

CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA, COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN VARIEDADES DEL FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) DEL ESTADO DE OAXACA.

Janis A. Espíritu-Rojas^{1,2}, Juan Gabriel Torruco-Uco⁴, Paul Mauricio Sánchez-Ocampo^{1,3}, Jacqueline Capataz-Tafur^{1,3*}.

¹Centro de Investigaciones Científicas, Instituto de Biotecnología, Universidad del Papaloapan, Tuxtepec 68301, Oaxaca, México. ²Programa de Doctorado en Biotecnología, División de Estudios de Posgrado, Universidad del Papaloapan, Tuxtepec 68301, Oaxaca, México. ³Laboratorio de Biotecnología de Plantas Medicinales, Instituto de Biotecnología, Universidad del Papaloapan, Tuxtepec 68301, Oaxaca, México.

⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja, No. 561. Col. Predio El Paraíso, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México.

Correspondencia: jcapataz@unpa.edu.mx.

Resumen

Se evaluaron cinco variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en el estado de Oaxaca: Jamapa, Criollo San Juan, Blanco, Rojo Oscuro y Mixteco, con el objetivo de caracterizar sus propiedades físicas, químicas, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante (DPPH• y ABTS⁺⁺). La variedad Rojo Oscuro destacó por presentar el mayor tamaño de semilla, así como un elevado contenido de proteínas (13.46%), cenizas (4.92%), compuestos fenólicos (2.37 mg EAG/g b.s.), flavonoides totales (7.09 mg EQ/g b.s.) y la mayor actividad antioxidante (18.78 DPPH• y 37.96 ABTS⁺⁺). Por su parte, el frijol Blanco mostró el mayor contenido proteico (14.48%) y de grasa (2.57%). Las variedades de frijol negro (Jamapa y Criollo San Juan) también se destacaron por su notable actividad antioxidante, en particular en el ensayo ABTS⁺⁺.

En conjunto, estos resultados evidencian que las variedades de frijol con tonalidades oscuras concentran mayores cantidades de compuestos bioactivos y exhiben una mayor actividad antioxidante, lo que resalta su potencial como alimentos funcionales con beneficios para la salud, especialmente en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles.

Palabras Claves: Frijol común, compuestos bioactivos, actividad antioxidante, alimento funcional.

Abstract

Five common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties cultivated in the state of Oaxaca Jamapa, Criollo San Juan, Blanco, Rojo Oscuro, and Mixteco were evaluated characterizing their physical and chemical properties, bioactive compound content, and antioxidant activity (DPPH• and ABTS⁺⁺). The Rojo Oscuro variety stood out for exhibiting the largest seed size, as well as a high content of proteins (13.46%), ash (4.92%), phenolic compounds (2.37 mg GAE/g d.w.), total flavonoids (7.09 mg QE/g d.w.), and the highest antioxidant activity (18.78 DPPH• and 37.96 ABTS⁺⁺). In turn, the Blanco bean showed the highest protein (14.48%) and fat (2.57%) contents. The black bean varieties (Jamapa and Criollo San Juan) also stood out for their remarkable antioxidant activity, particularly in the ABTS⁺⁺ assay.

Overall, these findings demonstrate that dark colored bean varieties concentrate higher amounts of bioactive compounds and exhibit greater antioxidant activity, highlighting their potential as functional foods with health benefits, especially in the prevention of non-communicable chronic diseases.

Key Words: Common bean, bioactive compounds, antioxidant activity, functional food.

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas de mayor relevancia a nivel mundial, debido principalmente a su elevado valor nutritivo. Constituye una fuente relevante de proteínas (20-25%) y carbohidratos complejos (50-60%), además de aportar cantidades importantes de fibra dietética, ácidos grasos poliinsaturados y diversos macro y micronutrientes esenciales (Chen *et al.*, 2015). Estas propiedades nutricionales se encuentran estrechamente vinculadas con la composición estructural del grano, el cual está conformado por tres componentes principales: la testa (9%), los cotilédones (90%) y el eje embrionario (1%), cada uno con perfiles específicos de compuestos bioactivos (Figura 1).

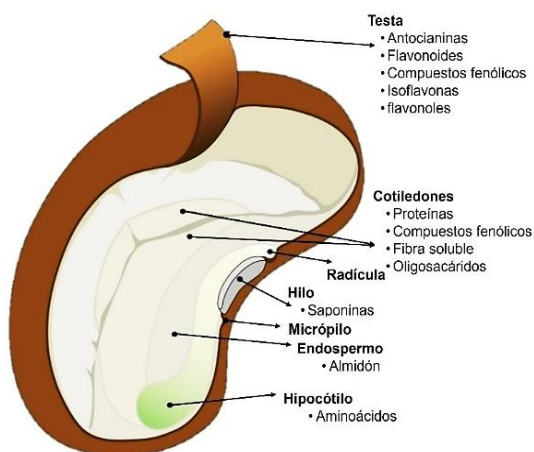


Figura 1. Anatomía de la semilla del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Reyes-Bautista *et al.*, 2024).

Diversos estudios han demostrado que el contenido de compuestos fenólicos se encuentra estrechamente correlacionado con la actividad antioxidante del frijol. En particular, las variedades con testa pigmentada (roja, negra, rosa, crema o marrón) presentan niveles significativamente superiores de actividad antioxidante en comparación con aquellas de testa blanca (Rodríguez-Madrera *et al.*, 2021). Estos compuestos no solo actúan como neutralizadores de radicales libres, sino que también se han asociado con efectos antiinflamatorios, anticancerígenos, antidiabéticos, antiobesidad y antimutagénicos (Ganesan & Xu, 2017). El consumo regular de frijol se ha relacionado

con la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, cáncer gástrico y de próstata, así como con la prevención de la obesidad. Dichas propiedades funcionales se atribuyen principalmente a la presencia de compuestos bioactivos, tales como compuestos fenólicos, flavonoides, ácidos fenólicos, taninos y ácidos triterpénicos, entre otros.

En el estado de Oaxaca, el frijol constituye uno de los cultivos agrícolas de mayor relevancia. A lo largo del tiempo, los productores locales han realizado una selección empírica de colectas, priorizando aquellas variedades mejor adaptadas a las condiciones agroclimáticas de cada región, lo cual influye de manera determinante en los niveles de productividad. En diferentes zonas del estado se han identificado numerosas colectas locales; no obstante, pese a los esfuerzos realizados a nivel nacional para caracterizar la diversidad genética del frijol, el conocimiento sobre la totalidad del germoplasma disponible sigue siendo limitado. De igual forma, son escasos los estudios que aborden de manera integral aspectos taxonómicos, anatómicos, fisiológicos y etnobotánicos de estas variedades (Pliego-Marín *et al.*, 2013).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la composición nutricional, el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, así como la actividad antioxidante de distintas variedades de frijol, con el propósito de identificar aquellas con mayor potencial funcional y nutracéutico.

Materiales y Métodos

Materia prima

Se evaluaron cinco variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) procedentes del estado de Oaxaca (Tabla 1). Los granos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y procesados en el Laboratorio de Biotecnología de Plantas Medicinales del Centro de Investigaciones Científicas de la Universidad del Papaloapan (UNPA), campus Tuxtepec. Posteriormente, los granos fueron sometidos a un proceso de limpieza, envasados en bolsas de plástico selladas al vacío y almacenados a una temperatura de 8-10 °C hasta su uso.

Artículos

Tabla 1. Variedades y origen del frijol común.

Variedad de frijol	Origen	Foto
Rojo Oscuro	Zimatlán de Álvarez, Valles centrales de Oaxaca, México.	
Blanco	Zimatlán de Álvarez, Valles centrales de Oaxaca, México	
Mixteco	Santa Ana Tlapacoya, Valles Centrales de Oaxaca, México	
Criollo San Juan	San Juan Sayultepec, región Mixteca, Oaxaca, México	
Jamapa	San Juan Bautista Tuxtepec, región de la Cuenca del Papaloapan, Oaxaca, México	

Caracterización física de los granos de frijol

Los granos de frijol fueron limpiados y seleccionados, posteriormente se midieron las características físicas (largo, ancho, grosor e

hilo, peso, Figura 2), a 100 granos de cada variedad con un vernier digital (RexQualis), los granos también fueron pesados usando una balanza analítica (ADAM) (León-Murillo, 2016).



Figura 2. Representación de las tres dimensiones del frijol común

Se calculó del diámetro geométrico (D_g), el diámetro aritmético (D_a), el volumen (mm^3), el coeficiente de aplanamiento y el criterio de la

esfericidad (Φ) para de los granos de frijol de acuerdo con las ecuaciones de la Tabla 2 (Mohsenin, 2020 y Ganesan & Xu, 2017).

Tabla 2. Propiedades físicas de los granos de frijol.

Propiedad física	Ecuación
Diámetro aritmético (D_a)	$D_a = \frac{L \times A \times G}{3}$
Diámetro geométrico (D_g)	$D_g = (G \times A \times L)^{1/3}$
Esfericidad (Φ)	$\Phi = \frac{D_a}{L}$
Coeficiente de aplanamiento	$\text{Coef. de apl} = \frac{G}{L}$
Volumen aproximado (V):	$Vol = \frac{3\pi LAG}{32}$

Donde: L= longitud (mm), A= ancho (mm), G= grosor (mm), D_a = diámetro medio aritmético (mm), D_g =diámetro medio geométrico (mm), Φ = esfericidad (adimensional), V= volumen (mm^3).

Obtención de harinas

Los granos fueron molidos en un equipo Nutribullet (licuadora de alta velocidad), y se tamizaron con una malla No. 80 (0.177 mm). Las harinas crudas (HC) obtenidas se almacenaron en bolsas de polipropileno selladas al vacío y se conservaron a temperatura ambiente hasta su uso (Manuel-Pérez *et al.*, 2023).

Análisis químico proximal

La caracterización química proximal se realizó siguiendo la metodología propuesta por AOAC (2019), utilizando 1 g de HC de cada variedad de frijol. El contenido de humedad se determinó a 105 °C hasta alcanzar peso constante (Método 925.09). El contenido de cenizas se obtuvo por calcinación a 550 °C durante 4 h (Método 923.03). La grasa cruda se cuantificó como lípidos libres, mediante extracción con hexano (Método 920.39). La proteína cruda se determinó por el método Kjeldahl, aplicando un factor de conversión 6.25 para estimar el contenido proteico (Método 954.01). La fibra total se cuantificó por digestión ácido-alcalina utilizando 1 g de harina (Método 978.10). Finalmente, el extracto libre de nitrógeno (ELN) se calculó por diferencia.

Extracción de compuestos bioactivos

La extracción de compuestos bioactivos se realizó utilizando una relación 1:10 (p/v) de harina con una mezcla de acetona, agua y ácido acético (70:29.5:0.5 v/v/v) (Singh *et al.*, 1991; Xu & Chang, 2007). La suspensión se mantuvo en agitación (Prendo, modelo AGO 60-40) durante 16 h a 160 rpm. Posteriormente, los extractos se centrifugaron (Thermo Fisher, modelo Heraeus Megafuge 16R) a 3490 × g por 15 min, el precipitado se lavó con el mismo solvente. Los sobrenadantes obtenidos se concentraron en un rotavapor a 45 °C, se liofilizaron y finalmente almacenados bajo refrigeración a -4 °C hasta su análisis.

Determinación de compuestos fenólicos y flavonoides totales

La extracción de compuestos fenólicos y flavonoides se realizó a partir de 10 mg de harina suspendidos en 10 mL de metanol. El contenido de compuestos fenólicos se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999), mientras que, el contenido de flavonoides totales se

evaluó mediante un ensayo colorimétrico adaptado al formato de microplacas (Xu & Chang, 2007). Para la elaboración de las curvas estándar se utilizaron ácido gálico y catequina como patrones de referencia. Los resultados de compuestos fenólicos totales (CFT) se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por g de base seca (mg EAG/g b.s.) y los flavonoides totales (FT) como mg equivalentes de quercetina por g base seca (mg EQ/g b.s.).

Evaluación de la actividad antioxidante (ABTS^{•+} y DPPH[•])

La actividad antioxidante de los extractos metanólicos (10 mg/mL) se evaluó mediante los métodos ABTS^{•+} (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (Re *et al.*, 1999) y DPPH[•] (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) (Brand-Williams *et al.*, 1995), ambos adaptados al formato de microplacas. Para la cuantificación se construyó una curva de calibración elaborada con Trolox (1 mg/mL en metanol) en un intervalo de 0 a 1000 µg/mL. Los resultados se expresaron como µmol equivalente de Trolox/g de muestra en bases seca (ecuación 1).

$$\text{Ecuación (1)} \quad \%AA = \left[1 - \frac{A_m}{A_R} \right] \times 100$$

Donde: %AA: Actividad antirradical; A_m : Absorbancia de las muestras; A_R : Absorbancia de la referencia.

Análisis estadístico

El análisis de los resultados se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, y una prueba de Fisher para la comparación de medias. Este estadístico se realizó con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, utilizando el paquete estadístico Minitab® 2020 (versión 20.3).

Resultados

Las características físicas de los granos de las cinco variedades de *Phaseolus vulgaris* L., se presentan en la Tabla 3. Las variedades mostraron diferencias significativas entre sí, reflejando la diversidad morfológica existente. La variedad Rojo Oscuro destacó por ser la de mayor tamaño con valores de longitud (10.36 mm), ancho (6.45 mm), grosor (5.50 mm), hilo (2.23 mm), peso (0.27 g) y volumen (0.11 mm³). Asimismo, presentó los mayores diámetros aritmético ($D_a = 7.44$ mm)

y geométrico ($D_g = 4.72$ mm), confirmando su condición de una semilla grande y de forma ovalada. Estos valores difieren ligeramente de lo reportado por García-Díaz (2016), quien caracterizó esta misma variedad con dimensiones mayores (longitud: 11.8 mm, ancho, 7.1 mm, grosor: 5.4 mm y peso: 0.261 g), y concluyó que el frijol rojo es uno de los granos más grandes del género *P. vulgaris*.

Las variedades **Jamapa**, **Criollo San Juan** y **Mixteco** mostraron dimensiones intermedias. La variedad **Jamapa** mostró

valores similares en longitud (8.66 mm), volumen (0.07 mm^3) y coeficiente de esfericidad (0.74), lo que sugiere una semilla con una **forma ovalada a ligeramente redondeada**. El **Criollo San Juan** presentó una esfericidad de 0.69 y un coeficiente de aplanamiento de 0.47, indicando una semilla más **alargada y aplanada**. Por su parte, la variedad **Mixteco**, presentó la menor esfericidad (0.66) y el coeficiente de aplanamiento más bajo del grupo (0.40), lo que confirma su **forma alargada y aplanada**.

Tabla 3. Características físicas y morfológicas de los granos de frijol común.

Propiedades físicas	Variedades de frijol				
	Jamapa	Criollo San Juan	Blanco	Rojo Oscuro	Mixteco
Longitud (mm)	8.66 ± 0.04^d	9.27 ± 0.05^c	9.17 ± 0.05^c	10.36 ± 0.06^a	9.64 ± 0.05^b
Ancho (mm)	5.98 ± 0.40^b	5.41 ± 0.03^d	5.37 ± 0.03^d	6.45 ± 0.08^a	5.61 ± 0.03^c
Grosor (mm)	4.64 ± 0.03^b	4.37 ± 0.03^c	3.93 ± 0.03^d	5.50 ± 0.04^a	3.87 ± 0.04^d
Hilo (mm)	1.90 ± 0.05^c	1.80 ± 0.03^d	1.74 ± 0.03^d	2.23 ± 0.04^a	2.11 ± 0.03^b
Peso (g)	0.18 ± 0.03^b	0.17 ± 0.03^c	0.14 ± 0.02^e	0.27 ± 0.04^a	0.16 ± 0.02^d
D_a (mm)	6.43 ± 0.36^b	6.35 ± 0.30^b	6.16 ± 0.30^c	7.44 ± 0.04^a	6.38 ± 0.03^b
D_g (mm)	4.39 ± 0.12^b	4.36 ± 0.10^b	4.30 ± 0.01^c	4.72 ± 0.01^a	4.37 ± 0.01^b
ϕ	0.74 ± 0.02^a	0.69 ± 0.02^c	0.67 ± 0.01^d	0.72 ± 0.02^b	0.66 ± 0.02^c
Volumen (mm^3)	0.07 ± 0.01^b	0.06 ± 0.01^c	0.06 ± 0.01^d	0.11 ± 0.02^a	0.06 ± 0.01^c
Coef. De aplanamiento	0.54 ± 0.03^a	0.47 ± 0.03^b	0.43 ± 0.03^c	0.53 ± 0.04^a	0.40 ± 0.04^d

Los valores son el promedio de 100 repeticiones $\pm$ error estándar. ^{a-f}Letras diferentes en la misma fila indican diferencia significativa de ($p < 0.05$).

Finalmente, la variedad **Blanca** fue la de menor tamaño, con los valores más bajos en las características en grosor (3.93 mm), hilo (1.74 mm), peso (0.14 g), volumen (0.06 mm^3), coeficiente de aplanamiento (0.43) y esfericidad ($\phi = 0.67$). Estos resultados coinciden con lo reportado por Solano-Cervantes *et al.* (2009), quienes caracterizaron esta misma variedad (longitud: 8.50 mm, ancho: 5.95 mm y grosor: 5.0 mm) y concluyeron que se encuentra entre las semillas más pequeñas del género *P. vulgaris* L.

Las diferencias observadas en las características físicas (tamaño, peso, diámetro, volumen, esfericidad y coeficiente de aplanamiento) pueden atribuirse tanto a la variedad y al manejo agronómico del cultivo, como a las condiciones climáticas y al origen del grano (Maqueira-López *et al.*, 2021).

Asimismo, se reconoce la influencia de factores genéticos (García-Díaz, 2016). Cabe destacar que, respecto al volumen y al coeficiente de aplanamiento, no hay estudios previos que describan estas características en frijoles u otras leguminosas; por lo tanto, los resultados obtenidos constituyen un aporte relevante para futuras investigaciones orientadas a relacionar estas propiedades físicas con la calidad del grano, el diseño de cribadoras para la selección de semillas por tamaño y el comportamiento en procesos biológicos como la germinación.

El análisis químico proximal de las harinas crudas de frijol se presenta en la Tabla 4. El contenido de humedad osciló entre 9.07% (Mixteco) a 11.44% (Jamapa), estos valores se encuentran dentro de lo establecido por la NOM-147-SSA1-1996 ($\leq 15\%$ de humedad en harinas), lo cual garantiza su calidad y vida de

anaquel, además de confirmar que las muestras cumplen con los requisitos para su comercialización y procesamiento industrial.

En cuanto al contenido de proteína, las variedades Blanco (14.48%) y Rojo Oscuro (13.46%) destacaron por presentar valores más altos, ubicándose dentro del intervalo de 14.2-19% reportado para frijoles rojos y negros por Campos-Vega *et al.* (2010). Por el contrario, las variedades Jamapa (11.22%), Criollo San Juan (11.01%) y Mixteco (12.77%) mostraron valores inferiores a lo descrito en la literatura. El elevado contenido proteico en las HC de las variedades Blanco y Rojo Oscuro puede atribuirse a una eficiente acumulación de reservas en los cotiledones (Singh & Singh Riar, 2022). Cabe señalar que la concentración de proteína en el frijol depende no solo de los genes implicados en su síntesis y acumulación, sino también de procesos fisiológicos relacionados con la absorción de nutrientes, la maduración, el tamaño de la semilla y la síntesis y acumulación de almidón. Además, factores ambientales como la ubicación geográfica y la época de cosecha influyen de manera significativa en este parámetro (Cid-Gallegos *et al.*, 2023).

Respecto al contenido de grasa, las variedades evaluadas se encontraron en un intervalo de 1.64% (Jamapa) a 2.57% (Blanco) (Tabla 4), valores que coinciden con lo reportado por Kan *et al.*, (2017), para diversas variedades de *P. vulgaris* L. (0.8-2.83%). Las diferencias observadas pueden atribuirse a la variabilidad genética, así como a las condiciones de cultivo y ambientales durante el desarrollo del grano (Galván-Mondragón, 2023).

En el caso de las cenizas, las variedades Blanca (5.10%) y Mixteco (5.26%) mostraron los valores más altos (Tabla 4), superando en aproximadamente un 45% lo reportado por Galván-Mondragón. (2023) para frijol común (3.51%). Por otro lado, las variedades Jamapa (3.84%) y Criollo San Juan (3.58%) presentaron los contenidos más bajos, aunque ligeramente superiores, cerca del 2%, a los mencionados por dicho autor. Esta variabilidad refleja la diversidad genética y funcional de variedades de frijol, lo que subraya su potencial nutraceutico (Onwuka *et al.*, 2024).

Tabla 4. Composición química proximal de las harinas crudas del frijol (*P. vulgaris* L).

Nombre común del frijol	%					
	Humedad	Proteínas	Grasa	Cenizas	Fibra total	ELN
Jamapa	11.44 ± 0.15 ^a	11.22 ± 0.23 ^c	1.64 ± 0.06 ^c	3.84 ± 0.03 ^c	1.43 ± 0.06 ^d	70.34 ± 0.22 ^b
Criollo San Juan	10.94 ± 0.40 ^b	11.01 ± 0.13 ^c	1.70 ± 0.05 ^c	3.58 ± 0.01 ^d	2.13 ± 0.04 ^{ab}	70.64 ± 0.09 ^a
Blanco	9.94 ± 0.29 ^c	14.48 ± 0.22 ^a	2.57 ± 0.06 ^a	5.10 ± 0.03 ^a	1.77 ± 0.01 ^c	66.14 ± 0.44 ^d
Rojo oscuro	10.57 ± 0.18 ^b	13.46 ± 0.08 ^a	2.21 ± 0.07 ^b	4.92 ± 0.02 ^b	2.25 ± 0.10 ^a	66.59 ± 0.55 ^d
Mixteco	9.07 ± 0.14 ^c	12.77 ± 0.29 ^b	2.13 ± 0.07 ^b	5.26 ± 0.01 ^a	2.04 ± 0.01 ^b	68.73 ± 0.46 ^c

Los valores son el promedio de 3 repeticiones ± error estándar. ^{a-d}Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa de (p<0.05).

Las variedades de Criollo San Juan, Mixteco y Rojo Oscuro presentaron los mayores contenidos de fibra 2.26%, 2.13% y 2.39%, respectivamente (Tabla 4). Estos valores fueron inferiores a los reportados por Guevara *et al.* (2020), quienes encontraron valores de 3.52% a 6.73% en variedades de frijol negro y

rojo. En contraste, las variedades Blanco y Jamapa mostraron los valores más bajos 1.86% y 1.52% respectivamente. El bajo contenido de fibra total observado en las variedades evaluadas podría atribuirse a la mayor proporción de otros componentes (proteínas y carbohidratos), así como a

factores genéticos y ambientales que afectan la acumulación de polisacáridos estructurales (Cid-Gallegos *et al.*, 2023).

Las harinas de frijol Rojo Oscuro y Criollo San Juan presentaron el mayor contenido de extracto libre de nitrógeno (ELN) 77.44% y 70.91%, respectivamente (Tabla 4), valores superiores al intervalo de 50-60% para frijol común reportado por Cid-Gallegos *et al.* (2023). En contraste, la variedad Jamapa presentó el valor más bajo (62.21%), ligeramente superior al reportado por el mismo autor. El intervalo de ELN observado (52-76%) indica la presencia de compuestos nitrogenados disponibles como reserva energética en el grano, con un alto porcentaje de almidón, azúcares solubles y fibra dietética (Singh & Singh Riar, 2022). Cabe destacar que el almidón de las leguminosas contribuye a la liberación lenta de glucosa, favoreciendo un bajo índice glucémico y generando beneficios a la salud (Berrios *et al.*, 2010).

El contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) y flavonoides totales (FT) se presenta en la Figura 3. El CFT (Figura 3A) variaron entre 0.89 mg EAG/g b.s. (Blanco) y 2.37 mg EAG/g b.s. (Rojo Oscuro). Esta última variedad mostró el valor más alto, consistente con lo reportado por Rodríguez-Madrera *et al.* (2021), quienes encontraron concentraciones de 2.24-2.62 mg EAG/g b.s. en frijoles de tonos marrones y rojizos. Las variedades Jamapa y Mixteco presentaron contenidos intermedios 1.59 y 1.34 mg EAG/g b.s., respectivamente. El frijol Blanco presentó el menor contenido (0.89 mg EAG/g b.s.), dentro del intervalo reportado por Agostini-Costa *et al.* (2015) para esta variedad (0.1-2.1 mg EAG/g b.s.). De acuerdo con la clasificación de Marathe *et al.* (2011), los frijoles con CFT <1.0

mg EAG/g b.s. se consideran bajos; entre 1-2 mg EAG/g b.s, moderados; y >2 mg EAG/g b.s, altos. Así, las variedades Rojo Oscuro y Criollo San Juan se clasifican como de alto contenido, Jamapa y Mixteco como moderado, y Blanco como de bajo contenido fenólico.

En cuanto al contenido de FT (Figura 3B), la variedad Rojo Oscuro presentó el valor más alto (7.09 mg EQ/g b.s), el cual fue dos veces mayor al reportado por Pérez-Pérez *et al.* (2019) para frijoles rojos (3.39 mg EQ/g b.s.). Los frijoles Criollo San Juan, Mixteco y Jamapa mostraron valores intermedios (4.51, 4.73 y 3.89 mg EQ/g b.s., respectivamente), que fueron entre 0.66 y 0.80 veces menores a lo señalado por Singh & Singh Riar (2022) en frijoles negros (5.9 mg EQ/g b.s.). El frijol Blanco mostró el menor contenido (1.72 mg EQ/g b.s.), ligeramente superior al reportado por Campos-Vega *et al.* (2018) (1.37 mg EQ/g b.s.).

En conjunto, los resultados indican que el frijol Rojo Oscuro constituye una fuente particularmente rica de compuestos bioactivos (fenólicos y flavonoides), con potencial beneficio para la salud humana debido a su elevada capacidad antioxidante. Estudios previos han señalado que las características genéticas influyen de manera significativa en el contenido total de flavonoides en la testa de la semilla (Campos-Vega *et al.* 2018). Asimismo, se ha reportado que la concentración de CFT y FT varía según la época del año, las condiciones de cultivo y el origen de la semilla, lo que refleja la amplia diversidad de *P. vulgaris* como fuente de compuestos fenólicos con interés funcional y nutraceutico (Gan *et al.*, 2017; Marathe *et al.*, 2011).

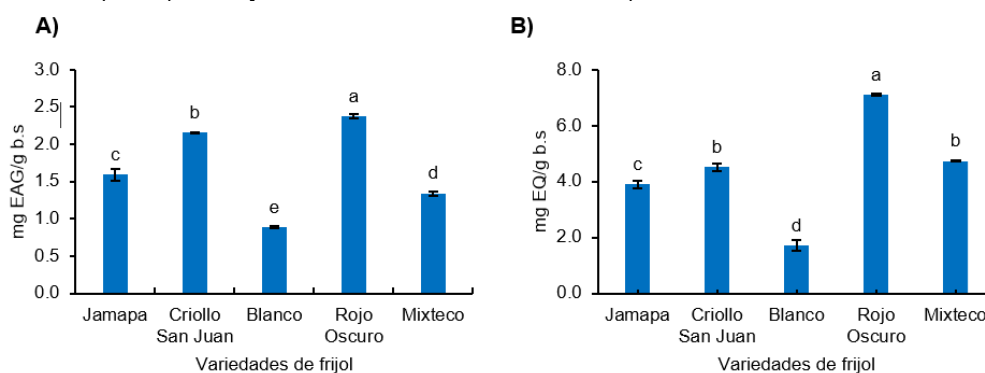


Figura 3. A) Compuestos fenólicos. B) Flavonoides totales. ^{a-e}Letras diferentes en la misma gráfica indican diferencia significativa de (p<0.05).

La actividad antioxidante de las cinco variedades de frijol se evaluó mediante los métodos DPPH• y ABTS⁺⁺ (Figura 4). En el análisis por DPPH•, la variedad Rojo Oscuro presentó el valor más alto (**18.78 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$**) (Figura 4A), coincidiendo con lo reportado por Rodríguez-Madrera *et al.* (2021), quienes informaron un valor de **18.7 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$** en frijoles con tonos rojos. Las variedades de frijol negro mostraron valores intermedios: **Jamapa (9.56 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$)**, **Mixteco (12.60 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$)** y **Criollo San Juan (15.05 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$)**. Estos valores fueron 0.87 veces menores, 1.14 y 1.37 veces mayores, respectivamente al valor de 11 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$ reportado por Lerma-Subías (2023) en frijoles negros. En contraste, la variedad Blanca presentó la menor actividad antioxidante (**5.48 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$**); sin embargo, este valor fue superior al reportado por Lerma-Subías (2023) (**3.93 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$**) para frijoles de la misma variedad. Los resultados sugieren que la actividad antioxidante está influenciada por el color de la semilla. Las variedades de testa oscura, particularmente Rojos y Negras, exhibieron mayor actividad, lo que se relaciona con su elevado contenido de compuestos fenólicos, como antocianinas y taninos condensados. Estos metabolitos poseen propiedades antioxidantes que contribuyen a la neutralización de radicales libres y a la prevención del daño celular (Manuel-Pérez *et al.*, 2023). En el ensayo

ABTS⁺⁺, la variedad Rojo Oscuro también presentó la mayor actividad antioxidante (37.96 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$) (Figura 4B), superando en un 16.50% lo reportado por Carbas *et al.* (2020) para frijoles rojos (32.58 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$). Las variedades negras mostraron valores entre 21.36 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$ (Jamapa) y 36.76 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$ (Criollo San Juan), correspondientes a 1.23 y 2.11 veces superiores, respectivamente, al valor de 17.4 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$ descrito por Soriano *et al.*, (2015). Por su parte, el frijol Blanco registró la actividad más baja (9.06 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$) aunque este valor fue 21.6% mayor al reportado para la misma variedad (4.5 $\mu\text{mol ET/g b.s.}$) por Carbas *et al.* (2020). La elevada capacidad de eliminación de radicales libres en la variedad Rojo Oscuro se debe principalmente a su alto contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales actúan como donadores de electrones capaces de neutralizar especies reactivas de oxígeno (ROS) (Xu & Chang, 2008). Estas moléculas, gracias a sus estructuras aromáticas con grupos hidroxilo, facilitan la estabilización de radicales libres, lo que explica la mayor actividad antioxidante observada tanto en DPPH• como en ABTS⁺⁺ (Villar-Ildoate, 2024). Este comportamiento coincide con lo señalado por Zhao *et al.* (2014), quienes reportan una correlación directa entre el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante.

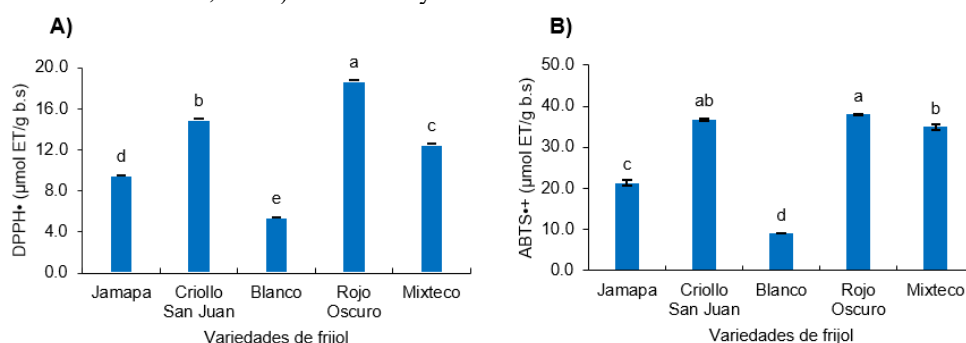


Figura 4. Actividad antioxidante determinada mediante los métodos A) DPPH•; B) ABTS⁺⁺. ^{a-e}Letras diferentes en la misma gráfica indican diferencia significativa de ($p < 0.05$).

Conclusiones

La variedad Rojo Oscuro destacó por su mayor tamaño, peso, contenido proteico, concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, así como por la mayor actividad antioxidante, tanto en DPPH• como en ABTS⁺⁺. En contraste, la variedad Blanca presentó los valores más bajos en compuestos bioactivos y actividad

antioxidante. Estos hallazgos confirman que el color de la testa está directamente relacionado con la concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, así como con la capacidad antioxidante, lo que posiciona al frijol Rojo Oscuro como alimento funcional con beneficios potenciales para la salud.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo a través de la beca nacional de manutención otorgada a Janis Axidi Espiritu Rojas (CVU: 724477), así como al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por la dotación de las variedades de frijol utilizadas en este estudio

Referencias

- Agostini-Costa, T. S., Teodoro, A. F. P., Alves, R. B., Braga, L. R., Ribeiro, I. F., Silva, J. P., Quintana, L. G., & Burle, M. L. (2015). Total phenolics, flavonoids, tannins and antioxidant activity of lima beans conserved in a Brazilian genebank. *Ciência Rural*, 45(2), 335-341. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140030>
- AOAC. (2019). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.
- Berrios, J. D. J., Morales, P., Cámara, M., & Sánchez-Mata, M. C. (2010). Composición de carbohidratos de harinas de legumbres crudas y extruidas. *Food Research International*, 43(2), 531-536. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.035>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Campos-Vega, R., Guevara-González, R. G., Guevara-Olvera, B. L., Oomah, B. D., & Loarca-Piña, G. (2010). Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) polysaccharides modulate gene expression in human colon cancer cells (HT-29). *Food Research International*, 43, 1057-1064.
- Campos-Vega, R., Zaczuk Bassinello, P., de Andrade Cardoso Santiago, R., & Oomah, B. D. (2018). Frijoles secos: procesamiento y efectos nutricionales. En *Alimentos terapéuticos, probióticos y no convencionales* (Cap. 20, pp. 367-386). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814625-5.00019-4>
- Carbas, B., Machado, N., Oppolzer, D., Ferreira, L., Brites, C., Rosa, E. A. S., Barros,

A. I. R. N. A., & Queiroz, M. (2020). Nutrients, antinutrients, phenolic composition, and antioxidant activity of common bean cultivars and their potential for food applications. *Antioxidants*, 9(2), 186. <https://doi.org/10.3390/antiox902018>

Chen, P. X., Tang, Y., Marcone, M. F., Pauls, P. K., Zhang, B., Liu, R., & Tsao, R. (2015). Characterization of free, conjugated and bound phenolic compounds and lipophilic antioxidants in regular and non-darkening cranberry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 185, 298-308. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.100>

Cid-Gallegos, M. S., Gómez y Gómez, Y. de las M., Corzo-Ríos, L. J., Sánchez-Chino, X. M., Moguel-Concha, D., Borges-Martínez, E., & Jiménez-Martínez, C. (2023). Potencial nutricional y bioactivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la salud humana. En *Memorias del Congreso Internacional de Investigación en Biotecnología* (Vol. 8, pp. 309-318). Instituto Politécnico Nacional.

Galván-Mondragón, D. E. (2023). *Caracterización química y nutracéutica de ravioles elaborados a base de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro.

García Díaz, Y. D. (2016). *Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en testa y grano de 54 poblaciones nativas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)* (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana.

Gan, R. Y., Wang, M. F., Lui, W. Y., Wu, K., Dai, S. H., Sui, Z. Q., & Corke, H. (2017). Diversity in antioxidant capacity, phenolic contents, and flavonoid contents of 42 edible beans from China. *Cereal Chemistry*, 94(3), 291-297. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-09-16-0249-R>

Ganesan, K., & Xu, B. (2017). Polyphenol-rich lentils and their health promoting effects. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 2390. <https://doi.org/10.3390/ijms18112390>

Guevara, A. M., Villalobos Moya, K., Rubí Zeledón, J., Granados Rojas, L., Hernández Aguirre, C., & Brenes Monge, H. (2020). Evaluación de propiedades fisicoquímicas del

frijol costarricense (*Phaseolus vulgaris*) como estrategia de diferenciación y valorización. *Producción y Nuevas Tecnologías*, 18(35), 1-12.

Kan, L., Nie, S., Hu, J., Wang, S., Cui, S. W., Li, Y., Xu, S., Wu, Y., Wang, J., Bai, Z., & Xie, M. (2017). Nutrients, phytochemicals and antioxidant activities of 26 kidney bean cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, 108, 467-477.

<https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.11.032>

León-Murillo, J. R. (2016). *Bioprocesamiento de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) para obtener un alimento funcional* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Sinaloa.

Jerma Subías, M. D. (2023). Actividad antioxidante de germinados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Manuel-Pérez, M. E., Torruco-Uco, J. G., Hernández-Santos, B., Rodríguez-Miranda, J., & Ramírez-Figueroa, E. (2023). Composición química, perfil fitoquímico y color de harinas de frijol negro Jamapa germinado. *Congreso Internacional de Investigación e Innovación Multidisciplinaria*, 3-4.

Maqueira-López, L. A., Roján-Herrera, O., Solano-Flores, J., & Milagros-Santana, I. (2021). Germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes temperaturas. *Cultivos Tropicales*, 42(2), 11-12.

Marathe, S. A., Rajalakshmi, V., Jamdar, N. S., & Sharma, A. (2011). Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India. *Food and Chemical Toxicology*, 49(9), 2005-2012. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.04.039>

Mohsenin, N. N. (2020). *Propiedades físicas de materiales vegetales y animales* (2ª ed.). Editorial Universidad de Cornell.

Onwuka, B. M., Nwagbara, M. O., & Oguike, P. C. (2024). Evaluation of soil moisture in relation to climate variability across Umudike, Southeastern Nigeria. *International Journal of Hydrology*, 8(3), 94-95.

Pérez-Pérez, L. M., Del Toro Sánchez, C. L., Sánchez Chávez, E., González Vega, R. I., Reyes Díaz, A., Borboa Flores, J., Soto Parra, J. M., & Flores-Córdova, M. A. (2019). Bioaccesibilidad de compuestos antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biotecnia*, 22(1), 123-124.

Pliego-Marín, L., López-Baltazar, J., & Aragón-Robles, E. (2013). Características físicas, nutricionales y capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6 (Especial), 1197-1209.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS⁺ radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231-1237.

[https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

Reyes-Bautista, R., Flores-Sierra, J. de J., & Xoca-Oruro, L. Á. (2024). Péptidos bioactivos derivados de las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, 35(2), 182.

Rodríguez Madrera, R., Campa Negrillo, A., Suárez Valles, B., & Ferreira Fernández, J. J. (2021). Phenolic content and antioxidant activity in seeds of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Foods*, 10(4), 864. <https://doi.org/10.3390/foods10040864>

Secretaría de Salud. (1999). *NOM-147-SSA1-1996. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales*. Diario Oficial de la Federación.

Singh, S. P., Gepts, P., & Debouck, D. G. (1991). Races of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Economic Botany*, 45, 379-396. <https://doi.org/10.1007/BF02887079>

Singh, S. M., & Singh Riar, C. (2022). Effect of germination on chemical composition and nutritional value of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 14(2), 28-42.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.

Artículos

[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

Solano-Cervantes, F., Díaz-Ruiz, R., Jacinto-Hernández, C., & Aguirre-Álvarez, L. (2009). Prácticas agrícolas y características del grano de cultivares de frijol en Tlatzala, Guerrero. *Ra Ximhai*, 5(1), 187-199.

Soriano Sancho, R. A., Pavan, V., & Pastore, G. M. (2015). Effect of in vitro digestion on bioactive compounds and antioxidant activity of common bean seed coats. *Food Research International*, 76, 74-78. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.024>

Villar Idoate, N. (2024). *Evaluación de la capacidad antioxidante de compuestos fenólicos* (Tesis de Maestría). Universidad Pública de Navarra.

Xu, B. J., & Chang, S. N. C. (2007). Comparative studies on antioxidant activities of nine common food legumes. *Journal of Food Science*, 72, 167-176. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00241.x>

Zhao, Y., Hou, Y., Tang, G., Cai, E., Liu, S., Yang, H., Zhang, L., & Wang, S. (2014). Optimization of ultrasonic extraction of phenolic compounds from *Epimedium brevicornum* Maxim and evaluation of antioxidant activities. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2014, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2014/864654>