

## Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de variedades de frijol sembradas en el estado de Zacatecas

Content of phenolic compounds and antioxidant capacity of varieties of bean sowed in Zacatecas

Jesús Jaime Rochín-Medina<sup>1</sup>, Saraíd Mora-Rochín<sup>2</sup>, Ricardo Omar Navarro-Cortez<sup>3</sup>, Xochitl Tovar-Jimenez<sup>4</sup>, Guillermo Quiñones-Reyes<sup>5</sup>, Jorge Luis Ayala-Luján<sup>5</sup> y \*Jesús Aguayo-Rojas<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Culiacán. Juan de Dios Batiz S/N, Col. Guadalupe. Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80220. [jaimerochin@itculiacan.edu.mx](mailto:jaimerochin@itculiacan.edu.mx), Fax: (667) 7169647

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa. Boulevard de las Américas S/N, Col. Universitaria. Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80000. [smora@uas.edu.mx](mailto:smora@uas.edu.mx), Fax: (667) 7137860

<sup>3</sup>Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Rancho Universitario, Avenida Universidad Km. 1, Ex-Hacienda de Aquetzalpa. Tulancingo, Hidalgo, México. CP. 43600. [ronc2584@gmail.com](mailto:ronc2584@gmail.com), Fax: (771) 7172000

<sup>4</sup>Universidad Politécnica de Pachuca. Carretera Pachuca-Cd. Sahagún Km. 20, Ex-Hacienda de Santa Bárbara. Zempoala, Hidalgo, México. CP. 43830. [xtovar@upp.edu.mx](mailto:xtovar@upp.edu.mx), Fax: (771) 5477510

<sup>5</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Químico en Alimentos, Carretera Zacatecas-Guadalajara Km 6, La Escondida. Zacatecas, Zacatecas, México. CP. 98160. [jesus\\_aguayo@uaz.edu.mx](mailto:jesus_aguayo@uaz.edu.mx), Fax: (492) 7169647

\*Autor de correspondencia

### Resumen

Se evaluaron nueve variedades de frijol originarias de Zacatecas, principal productor de esta leguminosa en México. Se determinaron los compuestos fenólicos como antocianinas, flavonoides, taninos condensados y fenólicos totales, así como su capacidad antioxidante por el método de DPPH. El contenido de antocianinas, flavonoides y taninos varió de 0.22 mg a 3.45 mg equivalentes de cianidina-3-glucosido (EC3G)/100 g, 16 mg a 103 mg equivalentes de catequina (EC)/100 g y 474 mg a 587 mg equivalentes de catequina (EC)/100 g, respectivamente. Por otra parte, la concentración de fenólicos totales varió de 67 mg a 204 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g. La mayor cantidad de fenólicos totales (64% a 93%) y flavonoides totales (55% a 81%) se encontraron en su fracción ligada. Los niveles de capacidad antioxidante fueron de 243 µmol a 1282 µmol equivalentes de trolox (ET)/100 g. Las variedades Flor de Junio y Negro San Luis presentaron los mayores contenidos de fenólicos totales, flavonoides y capacidad antioxidante.

**Palabras clave:** Compuestos fenólicos; capacidad antioxidante; flavonoides.

### Abstract

A total of nine varieties of bean from Zacatecas, the main producer of this legume in Mexico, were evaluated. The phenolic compounds were determined as anthocyanins, flavonoids, tannins, and total phenolics, as well as their antioxidant capacity by the DPPH method. The anthocyanins, flavonoids, and tannins content varied from 0.22 mg to 3.45 mg of cyanidine-3-glucoside equivalents (C3GE)/100 g, 16 mg to 103 mg of catechin equivalents (CE)/100 g, and 474 mg to 587 mg of catechin equivalents (CE)/100 g, respectively. On the other hand, the total phenolics concentration varied from 67 mg to 204 mg of gallic acid equivalents (AGE)/100 g. Most total phenolics (64% to 93%) and total flavonoids (55% to 81%) were found in the bound fraction. The antioxidant capacity levels were from 243 µmol to 1282 µmol of trolox equivalents (TE)/100 g. The varieties Flor de Junio and Negro San Luis presented the highest values of total phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity.

**Keywords:** Phenolic compounds; antioxidant capacity; flavonoids.

Recibido: 10 de noviembre de 2020

Aceptado: 05 de febrero de 2021

Publicado: 05 de mayo de 2021

**Como citar:** Rochín-Medina, J. J., Mora-Rochín, S., Navarro-Cortez, R.O., Tovar-Jimenez, X., Quiñones-Reyes, G., Ayala-Luján, J. L., & Aguayo-Rojas, J. (2021). Contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de variedades de frijol sembradas en el estado de Zacatecas. *Acta Universitaria* 31, e3059. doi. <http://doi.org/10.15174/au.2021.3059>

## Introducción

Para una gran parte de la población mundial el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es fuente importante de proteínas y carbohidratos (Moreno-Jiménez *et al.*, 2015). Por su parte, México es reconocido como centro primario de domesticación y diversidad genética del frijol (Gepts & Debouck, 1991; Zizumbo-Villarreal & Colunga-GarcíaMarín, 2010). De las 150 especies del género *Phaseolus* reportadas, alrededor de 50 se encuentran en México. A finales del siglo XX, se suponía que, de las 52 especies clasificadas del género *Phaseolus*, 40 tenían como zona endémica el territorio mexicano (Castillo *et al.*, 2006). La variabilidad genética del frijol en México consiste en las diferentes características del grano, como el color, la forma y el tamaño, características importantes para los consumidores de acuerdo con la zona geográfica (Campos-Vega *et al.*, 2009; Rodríguez-Licea *et al.*, 2010).

Recientemente se ha aumentado el interés en las diferentes variedades de frijol debido a que el consumo de esta leguminosa está relacionado con la disminución en el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares, diabetes, hipertensión y obesidad (Hayat *et al.*, 2014; Jayalath *et al.*, 2014; Reynoso *et al.*, 2007). Varios estudios confirman que existe una correlación inversa entre el consumo de frijol y el cáncer de colon (Cruz-Bravo *et al.*, 2011; Vergara-Castañeda *et al.*, 2010). Los efectos fisiológicos mencionados son atribuidos principalmente a la presencia de compuestos bioactivos, los cuales poseen propiedades anticarcinogénicas y antioxidantes (Hayat *et al.*, 2014; Thompson *et al.*, 2012). Los principales compuestos bioactivos en el grano de frijol son los compuestos fenólicos, como ácidos fenólicos, antocianinas, flavonoides y taninos (Guajardo-Flores *et al.*, 2013; Hayat *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2013).

Factores climáticos, hidrológicos y geográficos, así como los modelos productivos utilizados en las distintas regiones, influyen en la productividad y en el contenido de compuestos bioactivos (Jing *et al.*, 2007; Mekonnen & Hoekstra, 2010). A pesar de que existe interés por las propiedades bioactivas en el frijol, son pocos los estudios sobre el contenido de fitoquímicos y la actividad antioxidante de las diferentes variedades que constituyen la biodiversidad del frijol en el estado de Zacatecas, siendo este el principal productor en México. La información generada en este estudio podría aumentar las oportunidades de mercado de estos genotipos en la industria de alimentos funcionales. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación es evaluar el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de nueve variedades de frijol cultivadas en dicho estado, con el fin de determinar su posible potencial nutracéutico con base en estos parámetros.

## Materiales y métodos

Se utilizaron como materiales de estudio nueve variedades de frijol (Alubia Grande, Alubia Chica, Pinto Saltillo, Bayo, Negro San Luis, Garbancillo, Flor de Mayo, Japonés y Flor de Junio) sembradas en temporal, en el municipio de Fresnillo, Zacatecas, México (23° 10' 19" N; 102° 51' 39" O) y recolectadas en el mes de noviembre del 2019. Los granos de frijol fueron molidos (UD Cyclone Sample Mill, UD Corp., Boulder, CO) hasta pasar por una malla 80-US (0.180 mm), y empacados en bolsas de plástico de 1 kg de capacidad. Las harinas resultantes fueron almacenadas a -20 °C hasta su uso.

## Extracción de fitoquímicos libres y ligados

Los fitoquímicos libres se extrajeron de 0.5 g de harina con 10 ml de metanol al 80% (v/v); esta suspensión se agitó en un rotator (OVAN noria R, EUA, 2010) por 10 min y fue centrifugada a 3000 x g/10°C/10 min. El sobrenadante se colocó en tubo nuevo y se concentró a 35 °C (Speed Vac Concentrator, Thermo Electron Corporation) hasta alcanzar un volumen final de 2 ml. Para cuantificar los fitoquímicos ligados, el

precipitado o *pellet* que se obtuvo en el extracto de fitoquímicos libres, una vez retirado el sobrenadante, fue digerido con 10 ml de NaOH 2 M y se sometió a un tratamiento térmico (30 min a 95 °C), y se agitó durante una hora. La mezcla se neutralizó con 2 ml de HCL concentrado. La mezcla resultante fue lavada cinco veces con 10 ml de acetato de etilo. La fracción de acetato de etilo se evaporó a sequedad (Speed Vac Concentrator, Thermo Electron Concentrator). Los compuestos extraídos fueron reconstituidos con 2 ml de metanol al 50% (Adom & Liu, 2002).

### Determinación de antocianinas

Se pesaron 0.5 g de muestra en un tubo de 50 ml, se agregaron 10 ml de etanol frío acidificado (95% etanol y HCl 1 N, 85:15, v/v). El tubo con la muestra se agitó por 30 min. Posteriormente, se centrifugó a 3000 x g por 10 min y se recolectó el sobrenadante. Se determinaron absorbancias a 535 nm y 700 nm en un lector de microplacas (Synergy HT, Biotek Instrument). El contenido de antocianinas se calculó de la siguiente manera:

$$C = ((A_{535nm} - A_{700nm}) / \epsilon) \times (\text{vol. total de extracto}) \times PM \times (1/\text{peso de muestra})$$

donde C es la concentración total de antocianinas en mg equivalentes de cianidina-3-glucosido por gramo de muestra en base seca (bs) (mg C3GE/g),  $\epsilon$  es la absorción molar (cianidina-3-glucósido = 25965  $\text{cm}^{-1} \text{M}^{-1}$ ) y PM es el peso molecular de cianidina-3-glucósido, 449.2 g/mol (Abdel-Aal & Hucl, 1999). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

### Determinación de taninos condensados

Se realizó una extracción de taninos con 1 g de harina de la muestra con 10 ml de acetona al 80%; posteriormente, se tomó una alícuota de 20  $\mu\text{L}$  del extracto (acetona 80%) y la misma cantidad de una curva estándar de catequina-(+); se mezclaron con 1200  $\mu\text{L}$  de vainillina al 4% en metanol y 600  $\mu\text{L}$  de HCl concentrado y se dejaron en reposo durante 15 min. Se midió la absorbancia a 500 nm contra un blanco usando un espectrofotómetro visible UV (Synergy HT, Biotek Instrument). Los resultados se calcularon y expresaron como mg equivalentes de catequina (mg EC)/100 g de muestra en base seca (bs), empleando una curva de calibración de catequina-(+) 50  $\mu\text{g}/\text{ml}$  a 1000  $\mu\text{g}/\text{ml}$  ( $R^2 = 0.96$ ). Las determinaciones se realizaron por triplicado (Xu & Chang, 2007).

### Determinación de flavonoides

En una placa de 96 celdas se agregaron 20  $\mu\text{L}$  del extracto de fitoquímicos libres y ligados. Los extractos se mezclaron con 80  $\mu\text{L}$  de agua destilada y 6  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaNO}_2$  al 5%, y se le permitió reposar por 5 min. Posteriormente, fueron adicionados 12  $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3$  al 10%, 10  $\mu\text{L}$  de NaOH 1M y 20  $\mu\text{L}$  de agua destilada. La absorbancia fue determinada a 510 nm en un lector de microplatos (Synergy HT, Biotek Instrument) después de 30 minutos de reposo. Se preparó una curva de calibración ( $R^2 = 0.95$ ) utilizando catequina como estándar (25-300 ppm) y el contenido de flavonoides fue expresado como mg equivalentes de catequina (mg EC)/100 g de muestra en base seca (bs). Las determinaciones se realizaron por triplicado (Adom & Liu, 2002).

### Determinación de fenólicos totales

En una placa de 96 celdas se agregaron 20  $\mu\text{L}$  de los extractos de fitoquímicos libres y ligados. Los extractos se mezclaron con 180  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin Ciocalteu, la reacción se neutralizó con 50  $\mu\text{L}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 7% y, posteriormente, se le permitió reposar por 90 min a temperatura ambiente. Pasado el tiempo de

incubación, la absorbancia fue registrada a 750 nm en un lector de microplatos (Synergy HT, Biotek Instrument), se preparó una curva de calibración ( $R^2 = 0.98$ ) utilizando ácido gálico como estándar (25-300 ppm) y el contenido de fenólicos totales fue expresado como mg equivalentes de ácido gálico (mg EAG)/100 g de muestra en base seca (bs). Las determinaciones se realizaron por triplicado (Singleton *et al.*, 1999).

### Determinación de la capacidad antioxidante

Se empleó el método de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), adaptado para microplatos. Se preparó una solución de 150 mM de DPPH en metanol al 80%. El procedimiento consistió en mezclar 20  $\mu$ L de la curva estándar de trolox ( $R^2 = 0.96$ ) y del extracto con 200  $\mu$ L de la solución de DPPH en una placa de 96 celdas. Se incubó por 30 min, en obscuridad y a temperatura ambiente. La absorbancia fue determinada a 540 nm en un lector de microplatos (Synergy HT, Biotek Instrument). La actividad antiradical fue expresada como  $\mu$ mol equivalentes de Trolox (ET)/100 g de muestra en base seca (bs). Las determinaciones se realizaron por triplicado (Cardador-Martinez *et al.*, 2002).

### Análisis de datos

El contenido de fitoquímicos y la actividad antioxidante fueron sujetos a un análisis de varianza usando el *software* estadístico Statgraphics (Statpoint Technologies, Inc. Warrenton, Virginia, USA) y las diferencias entre medias fueron comparadas por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## Resultados

### Antocianinas

Las variedades de frijol estudiadas mostraron concentraciones de antocianinas en un rango de 0.23 mg C3GE/100 g (bs) a 3.46 mg C3GE/100 g (bs) (tabla 1). Tal como se esperaba, el mayor contenido de antocianinas fue encontrado en el extracto del frijol negro. La variedad Negro San Luis presentó la mayor concentración (3.46 mg C3GE/100 g); las variedades restantes, al ser granos claros o moteados, mostraron las concentraciones más bajas. El frijol negro ha sido considerado una buena fuente de antocianinas, representando un producto potencial para el suministro de colorantes y antioxidantes naturales (Choung *et al.*, 2003).

**Tabla 1.** Antocianinas y taninos condensados.

Variedad	Antocianinas (mg C3GE/100 g)	Taninos (mg CE/100 g)
Alubia Grande	0.25 $\pm$ 0.15 <sup>h</sup>	474.45 $\pm$ 1.41 <sup>g</sup>
Alubia Chica	0.26 $\pm$ 0.17 <sup>g</sup>	587.00 $\pm$ 1.28 <sup>a</sup>
Pinto Saltillo	0.35 $\pm$ 0.13 <sup>e</sup>	504.70 $\pm$ 1.72 <sup>d</sup>
Bayo	0.23 $\pm$ 0.11 <sup>i</sup>	510.16 $\pm$ 1.42 <sup>c</sup>
Negro San Luis	3.46 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	500.55 $\pm$ 1.23 <sup>e</sup>
Garbancillo	0.30 $\pm$ 0.19 <sup>f</sup>	488.19 $\pm$ 2.17 <sup>f</sup>
Flor de Mayo	0.40 $\pm$ 0.09 <sup>d</sup>	537.64 $\pm$ 1.48 <sup>b</sup>
Japonés	0.47 $\pm$ 0.15 <sup>c</sup>	488.19 $\pm$ 1.10 <sup>f</sup>
Flor de Junio	0.64 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>	587.09 $\pm$ 1.23 <sup>a</sup>

Nota. Medias con una letra común en la columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).  
Fuente: Elaboración propia.

## Taninos condensados

La concentración de taninos en los granos de frijol evaluados mostraron valores en un rango de 474 mg EC/100 g (bs) a 587 mg EC/100 g (bs) (tabla 1). Diversos investigadores han reportado valores de taninos condensados en frijol común de 180 mg EC/100 g (bs) a 573 mg EC/100 g (bs), resultados muy similares a los obtenidos en el presente estudio (Dzomba *et al.*, 2013; Hernández-Saavedra *et al.*, 2013; Treviño-Mejía *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2007). Las variedades Flor de Junio y Alubia Chica presentaron los mayores valores de este fitoquímico.

## Flavonoides totales

Nuestros resultados confirman que la mayoría de los flavonoides totales en los granos de frijol se encuentran principalmente en su forma ligada (55.86%-81.55%). En el caso de la fracción libre de flavonoides, la variedad Flor de Junio presentó el mayor valor (32.57 mg EC/100 g); en el caso de la fracción ligada, la variedad Negro San Luis (72.92 mg EC/100 g), la concentración de flavonoides totales (suma de flavonoides libres y ligados) estuvo en un rango de 16.31 mg EC/100 g (bs) a 103.39 mg EC/100 g (bs) (tabla 2). Diversos investigadores han reportado valores de flavonoides totales en frijol común de 24 mg EC/100 g (bs) a 143 mg EC/100 g (bs), resultados muy similares a los obtenidos en el presente trabajo (Heimler *et al.*, 2005; Rochín-Medina *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2007).

**Tabla 2.** Flavonoides.

Variedad	Flavonoides (mg EC/100 g)		
	Libres	Ligados	Totales
Alubia Grande	6.53±1.26 <sup>i</sup>	12.93±2.12 <sup>h</sup>	19.46±1.04 <sup>h</sup>
Alubia Chica	7.20±1.31 <sup>h</sup>	9.11±1.25 <sup>i</sup>	16.31±1.32 <sup>i</sup>
Pinto Saltillo	7.81±1.04 <sup>f</sup>	27.12±1.83 <sup>d</sup>	34.93±1.77 <sup>e</sup>
Bayo	13.28±2.28 <sup>e</sup>	54.66±1.06 <sup>d</sup>	67.94±1.60 <sup>d</sup>
Negro San Luis	16.49±1.87 <sup>d</sup>	72.92±1.75 <sup>a</sup>	89.41±1.20 <sup>b</sup>
Garbancillo	9.79±1.95 <sup>f</sup>	29.68±1.35 <sup>f</sup>	39.47±1.54 <sup>f</sup>
Flor de Mayo	21.71±1.92 <sup>b</sup>	55.62±1.21 <sup>c</sup>	77.33±1.53 <sup>c</sup>
Japonés	21.54±1.59 <sup>c</sup>	40.91±1.48 <sup>e</sup>	62.45±1.56 <sup>e</sup>
Flor de Junio	32.57±2.16 <sup>a</sup>	70.82±1.32 <sup>b</sup>	103.39±1.11 <sup>a</sup>

*Nota.* Medias con una letra común en la columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).  
Fuente: Elaboración propia.

## Compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos obtenidos de los extractos de frijol son mostrados en la tabla 3. Los valores de los compuestos fenólicos libres y ligados estuvieron en un rango de 7.32 mg EAG/100 g a 45.87 mg EAG/100 g y 43.55 mg EAG/100 g a 158.50 mg EAG/100 g, siendo la variedad Flor de Junio la que mostró un mayor contenido en ambos casos. La combinación de las dos fracciones libre y ligada nos da el contenido total de compuestos fenólicos presentes en frijol. El contenido de fenólicos totales varió de 67.90 mg EAG/100 g (bs) a 204.37 mg EAG/100 g (bs), siendo las variedades Alubia Chica y Grande las que presentaron un menor contenido, y como se mostró anteriormente, la variedad Flor de Junio mostró el

mayor valor de compuestos fenólicos en total. Los resultados obtenidos confirman que la mayoría de los compuestos fenólicos presentes en frijol, independientemente de la variedad, se encuentran en su forma ligada (64.13%-93.08%).

**Tabla 3.** Compuestos fenólicos.

Variedad	Fenólicos (mg AGE/100 g)		
	Libres	Ligados	Totales
Alubia Grande	7.32±1.85 <sup>i</sup>	64.41±1.40 <sup>h</sup>	71.73±1.59 <sup>h</sup>
Alubia Chica	24.35±1.13 <sup>e</sup>	43.55±1.13 <sup>i</sup>	67.90±1.49 <sup>i</sup>
Pinto Saltillo	7.34±1.69 <sup>h</sup>	94.58±1.31 <sup>g</sup>	101.92±1.25 <sup>g</sup>
Bayo	12.66±1.66 <sup>f</sup>	133.26±1.04 <sup>c</sup>	145.92±1.02 <sup>e</sup>
Negro San Luis	31.96±1.41 <sup>c</sup>	139.45±1.43 <sup>b</sup>	171.41±1.48 <sup>b</sup>
Garbancillo	8.87±1.01 <sup>g</sup>	119.41±1.00 <sup>f</sup>	128.28±1.44 <sup>f</sup>
Flor de Mayo	38.91±1.59 <sup>b</sup>	121.39±1.40 <sup>e</sup>	160.30±1.21 <sup>c</sup>
Japonés	25.00±1.61 <sup>d</sup>	125.19±1.66 <sup>d</sup>	150.19±1.49 <sup>d</sup>
Flor de Junio	45.87±1.23 <sup>a</sup>	158.50±1.47 <sup>a</sup>	204.37±1.31 <sup>a</sup>

*Nota.* Medias con una letra común en la columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).  
Fuente: Elaboración propia.

## Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante en las nueve variedades evaluadas estuvo en un rango de 243.59  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$  (bs) a 1282.70  $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$  (bs) (tabla 4). Los genotipos Negro San Luis y Flor de Junio presentaron los valores más altos de capacidad antioxidante. Cabe señalar que estos resultados muestran una relación entre el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, ya que estas mismas variedades presentaron los valores más altos de fenólicos totales y flavonoides totales, respectivamente. Los fitoquímicos en su fracción ligados contribuyeron en mayor medida a la capacidad antioxidante total del frijol (61.60% a 84.60%).

**Tabla 4.** Capacidad antioxidante.

Variedad	Capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ )		
	Libre	Ligada	Total
Alubia Grande	53.05 $\pm$ 1.10 <sup>i</sup>	190.54 $\pm$ 1.01 <sup>i</sup>	243.59 $\pm$ 1.00 <sup>i</sup>
Alubia Chica	150.87 $\pm$ 1.34 <sup>f</sup>	242.13 $\pm$ 1.39 <sup>h</sup>	393.00 $\pm$ 1.42 <sup>h</sup>
Pinto Saltillo	118.97 $\pm$ 1.33 <sup>h</sup>	421.06 $\pm$ 1.42 <sup>f</sup>	540.03 $\pm$ 1.32 <sup>g</sup>
Bayo	172.10 $\pm$ 1.35 <sup>e</sup>	387.99 $\pm$ 1.10 <sup>g</sup>	560.09 $\pm$ 1.12 <sup>f</sup>
Negro San Luis	218.07 $\pm$ 1.34 <sup>d</sup>	1064.63 $\pm$ 13.45 <sup>a</sup>	1282.70 $\pm$ 15.30 <sup>a</sup>
Garbancillo	120.36 $\pm$ 1.44 <sup>g</sup>	661.66 $\pm$ 1.50 <sup>c</sup>	782.02 $\pm$ 1.45 <sup>e</sup>
Flor de Mayo	355.25 $\pm$ 1.32 <sup>b</sup>	602.69 $\pm$ 1.36 <sup>d</sup>	957.94 $\pm$ 1.18 <sup>c</sup>
Japonés	307.42 $\pm$ 1.28 <sup>c</sup>	589.88 $\pm$ 1.16 <sup>e</sup>	897.30 $\pm$ 1.04 <sup>d</sup>
Flor de Junio	376.10 $\pm$ 0.98 <sup>a</sup>	721.00 $\pm$ 1.41 <sup>b</sup>	1097.10 $\pm$ 13.13 <sup>b</sup>

Nota. Medias con una letra común en la columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).  
Fuente: Elaboración propia.

## Discusión

### Antocianinas

Las antocianinas son los compuestos responsables del color rojo, negro y azul-violeta en los granos de frijol, estos pigmentos se localizan generalmente en la testa del grano (Horbowicz *et al.*, 2008; Salinas-Moreno *et al.*, 2005). El contenido de antocianinas totales en los granos de frijol puede variar en función del color del grano. Diversos factores ambientales como luz visible, radiación ultravioleta, bajas temperaturas, sequías, estrés hídrico, entre otros, han manifestado inducir la acumulación de antocianinas en las plantas (Jing *et al.*, 2007). Otros autores han reportado el contenido de antocianinas en frijol de 0.41 mg /100 g (bs) a 45 mg /100 g (bs) (Akond *et al.*, 2011; Moreno-Jiménez *et al.*, 2015; Salinas-Moreno *et al.*, 2005). Estas diferencias con nuestros resultados pueden ser atribuidas a las distintas formas de preparación de las muestras y los procedimientos de la extracción, así como el método espectrofotométrico para la identificación de estos compuestos. Las antocianinas son muy inestables en condiciones alcalinas y pueden estar presentes en su forma conjugada, unidas a compuestos solubles en agua, como lo son péptidos y oligosacáridos; las principales antocianinas reportadas en frijol son la cianidina-3-glucosido y la pelargonidina-3-glucosido (Chen *et al.*, 2015).

### Taninos condensados

Los taninos son compuestos biológicamente activos y pueden presentar un efecto nutricional benéfico o adverso y son los compuestos fenólicos predominantes en las leguminosas, incluyendo al frijol común, estos pueden interactuar con macronutrientes, especialmente las proteínas (Le Bourvellec & Renard, 2012; Xu & Chang, 2007). Los taninos están localizados en la testa y tienen un rol importante en el sistema de defensa de las semillas; por ejemplo, para las que están expuestas al daño oxidativo por muchos factores ambientales, su astringencia brinda protección contra patógenos y depredadores (Dong, 2015; Sharma,

2019). Las diferencias encontradas podrían ser atribuidas a las características genéticas y a las condiciones ambientales, no obstante, los taninos junto con las antocianinas son los principales compuestos fenólicos responsables del color en los granos de frijol. Adicionalmente, el espesor de la testa, su presencia o ausencia de esta, así como el color del cotiledón, influyen directamente en el contenido de taninos y en la coloración. Dicho espesor influye en el color del grano, el cual puede ir desde matices del blanco hasta matices del color rosa, anaranjado, rojo y marrón (Awoyinka *et al.*, 2016). Por lo anterior, la diferencia de coloración en las distintas variedades estudiadas y el tamaño de grano pueden influir en su contenido, como lo obtenido en nuestra investigación, donde la variedad Alubia Chica de coloración blanca y de tamaño pequeño, junto con la variedad Flor de Junio de coloración moteada, fueron los genotipos de frijol que mayor valor de taninos presentaron (Hayat *et al.*, 2014; Troszynska & Ciska, 2002). Los taninos condensados son compuestos de alto peso molecular que presentan una mayor capacidad antioxidante que los compuestos fenólicos simples (Xu *et al.*, 2007), por lo que podrían ser los compuestos fenólicos que contribuyen en mayor grado a la capacidad antioxidante en los granos de frijol. Adicionalmente, los taninos han mostrado tener potencial antibacteriano, antiviral, antiinflamatorio, así como vasodilatador y provocar apoptosis en ciertas células cancerosas, por lo que el consumo de frijol podría evitar el surgimiento de distintas enfermedades crónico-degenerativas (Cos *et al.*, 2004; Daza *et al.*, 2017; Fine, 2000; Ombra *et al.*, 2016).

## Flavonoides totales

Los flavonoides son compuestos que representan hasta el 50% del contenido total de compuestos fenólicos presentes en las leguminosas y su presencia influye en su sabor y en su color (Yang *et al.*, 2018; Yeo & Shahidi, 2015). Los principales flavonoides reportados en leguminosas son flavanoles, flavan-3-oles, flavonas y antocianidinas (Díaz-Batalla *et al.*, 2006). Al igual que los taninos, las diferencias encontradas podrían ser atribuidas a las características genéticas, propiedades físicas de los granos y, particularmente, a la relación de la distribución anatómica de los componentes del grano (Wang *et al.*, 2013). Como se mencionó previamente, nuestros resultados confirman que la mayoría de los flavonoides totales en los granos de frijol, independientemente de la variedad, se encuentran en su forma ligada (55.86%-81.55%). La variedad Flor de Junio presentó el mayor valor total de flavonoides, seguido por la variedad Negro San Luis. Es importante resaltar que en la literatura se ha reportado que las variedades negras de frijol se caracterizan por presentar los valores más altos de flavonoides con respecto a las variedades claras (Akond *et al.*, 2011; Salinas-Moreno *et al.*, 2005). Las variedades Alubia Grande y Alubia Chica presentaron los valores menores de flavonoides e interesantemente fueron las variedades más claras, presentando un color casi blanco. El contenido de flavonoides en el grano de frijol es muy importante, ya que las propiedades nutraceuticas atribuidas al frijol se han relacionado principalmente a este tipo de compuestos bioactivos.

## Compuestos fenólicos totales

Otros autores han reportado valores de fenólicos totales en frijol común de 117 mg EAG/100 g (bs) a 440 mg EAG/100 g (bs) (Akond *et al.*, 2011; Ombra *et al.*, 2016; Rochín-Medina *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016). Las diferencias encontradas en el contenido de compuestos fenólicos entre las diferentes variedades estudiadas podrían ser atribuidas a las características genéticas, propiedades físicas de los granos y particularmente a la relación de la distribución anatómica de los diferentes componentes del frijol; ya que la testa es la estructura del grano donde son sintetizados la mayoría de los compuestos fenólicos (Dzomba *et al.*, 2013; Xu & Chang, 2007). Al igual que el contenido de flavonoides totales, el genotipo Flor de Junio fue la variedad que presentó el mayor valor total de fenólicos totales, seguido por la variedad Negro San Luis. Los resultados obtenidos confirman la importancia y la relación que tiene el contenido de flavonoides con el contenido de compuestos fenólicos totales; sin embargo, cabe mencionar que el frijol contiene otro tipo de compuestos fenólicos, los cuales contribuyen con el contenido de fenólicos totales, como ácidos fenólicos y taninos condensados (García-Lafuente *et al.*, 2014; Owino *et al.*, 2014). Los principales efectos



benéficos a la salud de los fenólicos es su actividad antioxidante, estos compuestos tienen la capacidad de neutralizar radicales libres, quelar catalizadores metálicos, activar enzimas antioxidantes e inhibir oxidasas, aunque también se ha demostrado que estas moléculas pueden modular los procesos de señalización celular durante la inflamación (Chandrasekara & Shahidi, 2011; García-Lafuente *et al.*, 2009; Khan *et al.*, 2012; Sreerama *et al.*, 2012). El mayor contenido de compuestos fenólicos en frijol se encontró en su fracción ligada, estos se encuentran unidos covalentemente a los componentes estructurales de la pared celular, como lo son celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina y proteínas estructurales. Estos fitoquímicos brindan protección química y física al grano, protegiéndolo contra patógenos e insectos, además de tener funciones antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes (Liu, 2007; Wong, 2006). Los compuestos fenólicos ligados pueden soportar la digestión gastrointestinal y ser liberados en el colon, donde tienen su efecto nutracéutico en la salud humana, principalmente en la prevención del cáncer de colon y otros tipos de cáncer relacionados con el sistema digestivo (Acosta-Estrada *et al.*, 2014; Liu, 2007).

### Capacidad antioxidante

La variación en la capacidad antioxidante obtenida de los genotipos analizados puede atribuirse a los diferentes niveles de fitoquímicos (taninos, flavonoides y antocianinas) contenidos en cada variedad, así como a su contenido total de compuestos fenólicos, ya que estos compuestos bioactivos son los principales responsables de la capacidad antioxidante *in vitro* en frijol (Yang *et al.*, 2020). No solo el contenido de compuestos fenólicos influye en la actividad antioxidante, sino también el tipo de compuesto fenólico, además de la sinergia que puede originarse entre ellos (Bai *et al.*, 2017; Hayat *et al.*, 2014). Los compuestos antioxidantes en frijol se encuentran principalmente en su forma ligada, unidos por enlaces éster a componentes estructurales de la pared celular como celulosa y lignina. Estos compuestos son potentes antioxidantes contra los radicales hidroxilo y peroxilo, además pueden sobrevivir la digestión gastrointestinal y llegar al colon, donde pueden tener su efecto antioxidante (Liu, 2007; Lv *et al.*, 2012). Los ensayos de capacidad antioxidante químicos están basados en diferentes mecanismos, el radical DPPH tiene un intenso color púrpura en la solución, reacciona con los antioxidantes, y la reducción del radical origina una pérdida en la coloración que se relaciona con los antioxidantes presentes en la muestra de interés. El reactivo 2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) es reducido a su forma hidrazina (DPPHH) (Miller *et al.*, 2013). Diversos investigadores han reportado valores de actividad antioxidante en otras variedades de frijol, también evaluadas por el método DPPH, cultivadas en China, otras partes de América y México, reportando valores de 700  $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g (bs)}$  a 3200  $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g (bs)}$  (Aquino-Bolaños *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2020). También se ha reportado que las variedades de color negro presentan una mayor actividad antioxidante, con respecto a las variedades más claras, como lo obtenido en nuestra investigación, esto se debe principalmente a su contenido mayor de antocianinas, comprobando su rol importante en aumentar la capacidad antioxidante en frijol (Bai *et al.*, 2017; Xu & Chang, 2008).

El consumo de antioxidantes en la dieta es importante, ya que estos son capaces de neutralizar radicales libres y de reducir el riesgo de contraer enfermedades crónico-degenerativas. Por lo tanto, es muy importante determinar la actividad antioxidante en leguminosas. Hoy en día la capacidad antioxidante en frijol se ha tomado como un indicador de sus beneficios a la salud humana (Prior & Wu, 2013).

## Conclusiones

Las nueve variedades de frijol estudiadas mostraron diferencias significativas en el contenido de fitoquímicos (antocianinas, flavonoides, fenólicos totales y taninos), así como de capacidad antioxidante. La mayoría de los compuestos fenólicos totales, flavonoides y actividad antioxidante se encontró en la fracción ligada; además, las variedades con mayor contenido de flavonoides y compuestos fenólicos son las que presentaron los mayores valores de actividad antioxidante.

El presente estudio reveló que los genotipos de frijol evaluados mostraron una significativa cantidad de flavonoides y compuestos fenólicos, los que pueden ser usados como una fuente natural de antioxidantes y de defensa contra varias enfermedades crónicas. Esta información es muy importante para la selección de especies de frijol destinadas para el mejoramiento genético, valor comercial y consumo humano, además de conocer los genotipos que pueden ser empleados como ingredientes nutraceuticos en la industria alimentaria.

## Referencias

- Abdel-Aal, E. M., & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total Anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*, 76(3), 350-354. doi: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.3.350>
- Acosta-Estrada, B. A., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014). Bound phenolics in foods, a review. *Food Chemistry*, 152(1), 46-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093>
- Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6182-6187. doi: <https://doi.org/10.1021/jf0205099>
- Akond, A. S. M., Khandaker, L., Berthold, J., Gates, L., Peters, K., Delong, H., & Hossain, K. (2011). Anthocyanin, total polyphenols and antioxidant activity of common bean. *American Journal of Food Technology*, 6(5), 385-394. doi: <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.385.394>
- Aquino-Bolaños, E. N., García-Díaz, Y. D., Chavez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C., Vera-Guzmán, A. M., & Heredia-García, E. (2016). Anthocyanins, polyphenols, and flavonoids and antioxidant activity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(8), 581-588. doi: <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-147>
- Awoyinka, O. A., Ileola, A. O., Imeoria, C. N., Tijani, T. D., Oladele, F. C., & Asaolu, M. F. (2016). Comparison of phytochemicals and anti-nutritional factors in some selected wild and edible bean in Nigeria. *Food and Nutrition Sciences*, 7(2), 102-111. doi: <https://doi.org/10.4236/fns.2016.72012>
- Bai, Y., Xu, Y., Wang, B., Li, S., Guo, F., Hua, H., Zhao, Y., & Yu, Z. 2017. Comparison of phenolic compounds, antioxidant and antidiabetic activities between selected edible beans and their different growth periods leaves. *Journal of Functional Foods*, 35(1), 694-702. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.036>
- Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzmán-Maldonado, S. H., Paredes-López, O., Oomah, B. D., & Loarca-Piña, G. (2009). Chemical composition and *in vitro* polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Safety*, 74(7), 59-65. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01292.x>
- Cardador-Martinez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 6975-6980. doi: <https://doi.org/10.1021/jf020296n>
- Castillo, M., Ramírez, P., Castillo, F., & Miranda, S. (2006). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del estado de México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 29(2), 111-119. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61029203>
- Chandrasekara, A., & Shahidi, F. (2011). Bioactivities and antiradical properties of millet grains and hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(17), 9563-9571. doi: <https://doi.org/10.1021/jf201849d>

- Chen, P. X., Bozzo, G. G., Freixas-Coutin, J. A., Marcone, M. F., Pauls, P. K., Tang, Y., Zhang, B., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Free and conjugated phenolic compounds and their antioxidant activities in regular and non-darkening cranberry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed coats. *Journal of Functional Foods*, *18*, 1047–1056. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.032>
- Choung, M., Choi, B., An, Y., Chu, Y., & Cho, Y. (2003). Anthocyanin profile of Korean cultivated kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(24), 7040-7043. doi: <https://doi.org/10.1021/jf0304021>
- Cos, P., De Bruyne, T., Hermans, N., Apers, S., Berghe, D., & Vlietinck, A. J. (2004). Proanthocyanidins in health care: Current and new trends. *Current Medicinal Chemistry*, *11*(10), 1345-59. doi: <https://doi.org/10.2174/0929867043365288>
- Cruz-Bravo, R. K., Guevara-Gonzalez, R., Ramos-Gomez, M., Garcia-Gasca, T., Campos-Vega, R., Oomah, B. D., & Loarca-Piña, G. (2011). Fermented nondigestible fraction from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Negro 8025 modulates HT-29 cell behavior. *Journal of Food Science*, *76*(2), 41–47. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.02025.x>
- Daza, L. D., Fujita, A., Granato, D., Fávoro-Trindade, C. S., & Genovese, M. I. (2017). Functional properties of encapsulated Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extract. *Food Bioscience*, *18*(1), 15–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.03.003>
- Díaz-Batalla, L., Widholm, J. M., Fahey, G. C., Castaño-Tostado, E., & Paredes-López, O. (2006). Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*(6), 2045–2052. doi: <https://doi.org/10.1021/jf051706l>
- Dong, C. (2015). Protective effect of proanthocyanidins in cadmium induced neurotoxicity in mice. *Drug Research*, *65*(10), 555–560. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0034-1395544>
- Dzomba, P., Togarepi, E., & Mupa, M. (2013). Anthocyanin content and antioxidant activities of common bean species (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Mashonaland Central, Zimbabwe. *African Journal of Agricultural Research*, *8*(50), 3330-3333. doi: <https://doi.org/10.5897/AJAR12.225>
- Fine, A. M. (2000). Oligomeric proanthocyanidin complexes: History, structure, and phytopharmaceutical applications. *Alternative Medicine Review: A Journal of Clinical Therapeutic*, *5*(2), 144–151. <https://europepmc.org/article/med/10767669>
- García-Lafuente, A., Guillamón, E., Villares, A., Rostagno, M. A., & Martínez, J. A. (2009). Flavonoids as anti-inflammatory agents: Implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflammation Research*, *58*(9), 537–552. doi: <https://doi.org/10.1007/s00011-009-0037-3>
- García-Lafuente, A., Moro, C., Manchón, N., Gonzalo-Ruiz, A., Villares, A., Guillamón, E., Rostagno, M., & Mateo-Vivaracho, L. (2014). *In vitro* anti-inflammatory activity of phenolic rich extracts from white and red common beans. *Food Chemistry*, *161*, 216–223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.004>
- Gepts, P., & Deboucq, D. G. (1991). *Origin, domestication, and evolution of the common bean (Phaseolus vulgaris L.)*. van Schoonhoven & Voysest.
- Guajardo-Flores, D., Serna-Saldívar, S. O., & Gutiérrez-Urbe, J. A. (2013). Evaluation of the antioxidant and antiproliferative activities of saponin and flavonols from germinated black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) extracts. *Food Chemistry*, *141*(2), 1497-1503. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.010>
- Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A., & Bashir, S. (2014). Nutritional and health perspectives of beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *54*(5), 580–592. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>
- Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M. G., & Romani, A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, *53*(8), 3053–3056. doi: <https://doi.org/10.1021/jf049001r>
- Hernández-Saavedra, D., Mendoza-Sánchez, M., Hernández-Montiel, H. L., Guzmán-Maldonado, H. S., Loarca-Piña, G. F., Salgado, L. M., & Reynoso-Camacho, R. (2013). Cooked common beans (*Phaseolus vulgaris*) protect against  $\beta$ -cell damage in streptozotocin-induced diabetic rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, *68*(2), 207–212. doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0353-1>
- Horbowicz, M., Kosson, R., Grzesiuk, A., & Debski, H. (2008). Anthocyanins of Fruits and Vegetables-Their occurrence, analysis and role in human nutrition. *Vegetables Crops Research Bulletin*, *68*, 5-22. doi: <https://doi.org/10.2478/v10032-008-0001-8>

- Jayalath, V. H., De Souza, R. J., Sievenpiper, J. L., Ha, V., Chiavaroli, L., Mirrahimi, A., Di Buono, M., Bernstein, A. M., Leiter, L. A., Kris-Etherton, P. M., Vuksan, V., Beyene, J., Kendall, C. W. C., & Jenkins, D. J. A. (2014). Effect of dietary pulses on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of controlled feeding trials. *American Journal of Hypertension*, 27(1), 56–64. doi: <https://doi.org/10.1093/ajh/hpt155>
- Jing, P., Noriega, V., Schwartz, S. J., & Giusti, M. M. (2007). Effects of growing conditions on purple corn cob (*Zea mays* L.) anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8625-8629. doi: <https://doi.org/10.1021/jf070755q>
- Khan, N., Monagas, M., Andres-Lacueva, C., Casas, R., Urpí-Sardà, M., Lamuela-Raventós, R. M., & Estruch, R. (2012). Regular consumption of cocoa powder with milk increases HDL cholesterol and reduces oxidized LDL levels in subjects at high-risk of cardiovascular disease. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases*, 22(12), 1046–1053. doi: <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2011.02.001>
- Le Bourvellec, C., & Renard, C. M. G. C. (2012). Interactions between polyphenols and macromolecules: Quantification methods and mechanisms. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 52(3), 213-248. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499808>
- Liu, R. H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 207–219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.010>
- Lv, J., Yu, L., Lu, Y., Niu, Y., Liu, L., Costa, J., & Yu, L. (2012). Phytochemical compositions, and antioxidant properties, and antiproliferative activities of wheat flour. *Food Chemistry*, 135(2), 325–331. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.141>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7, 1259-1276. doi: <https://doi.org/10.5194/hessd-7-2499-2010>
- Miller, H. E., Rigelhof, F., Marquart, L., Prakash, A., & Kanter, M. (2013). Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits and vegetables. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(3), 312-319. doi: <https://doi.org/10.1080/07315724.2000.10718966>
- Moreno-Jiménez, M. R., Cervantes-Cardoza, V., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Estrella, I., García-Gasca, T. J., Herrera-Carrera, E., Díaz-Rivas, J. O., & Rocha-Guzmán, N. E. (2015). Phenolic composition changes of processed common beans: Their antioxidant and anti-inflammatory effects in intestinal cancer cells. *Food Research International*, 76(1), 79–85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.003>
- Ombra, M. N., d'Acerno, A., Nazzaro, F., Riccardi, R., Spigno, P., Zaccardelli, M., Pane, C., Maione, M., & Fratanni, F. (2016). Phenolic composition and antioxidant and antiproliferative activities of the extracts of twelve common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) endemic ecotypes of southern Italy before and after cooking. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1398298>
- Owino, J., Mukashyaka, P., Ndayisaba, H., Habimana, V., Ongol, M. P., Dil, T., & Pushparajah, T. (2014). Phenolic compound profiles of two common beans consumed by rwandans. *American Journal of Plant Sciences*, 5(20), 2943-2947. doi: <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.520310>
- Prior, R. L., & Wu, X. (2013). Diet antioxidant capacity: Relationships to oxidative stress and health. *American Journal of Biomedical Sciences*, 5(2), 126-139. doi: <https://doi.org/10.5099/aj130200126>
- Reynoso, R., Ríos, M. C., Torres, I., Acosta, J. A., Palomino, A. C., Ramos, M., González, E., & Guzmán, S. H. (2007). El consumo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y su efecto sobre el cáncer de colon en ratas Sprague-Dawley. *Agricultura Técnica en México*, 33(1), 43–52. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v33n1/v33n1a5.pdf>
- Rochín-Medina, J. J., Gutiérrez-Dorado, R., Sánchez-Magaña, L. M., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Mora-Rochín, S., Valdez-Ortiz A., & Reyes-Moreno, C. (2015). Enhancement of nutritional properties, and antioxidant and antihypertensive potential of black common bean seeds by optimizing the solid state bioconversion process. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(5), 498-504. doi: <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1052377>
- Rodríguez-Licea, G., García-Salazar, J. A., Rebollar-Rebollar, S., & Cruz-Contreras, A. C. (2010). Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: Factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico*, 2(1), 121-145. <https://paradigmaeconomico.uaemex.mx/article/view/4810>
- Salinas-Moreno, Y., Rojas-Herrera, L., Sosa-Montes, E., & Pérez-Herrera, P. (2005). Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México. *Agrociencia*, 39(4), 385-394. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239403>

- Sharma, K. P. (2019). Tannin degradation by phytopathogen's tannase: A Plant's defense perspective. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101342>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidant by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299, 152-165. doi: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Sreerama, Y. N., Takahashi, Y., & Yamaki, K. (2012). Phenolic antioxidants in some *Vigna* species of legumes and their distinct inhibitory effects on  $\alpha$ -glucosidase and pancreatic lipase activities. *Journal of Food Science*, 77(9), 927-933. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02848.x>
- Thompson, M. D., Mensack, M. M., Jiang, W., Zhu, Z., Lewis, M. R., McGinley, J. N., Brick, M. A., & Thompson, H. J. (2012). Cell signaling pathways associated with a reduction in mammary cancer burden by dietary common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Carcinogenesis*, 33(1), 226-232. doi: <https://doi.org/10.1093/carcin/bgr247>
- Treviño-Mejía, D., Luna-Vital, D. A., Gaytán-Martínez, M., Mendoza, S., & Loarca-Piña, G. (2016). Fortification of commercial nixtamalized maize (*Zea mays* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) increased the nutritional and nutraceutical content of tortillas without modifying sensory properties. *Journal of Food Quality*, 39(6), 569-579. doi: <https://doi.org/10.1111/jfq.12251>
- Troszynska, A., & Ciska, E. (2002). Phenolic compounds of seed coats of white and coloured varieties of pea (*Pisum sativum* L.) and their total antioxidant activity. *Czech Journal of Food Sciences*, 20(1), 15-22. doi: <https://doi.org/10.17221/3504-CJFS>
- Vergara-Castañeda, H. A., Guevara-González, R. G., Ramos-Gómez, M., Reynoso-Camacho, R., Guzmán-Maldonado, H., Feregrino-Pérez, A. A., Oomah, B. D., & Loarca-Piña, G. (2010). Non-digestible fraction of cooked bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Bayo Madero suppresses colonic aberrant crypt foci in azoxymethane-induced rats. *Food and Function*, (3), 294-300. doi: <https://doi.org/10.1039/c0fo00130a>
- Wang, X., Hansen, C., & Allen, K. (2013). Identification of anthocyanins isolated from black bean canning wastewater by macroporous resin using optimized conditions. *Food and Nutrition Sciences*, 4(8), 174-181. doi: <https://doi.org/10.4236/fns.2013.48A021>
- Wang, Y., Zhang, X., Chen, G., Yu, J., Yang, L., & Gao, Y. (2016). Antioxidant property and their free, soluble conjugate and insoluble-bound phenolic contents in selected beans. *Journal of Functional Foods*, 24, 359-372. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.026>
- Wong, D. W. S. (2006). Feruloyl esterase: A key enzyme in biomass degradation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 133, 87-112. doi: <https://doi.org/10.1385/ABAB:133:2:87>
- Xu, B. J., & Chang, S. K. C. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science*, 72(2), 159-66. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x>
- Xu, B. J., Yuan, S. H., & Chang, S. K. C. (2007). Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. *Journal of Food Science*, 72(2), 167-177. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00261.x>
- Xu, B., & Chang, S. K. C. (2008). Antioxidant capacity of seed coat, dehulled bean, and whole black soybeans in relation to their distributions of total phenolics, phenolic acids, anthocyanins, and isoflavones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(18), 8365-8373. doi: <https://doi.org/10.1021/jf801196d>
- Yang, Q., Gan, R., Ge, Y., Zhang, D., & Corke H. (2018). Polyphenols in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Chemistry, analysis, and factors affecting composition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(6), 1518-1539. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12391>
- Yang, Q., Kabeer, A., Cheng, L., Kim, G., Zhang, T., & Corke, H. (2020). Phenolic content and *in vitro* antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are not directly related to anti-proliferative activity. *Food Bioscience*, 36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100662>
- Yeo, J., & Shahidi, F. (2015). Critical evaluation of changes in the ratio of insoluble bound to soluble phenolics on antioxidant activity of lentils during germination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(2), 379-381. doi: <https://doi.org/10.1021/jf505632p>
- Zizumbo-Villarreal, D., & Colunga-GarcíaMarín, P. (2010). Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 813-825. doi: <https://doi.org/10.1007/s10722-009-9521-4>