstos no es uniforme, dependen de las condiciones de cultivo, condiciones atmosféricas, de procesamiento y almacenamiento (Pandey y Rizvi, 2009; Silva y Pogačnik, 2020).



Por lo que la evaluación de su contenido en los alimentos son aproximaciones, las cuales pueden variar dependiendo del tipo de extracción y del método que se utilice, así como del tipo de polifenol detectado; es importante considerar que los alimentos de origen vegetal tienen más de un tipo de polifenol, alguno de ellos presente en mayor o menor proporción, esta diversidad de compuestos dificulta su estimación en los alimentos (Scalbert y Williamson, 2000). La cuantificación de polifenoles en los alimentos permite realizar estimaciones sobre el consumo de éstos en la dieta de las personas, lo cual está relacionado con los antioxidantes exógenos y el sistema antioxidante del organismo (Benzie y Choi, 2014, p.33-34).

Los polifenoles pueden ser antioxidantes directos, indirectos o bifuncionales (Olszowy, 2019). Los antioxidantes directos participan en las reacciones de óxido-reducción eliminando las ERO; los antioxidantes indirectos inducen la expresión de enzimas citoprotectoras de fase II, éstas protegen a las células contra el daño generado por el estrés oxidante (Dinkova-Kostova y Talalay, 2008) y los antioxidantes bifuncionales son los que tienen actividad directa e indirecta. La evaluación de la capacidad antioxidante *in vitro* de los polifenoles indica la actividad antioxidante directa de éstos, la cual depende del número y disposición de los grupos hidroxilos, los cuales transfieren un electrón o un átomo de hidrógeno al radical libre para estabilizarlo. Además, los polifenoles regeneran antioxidantes primarios, quelan metales de transición como el  $\text{Cu}^{2+}$  y el  $\text{Fe}^{2+}$  y con ello disminuyen la producción del radical hidroxilo (Olszowy, 2019; Perron y Brumaghim, 2009; Shahidi y Ambigaipalan, 2015; Tsao, 2010).

Uno de los mejores antioxidantes directos derivados de los alimentos es la vitamina C, la cual tiene un valor de FRAP de  $746.2 \pm 10.52$  mmol  $\text{Fe}^{2+}$ /g muestra (Ghasemzadeh *et al.*, 2012), en la Tabla 1 se observa que los alimentos como el té negro, té verde, café soluble, hierbabuena, menta, tomillo, orégano y cacao tienen valores cercanos al de la vitamina C, lo cual indicaría que tienen una alta actividad antioxidante directa. Sin embargo, el método FRAP únicamente detecta la capacidad de la transferencia de electrones y la reducción del  $\text{Fe}^{3+}$  y aunque sea un ensayo accesible que no requiere de equipo especializado, es necesario complementarlo con ensayos como el ORAC (del inglés, oxygen radical absorbance capacity) o algún otro basado en la transferencia de átomos de hidrógeno (Gülçin, 2012; Prior *et al.*, 2005).

La capacidad antioxidante de un alimento o bebida generalmente se puede asociar a los polifenoles presentes en éstos, sin embargo, algunos otros componentes pueden tener propiedades antioxidantes. Es por ello que se realizaron las correlaciones lineales con los dos métodos de detección de los polifenoles totales. En la Figura 2 se observa que existe una fuerte correlación lineal entre el contenido de polifenoles (método Folin-Ciocalteu) y la capacidad antioxidante, siendo más fuerte para las bebidas, debido a que tienen un mayor coeficiente de correlación lineal  $r^2 = 0.9658$ , en comparación con las muestras sólidas ( $r^2 = 0.8200$ ), estas interpretaciones del coeficiente  $r^2$  se realizaron con base a la tabla de Schober *et al.*, 2018. Lo anterior indicaría que al ingerir alimentos y bebidas que tengan un mayor contenido de polifenoles se podría favorecer la defensa antioxidante y con ello, se podría promover un envejecimiento saludable y un menor riesgo de enfermedades crónicas degenerativas (Benzie y Choi, 2014, p. 33-34). Aunque, es necesario considerar que la actividad antioxidante de los polifenoles dependerá de su absorción, biotransformación y biodisponibilidad en el organismo, la cual está relacionada con la estructura química de estos compuestos (Scalbert y Williamson, 2000).

El contenido de polifenoles totales usualmente se cuantifica por los métodos espectrofotométricos del índice fenólico total y el de Folin-Ciocalteu (Aleixandre-Tudo y du Toit, 2019, p. 8-9).

Sin embargo, existen diferentes métodos para cuantificarlos, uno de ellos es el ISO 9648-1988, éste es un método empleado para la determinación de taninos en sorgo, en el cual se extraen los polifenoles con dimetilformamida y forman complejos con el hierro, una de las principales ventajas del ensayo es la reducción de tiempo de análisis y que no requiere de equipo especializado. El método ISO 9648-1988 considera que el ácido tánico forma un complejo con el hierro, el cual es detectado a 525 nm, sin embargo, como se mencionó anteriormente los polifenoles reaccionan con el hierro (Perron et al., 2010; Perron y Brumaghim, 2009), por lo cual podría ser un método adecuado para la cuantificación de polifenoles en diferentes matrices alimentarias y bebidas. Una de las principales desventajas del método ISO 9648-1988 es la toxicidad de la dimetilformamida, por lo cual es necesario sustituirlo con un disolvente con menor toxicidad, sin embargo en un estudio, realizaron los extractos de sorgo con etanol, metanol o acetona y observaron que la extracción no fue eficiente debido a que el contenido de taninos es menor con estos disolventes en comparación con los extractos preparados con la dimetilformamida (Wang *et al.*, 2020), por lo cual aún se tienen que optimizar las condiciones de extracción para cada matriz alimentaria.

El método ISO 9648-1988 se utilizó en té, café, cacao, frutos, vegetales y vinos tinto y aunque no hay valores en la literatura para realizar una comparación, en la Tablas 3 y 4 se observa que éstos son congruentes con los valores obtenidos con el método de Folin-Ciocalteu, ya que las muestras con mayor contenido son el té negro, té verde, café y las de menor contenido son la cereza y la granada, evidentemente el estándar utilizado en cada metodología es diferente, sin embargo los alimentos y bebidas pueden tener más de un tipo de polifenol y éstas son aproximaciones.

Al realizarse el análisis de correlación entre el contenido de polifenoles por el método ISO 9648-1988 y la capacidad antioxidante, los coeficientes  $r^2=0.8535$  y  $r^2=0.4528$  indican que existe una fuerte y moderada correlación lineal para las muestras líquidas y sólidas, respectivamente, lo anterior se interpretó con base en la tabla de Schober et al., 2018. Se esperaba encontrar correlaciones similares a las obtenidas con el método Folin-Ciocalteu, sin embargo, aún se tiene que realizar la validación del método ISO 9648-1988 para otras matrices alimentarias, determinando la linealidad, precisión, exactitud y sensibilidad (Matić et al., 2017); así como la proporción de los disolventes utilizados para la extracción de los polifenoles. La validación de diferentes métodos espectrofotométricos proporcionará alternativas para la determinación del contenido de polifenoles en los alimentos, que se puedan ajustar a los recursos e infraestructura de cada laboratorio. Los métodos presentados en este trabajo son complementarios entre sí y es indispensable que se evalúe el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante en los alimentos y bebidas, sin embargo, es posible que en los laboratorios no se tengan los reactivos o la infraestructura necesaria para la determinación de alguno de estos parámetros y con ello hacer inferencias, obtener conclusiones parciales que tendrán que ser verificadas. Finalmente, es indispensable realizar una base de datos con los productos elaborados en el país, para tener la referencia del consumo de polifenoles en la dieta y con ello del posible efecto benéfico a la salud.

## 5. CONCLUSIONES

El contenido de polifenoles en alimentos y bebidas determinados por el método de Folin-Ciocalteu tiene una muy fuerte correlación lineal con la capacidad antioxidante de éstos, mientras que la correlación entre el contenido de polifenoles en alimentos y vinos tinto determinados por el método ISO 9648-1988 y la capacidad antioxidante es de fuerte a moderada. Lo anterior indicaría que al ingerir alimentos y bebidas que tengan un mayor contenido

de polifenoles tienen una mayor capacidad antioxidante, favoreciendo la defensa antioxidante del organismo. Los métodos descritos en este trabajo proporcionan información específica, sin embargo, son complementarios entre ellos. Los métodos de análisis se tienen que validar y adaptarse a la infraestructura de cada laboratorio.

## REFERENCIAS

1. Aleixandre-Tudo, J., & du Toit, W. (2019). The Role of UV-Visible Spectroscopy for Phenolic Compounds Quantification in Winemaking. En R. L. Solís-Oviedo & Á. de la Cruz Pech-Canul (Eds.), *Frontiers and New Trends in the Science of Fermented Food and Beverages*. (pp. 8-9) IntechOpen. Recuperado de <https://www.intechopen.com/chapters/62738> DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.79550>
2. Benzie, I. F. F., & Choi, S.-W. (2014). Antioxidants in Food: Content, measurement, significance, action, cautions, caveats, and research needs. En H. Jeyakumar (Ed). *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 71, pp. 1-53). San Diego. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800270-4.00001-8>
3. Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. DOI: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
4. Brglez Mojzer, E., Knez Hrnčič, M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Molecules*, 21(7), 901. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21070901>
5. Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018). The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 87. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087>
6. Deshpande, S. S., Cheryan, M., Salunkhe, D. K., & Luh, B. S. (1986). Tannin analysis of food products. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 24(4), 401-449. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398609527441>
7. Dinkova-Kostova, A. T., & Talalay, P. (2008). Direct and indirect antioxidant properties of inducers of cytoprotective proteins. *Molecular Nutrition & Food Research*. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700195>
8. Forman, H. J., & Zhang, H. (2021). Targeting oxidative stress in disease: Promise and limitations of antioxidant therapy. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20(9), 689-709. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41573-021-00233-1>
9. Fraga, C. G., Croft, K. D., Kennedy, D. O., & Tomás-Barberán, F. A. (2019). The effects of polyphenols and other bioactives on human health. *Food & Function*, 10(2), 514-528. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8F001997E>
10. Gülçin, İ. (2012). Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345-391. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>
11. Güneş Bayir, A., Aksoy, A. N., & Koçyiğit, A. (2019). The Importance of Polyphenols as Functional Food in Health. *Bezmialem Science*, 7(2), 157-163. DOI: <https://doi.org/10.14235/bas.galenos.2018.2486>
12. Hano, C., & Tungmunnithum, D. (2020). Plant Polyphenols, More than Just Simple Natural Antioxidants: Oxidative Stress, Aging and Age-Related Diseases. *Medicines*, 7(5), 26. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicines7050026>

13. Matic, P., Sabljic, M., & Jakobek, L. (2017). Validation of Spectrophotometric Methods for the Determination of Total Polyphenol and Total Flavonoid Content. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 100(6), 1795-1803. **DOI:** <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0066>
14. Mercado-Mercado, G., de la Rosa Carrillo L., Wall-Medrano, A., López-Díaz, J.A., Álvarez-Padilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas. *Nutrición Hospitalaria*, 1, 36-46. **DOI:** <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298>
15. Olszowy, M. (2019). What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants? *Plant Physiology and Biochemistry*, 144, 135-143. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.039>
16. Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270-278. **DOI:** <https://doi.org/10.4161/oxim.2.5.9498>
17. Perron, N. R., & Brumaghim, J. L. (2009). A Review of the Antioxidant Mechanisms of Polyphenol Compounds Related to Iron Binding. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 53(2), 75-100. **DOI:** <https://doi.org/10.1007/s12013-009-9043-x>
18. Perron, N. R., Wang, H. C., DeGuire, S. N., Jenkins, M., Lawson, M., & Brumaghim, J. L. (2010). Kinetics of iron oxidation upon polyphenol binding. *Dalton Transactions*, 39(41), 9982. **DOI:** <https://doi.org/10.1039/c0dt00752h>
19. Phaniendra, A., Jestadi, D. B., & Periyasamy, L. (2015). Free Radicals: Properties, Sources, Targets, and Their Implication in Various Diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 11-26. **DOI:** <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>
20. Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., & Bitto, A. (2017). Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1-13. **DOI:** <https://doi.org/10.1155/2017/8416763>
21. Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290-4302. **DOI:** <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
22. Scalbert, A., & Williamson, G. (2000). Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols. *The Journal of Nutrition*, 130(8), 2073S-2085S. **DOI:** <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2073S>
23. Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763-1768. **DOI:** <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
24. Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820-897. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
25. Silva, R. F. M., & Pogačnik, L. (2020). Polyphenols from Food and Natural Products: Neuroprotection and Safety. *Antioxidants*, 9(1), 61. **DOI:** <https://doi.org/10.3390/antiox9010061>
26. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. En *Methods in Enzymology* (Vol.

- 299, pp. 152-178). Elsevier. **DOI:** [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
27. Stratil, P., Klejdus, B., & Kubáň, V. (2006). Determination of Total Content of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activity in Vegetables Evaluation of Spectrophotometric Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(3), 607-616. **DOI:** <https://doi.org/10.1021/jf052334j>
28. Tsao, R. (2010). Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231-1246. **DOI:** <https://doi.org/10.3390/nu2121231>
29. Wang, X., Han, X., Li, L., & Zheng, X. (2020). Optimization for quantification of sorghum tannins by Ferric ammonium citrate assay. *Grain & Oil Science and Technology*, 3(4), 146-153. **DOI:** <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.07.001>
30. Xiao, F., Xu, T., Lu, B., & Liu, R. (2020). Guidelines for antioxidant assays for food components. *Food Frontiers*, 1(1), 60-69. **DOI:** <https://doi.org/10.1002/fft2.10>



*Título: S/T [lata modelo]*  
*Artista: Nelson Medina*  
*Técnica: Óleo sobre tela*  
*Medidas: 150 x 150 cm*  
*Año: 2016*