



HORIZONTES TRANSDISCIPLINARIOS

Revista Digital de Divulgación y Difusión Científica

DIÁLOGOS HORIZONTALES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA REGIÓN PACÍFICO SUR (CHIAPAS, OAXACA Y GUERRERO)



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS





DESARROLLO Y PROCESOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS



El frijol endémico de la región Pacífico sur: color y potencial beneficio a la salud

Jonhatan Contreras, Óscar Abel Sánchez-Velázquez, David Fonseca-Hernández y Luis Mojica*

Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ),
Zapopan, Jalisco, México

* Autor de correspondencia: lmojica@ciatej.edu.mx

Palabras clave:

antocianinas,
fenólicos,
pigmentos,
potencial
biológico.

Resumen

El frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) es la variedad más producida y consumida en el sur del país. La región Pacífico sur, integrada por Chiapas, Oaxaca y Guerrero, posee una gran diversidad biológica de especies de frijol, las cuales han sido poco estudiadas. Este trabajo tuvo como objetivo comparar 15 variedades de frijol negro de esta región a través del contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y taninos, así como del color. Se encontraron valores entre 4 y 10 mg de equivalentes de cianidin-3-glucósido (EC3G) por gramo de cascarrilla para el contenido de antocianinas. Así mismo, se obtuvieron valores entre 38 y 65 para la intensidad de los colores rojo, verde y azul generando distintas tonalidades de color negro. El contenido de fitoquímicos asociados al color de estas variedades de frijol es un indicador del potencial beneficio del consumo de frijol en el mejoramiento de la salud y la prevención de enfermedades.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa domesticada en Mesoamérica hace aproximadamente 8,000 años, que posteriormente fue introducida para su cultivo al Centro y Sudamérica (Hernández-López *et al.*, 2013; SADER, 2022). Los granos de frijol, o simplemente llamados “frijoles”, se desarrollan en una vaina llamada “ejote” que al secarse se abre para liberar entre 5 y 8 semillas.

Al inicio de su domesticación, el frijol fue cultivado junto a otras plantas de interés agronómico como maíz (*Zea mays*), calabazas (*Cucurbita spp.*), amarantos (*Amaranthus spp.*), chiles (*Capsicum annum*), tomates (*Solanum lycopersicum*), entre otras, bajo un sistema agroproductivo conocido como “milpa”. La milpa fue la manera más común de cultivo de frijol hasta hace unos pocos siglos cuando se popularizó su monocultivo (Méndez-Benavides *et al.*, 2018).

Actualmente en el mundo se conocen cerca de 150 especies de frijol, de las cuales 58-70 se desarrollan de manera natural o artificial en México (CONABIO, 2020), siendo las variedades amarillo, blanco, morado, bayo, pinto, moteado y negro del frijol común las que se cultivan en México con mayor frecuencia (FIRA,



2015). En México, el cultivo de frijol común alcanzó 1 690 000 hectáreas durante el 2021, lo que significó una disminución del 1.3% respecto al año anterior (SADER, 2022). Sin embargo, se estimó un volumen de producción de 1 289 000 toneladas, un 22% mayor al 2021, lo que coloca a México como el séptimo productor a nivel mundial (SADER, 2022). El frijol representa actualmente el 85.2% de la producción nacional de leguminosas secas, completando el resto con soya, garbanzo, habas, chícharo, entre otros.

A pesar de que desde la década de 1980 y hasta el año 2015 se observó una tendencia a la baja en el consumo de frijol a nivel nacional (FIRA, 2015), a partir de ese año se ha popularizado nuevamente su consumo, donde gracias a las nuevas tendencias de alimentación más saludable, diversificación de la dieta y rescate de alimentos originarios se ha observado un aumento constante en la demanda de esta legumbre, incluyendo los frijoles negros del sur de México (SADER, 2023). Para el 2017 el consumo per cápita de frijol era de 9.9 kg, pero para el 2020 alcanzó hasta los 11 kg por habitante (SAGARPA, 2017; SADER, 2022); sin embargo, aún está lejos de los 16 kg que se consumían por los mexicanos en los años 80 (FIRA, 2015).

Estados como Zacatecas, Sinaloa, Durango y Chihuahua concentran el 65% de la producción nacional, donde más del 93% de la producción se conforma por algunas pocas variedades y cultivares de frijol como pinto, mayocoba, flor de mayo, flor de junio, garbancillo, manzano, negro San Luis y negro Querétaro; el porcentaje restante corresponde a genotipos menos populares (SADER, 2019). La región Pacífico sur de México está integrada por los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero y posee la mayor diversidad genética de frijoles endémicos en el país. Sin embargo, sólo Chiapas se encuentra entre los principales productores de frijol con una superficie de 114,613 hectáreas y 62,217 toneladas cosechadas (76.4% correspondió a variedades de frijol negro y el 24.6% restante a variedades de otros colores, exceptuando colores blancos y claros) con un valor de 838 millones de pesos (SIAP, 2020). Lo anterior se puede explicar considerando la situación agronómica de la mayoría de los genotipos de frijol presentes en la zona ya que estos suelen producirse sólo como cultivo de subsistencia, de traspatio y/o de temporal para el consumo local, lo que hace que sus volúmenes de producción y cosecha sean bajos (INIFAP, 2021).

La variedad de frijol negro es apreciada por muchas culturas originarias de los estados del Pacífico sur de México por sus características agronómicas, nutricionales y sensoriales, por lo que las comunidades han domesticado, cuidado y preservado especies de frijol negro que sólo se encuentran en la zona (Alcázar-Valle *et al.*, 2022; Contreras *et al.*, 2020), lo que hace a esta zona especialmente rica en estos frijoles, cuyas semillas forman parte del patrimonio biocultural de estos pueblos originarios. Sin embargo, la información sobre la producción neta y el impacto agroeconómico de las variedades endémicas de frijol negro en esta región es escasa y requiere de un consenso para conocer cifras más precisas. Además, recientes estudios indican que estos frijoles, no sólo son nutritivos, de alto valor gastronómico y de sabor agradable, sino que también son ricos en compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, que son reconocidos como pigmentos naturales con grandes beneficios a la salud (Alcázar-Valle *et al.*, 2022; Flores-Medellín *et al.*, 2021; Fonseca-Hernández *et al.*, 2020, 2021; Mojica *et al.*, 2016, 2017a, 2017b, 2018; Ramos-Lopez *et al.*, 2020; Valdespino *et al.*, 2019).

Una de las razones por las que el frijol negro es apreciado en la gastronomía local es por su sabor y color, este último se debe principalmente a la presencia de compuestos como las antocianinas (Fonseca-Hernández *et al.*, 2020; Mojica *et al.*, 2017a, 2017b). Las antocianinas son pigmentos naturales ampliamente distribuidos en el reino vegetal responsables de los colores llamativos de granadas, uvas, fresas, arándanos y zarzamoras, pero también de los tonos oscuros del frijol negro (Speer *et al.*, 2020).

Debido a que las antocianinas y otros compuestos como los taninos y en general los compuestos fenólicos presentes en estas semillas poseen potencial preventivo contra enfermedades no transmisibles, se recomienda el consumo de frijol negro como una fuente de antioxidantes que pudiera auxiliar en la prevención y tratamiento de enfermedades como la diabetes tipo 2, el cáncer y problemas cardiovasculares



(Alcázar-Valle *et al.*, 2022; Flores-Medellín *et al.*, 2021; Fonseca-Hernández *et al.*, 2020, 2021; Mojica *et al.*, 2016, 2017a, 2017b, 2018; Ramos-Lopez *et al.*, 2020).

El presente trabajo tuvo como objetivo comparar 15 variedades de frijol negro de la región Pacífico sur a través del contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y taninos, así como del color y su potencial antioxidante. Además, el conocer y difundir la información generada sobre los compuestos fenólicos presentes en variedades de frijoles endémicas.

Metodología

En este apartado se detallan los métodos o procedimientos con los cuales fue posible obtener los resultados que se presentan en el trabajo.

Preparación de la muestra y obtención de extractos de cada variedad de frijol

Se utilizaron 15 variedades de frijol negro endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero para el estudio. Una muestra de frijol de cada una de las variedades fue descascarillada manualmente y la cascarilla fue molida y cernida. Se prepararon dos extractos a partir de la cascarilla molida. Se obtuvo un extracto mezclando la cascarilla con metanol por 4 horas; posteriormente se obtuvo otro extracto mezclándola con etanol acidificado durante 1 hora. A partir de estos dos extractos se procedió a determinar el contenido de fitoquímicos.

Cuantificación de compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se cuantificaron utilizando el método Folin-Ciocalteu reportado por Mojica *et al.* (2015). El extracto metanólico de cada variedad se mezcló con el reactivo Folin-Ciocalteu y carbonato de sodio al 20%. Posteriormente, se determinó la absorbancia a 690 nanómetros con un espectrofotómetro UV-visible. Los resultados se reportan como miligramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por gramo de cascarilla.

Cuantificación de antocianinas

Las antocianinas se determinaron por el método de pH diferencial (Método oficial AOAC 2005.02). Los extractos etanólicos se analizaron por separado con dos tampones con valores de 1.0 y 4.5 para el pH, respectivamente. Se tomaron 200 microlitros y se procedió a leer la absorbancia a 520 y 700 nanómetros usando un espectrofotómetro UV-visible. Los resultados se expresaron en miligramos de EC3G por gramo de cascarilla.

Cuantificación de taninos

Los taninos se cuantificaron utilizando el método descrito por Mojica *et al.* (2015). Los extractos metanólicos fueron mezclados con una solución de metanol acidificado y 100 μ l de una solución de vainillina. Finalmente, se procedió a medir la absorbancia a 500 nanómetros con un espectrofotómetro UV-visible. Los resultados fueron expresados como miligramos de equivalentes de catequina (ECA) por gramo de cascarilla.

Medición del color

El color de cada semilla de frijol se midió utilizando un colorímetro y se determinaron los parámetros del espacio de color CIELAB L^* , a^* y b^* . Estos datos fueron convertidos al sistema RGB (red, green and blue) a través del portal Color Converter, de donde fueron obtenidos los valores y los colores correspondientes que son presentados en la Tabla 1.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de compuestos fenólicos

En la Figura 1 se presentan los resultados para la cuantificación de los compuestos fenólicos presentes en las variedades de frijol endémicas de la región Pacífico sur. De manera general, el rango fue desde 7 hasta 33 mg EAG/g cascarilla. La variedad OX-04 fue la que exhibió un mayor contenido de estos compuestos, mientras que la GR-10 fue la que presentó un contenido menor.

Las diferencias en los resultados de los análisis de compuestos fenólicos para estas variedades pueden deberse a que, como se conoce, el desarrollo de los metabolitos secundarios en las plantas depende de diversos factores como lo son: el tipo de suelo, el ambiente, la temperatura, la calidad de agua, el estrés externo e interno de la planta, entre otros (FIRA, 2015). Para el caso del frijol, el contenido de compuestos fenólicos varía de acuerdo con el lugar de donde fue obtenida la variedad ya que las condiciones diversas de nuestro país han permitido el desarrollo de variedades regionales y endémicas durante varios años (De los Santos Ramos *et al.*, 2017; Delgado-Salinas & Gama-López, 2015).

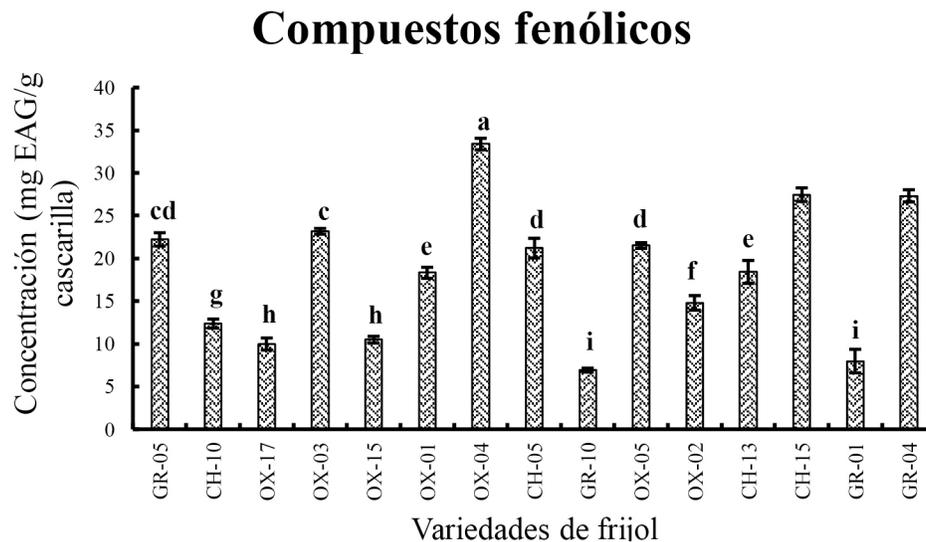


Figura 1. Cuantificación de compuestos para las variedades de frijol endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Equivalentes de ácido gálico (EAG). Los resultados se muestran como la media \pm desviación estándar de dos muestras independientes. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre grupos basados en la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los resultados obtenidos en este trabajo fueron dos veces más altos en el contenido de compuestos fenólicos para algunas variedades con respecto a Mojica *et al.* (2015), que reportaron valores en un rango de 6 – 16 mg EAG/mg cascarilla en frijol de variedades negro, pinto, flor de junio, entre otros. Gan *et al.* (2016) reportaron valores entre 1 – 57 mg EAG/mg peso seco que, comparado con nuestros resultados, contienen un rango más amplio al encontrar valores tanto más altos como más bajos.

Contenido de antocianinas

La Figura 2 muestra los resultados de la cuantificación para antocianinas. El rango en el que se muestran los resultados varía desde 4 hasta 10 mg EC3G/g cascarilla. La variedad con mayor contenido de antocianinas fue GR-05 y, por otro lado, la variedad con menor contenido fue la CH-02.

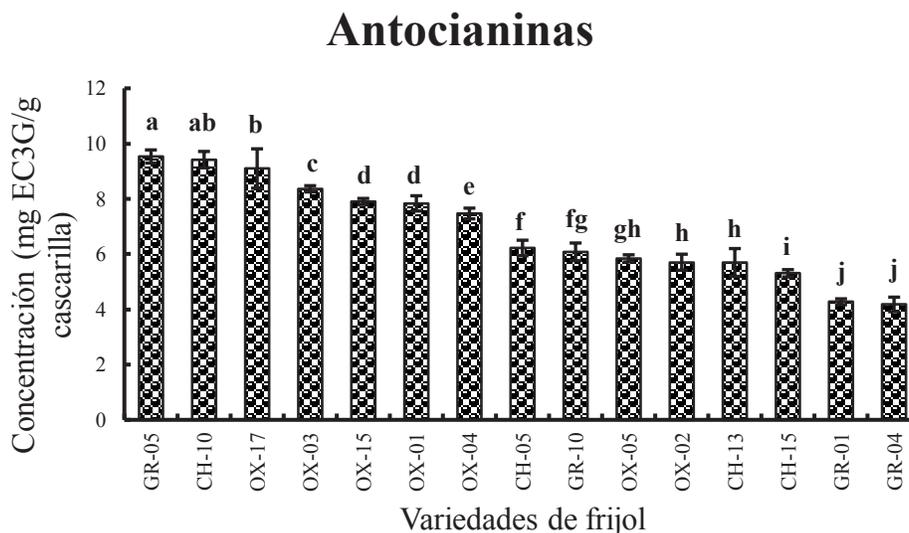


Figura 2. Cuantificación de antocianinas totales para las variedades de frijol endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Equivalentes de cianidina-3-glucósido (EC3G). Los resultados se muestran como la media \pm desviación estándar de dos muestras independientes. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre grupos basados en la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Las antocianinas son compuestos que naturalmente dan color a diversos frutos de plantas, estos colores pueden variar entre rojos y morados intensos (Braga *et al.*, 2018). En el caso del frijol, numerosos trabajos han comprobado el contenido rico de estos metabolitos en el frijol negro (Aguilera *et al.*, 2016; Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017; Mojica *et al.*, 2015).

Las diferencias encontradas entre las variedades pueden ser debidas al contexto donde se desarrolla el cultivo de frijol, además del color mismo de las variedades (Aguilera *et al.*, 2016). El contenido de antocianinas está directamente relacionado con el color del frijol; las variedades negras son las de mayor contenido, le siguen las variedades de tonalidades rojas-naranjas, después las moradas y al finalizar las pintas, claras y blancas. Para este trabajo fueron ordenadas de acuerdo con su contenido de antocianinas, todas de coloración negra. Los resultados encontrados para el contenido de antocianinas son cuatro veces más altos que los reportados por Mojica *et al.* (2015), quienes reportaron un contenido de aproximadamente 2.5 mg EC3G/g cascarilla para variedades de frijol negro.



Contenido de taninos

En la Figura 3 se muestran los resultados del contenido de taninos. Los contenidos van desde 21 hasta 359 mg ECA/g cascarilla. La variedad con menor contenido fue OX-02, mientras que la variedad con mayor contenido fue la variedad OX-17.

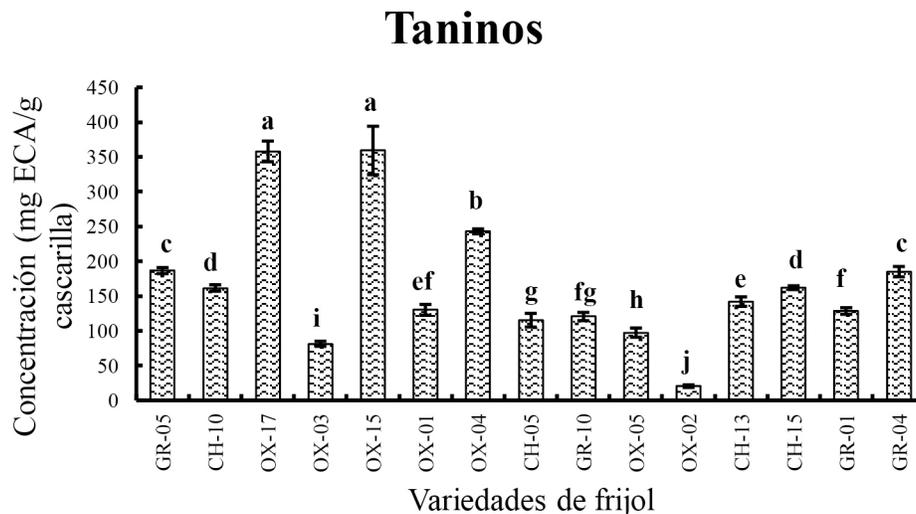


Figura 3. Cuantificación de taninos totales para las variedades de frijol endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Equivalentes de catequina (ECA). Los resultados se muestran como la media \pm desviación estándar de dos muestras independientes. Las letras minúsculas indican diferencias significativas entre grupos basados en la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los taninos son flavonoides poliméricos que comprenden una pequeña parte de los compuestos fenólicos producidos por las plantas como metabolitos secundarios. Los taninos influyen en el color de los órganos de las plantas. En la semilla de frijol, estos metabolitos se encuentran principalmente en la cubierta de la semilla y determinan el color general, el tono y la intensidad de la semilla (Díaz *et al.*, 2010).

El contenido de taninos de las muestras de frijol es menor a los reportados por Mojica *et al.* (2015), quienes encontraron contenidos entre 50 y 350 mg CAE/g cascarilla; sin embargo, los reportados en este trabajo están dentro del rango de ellos.

Medición del color

Para el presente trabajo se consideró la medición del color como parámetro indicador del contenido de fitoquímicos en la cascarilla de frijol. La Tabla 1 presenta los resultados de dichos análisis presentados en el sistema RGB, en la cual cada letra se refiere a la intensidad de un color primario en la muestra. R hace referencia a las tonalidades rojas, G a las verdes y B a las azules. Como se puede observar en la Tabla 1, la mayoría de las variedades seleccionadas y presentadas tienen valores muy semejantes para cada tonalidad, lo cual quiere decir que no hay una intensidad que predomine sobre la otra, generando así el color negro como una mezcla de las tres tonalidades.

Todas las variedades seleccionadas tienen un color negro en su cascarilla, esta colección de frijol negro del Pacífico sur es importante debido a que este frijol es el más consumido y, por lo tanto, el más producido en esa zona. Así pues, los parámetros presentados generales, la columna de color de la tabla muestra las diferentes tonalidades de negro entre las variedades de frijol estudiadas.



En la Tabla 1 se encuentran los datos para los resultados colorímetros divididos en cuatro resultados interesantes. La columna R presenta datos en relación con la intensidad del color rojo en la cascarilla del frijol, se encontraron valores desde 39 hasta 57 para este parámetro. Por su parte, la segunda columna representa la intensidad del color verde (G) dando valores desde 38 hasta 60. La columna B presenta los datos para la intensidad del color azul, donde los datos obtenidos van desde el 37 hasta el 64, siendo este último parámetro el del rango más amplio. Se sabe que la combinación de los tres parámetros de intensidad generará en su combinación un color, mismo que es presentado en la última columna.

Como se puede observar, todas las variedades elegidas son de color negro; sin embargo, es importante destacar que este color, a pesar de poder considerarse el mismo, puede variar entre sus tonalidades, generadas por la combinación diferente de las intensidades. Así pues, encontramos colores negros diferentes entre las variedades colectadas y estudiadas.

Tabla 1. Parámetros colorimétricos RGB y color de las variedades de frijol endémico del Pacífico sur

Variedad	R	G	B	Color
GR-05	50.82	52.93	55.97	
CH-10	40.47	40.00	38.73	
OX-17	57.31	60.33	64.08	
OX-03	46.41	46.64	46.92	
OX-15	52.49	53.92	55.95	
OX-01	48.00	47.70	49.56	
OX-04	41.77	41.98	42.54	
CH-05	43.30	43.45	43.51	
GR-10	51.43	53.06	55.11	
OX-05	47.38	45.77	43.91	
OX-02	42.67	42.88	43.34	
CH-13	38.66	38.30	37.07	
CH-15	39.66	39.32	38.26	
GR-04	56.38	57.80	59.07	
CH-02	39.75	37.29	35.19	

Cuantificación del color para las variedades de frijol endémico de los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. (R) intensidad del color rojo, (G) intensidad del color verde, (B) intensidad del color azul.

Por lo anterior, era importante no solo observar que el color puede ser diferente en el frijol de esta zona, sino que además este puede ser asociado al contenido de fitoquímicos en la cascarilla (He *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2018). Componentes como las antocianinas y los taninos han sido frecuentemente reportados para este tipo de materiales biológicos (Li *et al.*, 2017; Mattioli *et al.*, 2020). Por lo tanto, el color es un indicador del contenido de estos compuestos. En este trabajo hemos comprobado que el frijol negro es una fuente rica de pigmentos naturales y compuestos fenólicos.



Potencial antioxidante

El potencial antioxidante es definido como aquella capacidad que tienen las moléculas para reaccionar con los radicales libres presentes en los organismos vivos (Moreno-Jiménez *et al.*, 2015). Es decir, los compuestos contenidos en los alimentos o materias primas naturales tienen la capacidad de interactuar con dichos radicales, casi siempre ligados a procesos de estrés oxidativo e inflamación celular y, por lo tanto, eliminar la acción que estos tienen sobre los tejidos u organismos (Meenu *et al.*, 2023).

El frijol, de manera general, ha sido ampliamente reportado como fuente de compuestos antioxidantes y se han determinado y verificado esta propiedad a través de diversas pruebas en las que se incluyen ensayos de inhibición de radicales libres como el DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) y el ABTS (2, 2'-Azinobis-3-etil- benzo-tiazolina-6-acido sulfónico) (Hsieh-Lo *et al.*, 2020; Fonseca-Hernández *et al.*, 2023).

Alcázar *et al.*, 2020 y Alcázar *et al.*, 2021, reportaron datos para el potencial antioxidante de las variedades colectadas en el Pacífico sur. Los resultados mostraron que extractos ricos en compuestos fenólicos obtenidos desde estas variedades inhibieron en promedio un 85.35% al radical ABTS con un rango desde 62 hasta 100 por ciento de inhibición para las 15 variedades de este estudio. Por su parte, reportaron una inhibición en promedio de 91.59% para el radical DPPH con un rango desde 87 hasta 97 por ciento de inhibición. Así pues, bajo estos resultados quedó comprobado que los compuestos fenólicos de estos frijoles endémicos tienen una alta capacidad antioxidante.

Esto concuerda por los resultados obtenidos por Hsieh-lo *et al.* (2020), quienes reportaron una concentración de extracto de 0.078 ± 0.01 mg EC3G/g CS para DPPH y 0.161 ± 0.03 mg EC3G/g CS para la inhibición del 50% de los radicales DPPH y ABTS, respectivamente. Este trabajo fue llevado a cabo con la variedad comercial “Negro San Luis”, demostrando que tanto las variedades comerciales como las nativas conservan este potencial inhibitorio de radicales libres por lo que el consumo de frijol pudiera relacionarse con la disminución del estrés oxidativo y pudiera promover el mejoramiento de la salud.

Análisis de correlación

Se realizó un análisis de correlación considerando los datos generados para este trabajo en relación con los parámetros R, G y B de color de la semilla, la concentración de fenoles totales, antocianinas y taninos de los extractos y los datos publicados previamente para el potencial antioxidante en las pruebas de inhibición de DPPH y ABTS. El conjunto de datos para cada una de las 15 variedades fue introducido y analizado por el software Statgraphics Centurion XVI version 16.1.03 (Statgraphics Technologies, The Plains, VA, USA) y el coeficiente de correlación de Pearson (r) fue determinado con un nivel menor al 0.05. Los resultados obtenidos para esta prueba estadística se muestran en la Tabla 2.

La Tabla 2 muestra las correlaciones de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. Este análisis presenta el valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05 por lo que tienen una correlación lineal: B y FT, B y G, B y R, B y TAN, FT y G, FT y R, G y R. La relación lineal es positiva entre cada uno de los parámetros de color (R, G y B) lo cual indica y comprueba que los valores para cada uno de estos parámetros son cercanos y generan el color negro y oscuro de la semilla. Por su parte, el contenido de taninos tiene una correlación positiva con la intensidad del color azul, lo cual puede dar a entender que el color azul está relacionado con el contenido de este fitoquímico en los frijoles.



En contraparte, hay una correlación negativa entre cada uno de los parámetros de color (R, G y B) y el contenido de fenoles totales. Lo anterior demuestra que el contenido de fenoles totales no está asociado directamente al color en la semilla, debido a que muchos de los compuestos fenólicos contenidos tanto en la cascarilla como en el cotiledón de frijol son compuestos incoloros. Sin embargo, se sabe que tanto el contenido de taninos como el de antocianinas está relacionado con el color de la cascarilla de frijol, pero en este estudio se evaluó el color de la semilla completa y no de extractos obtenidos a partir de ella.

Por último, el análisis arroja que no hay correlación entre el contenido de fitoquímicos y el potencial antioxidante reportado, ni del potencial antioxidante con los parámetros de color. Esto pudiera deberse que, al evaluarse el color directamente en la semilla, sin embargo, al realizar extracción de estas moléculas en soluciones acuosas, los compuestos en solución pueden generar diferentes colores al pasar a líquido. Es decir, los fitoquímicos cuantificados, así como su potencial antioxidante están asociados a extractos y no a la semilla completa (Meenu *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2018). Se sabe que este potencial aumentará cuando los compuestos sean extraídos desde la matriz y por lo tanto el color también dependerá de esto.

Tabla 2. Análisis de correlación entre los parámetros de color (R, G, B), los fitoquímicos (antocianinas, fenoles totales, taninos) y el potencial antioxidante (DPPH, ABTS)

	ABTS	ACN	B	DPPH	FT	G	R	TAN
ABTS		0.4005	0.2677	0.1578	0.3182	0.2440	0.2065	0.2212
ACN	0.4005		0.3734	-0.3918	0.0348	0.3241	0.2687	0.5084
B	0.2677	0.3734		-0.2599	-0.5295	0.9944	0.9772	0.5180
DPPH	0.1578	-0.3918	-0.2599		0.3663	-0.2415	-0.2062	0.0858
FT	0.3182	0.0348	-0.5295	0.3663		-0.5579	-0.5697	-0.1259
G	0.2440	0.3241	0.9944	-0.2415	-0.5579		0.9921	0.4966
R	0.2065	0.2687	0.9772	-0.2062	-0.5697	0.9921		0.4552
TAN	0.2212	0.5084	0.5180	0.0858	-0.1259	0.4966	0.4552	

Análisis de correlación para las variables de color, contenido de fitoquímicos y potencial antioxidante evaluadas en las variedades de frijol. ABTS: 2, 2'-Azinobis-3-etil- benzo-tiazolina-6-acido sulfónico; ACN: antocianinas; B; intensidad del color azul; DPPH: 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo; FT: fenoles totales. G: intensidad del color verde; R: intensidad del color rojo; TAN: taninos. Los datos presentados corresponden al valor para el coeficiente de correlación de Pearson (r), valores de r en negritas presentan un nivel de significancia ($p < 0.05$).

Los componentes encontrados y reportados para el frijol negro del Pacífico sur no solo son importantes por la pigmentación de la cascarilla, lo cual puede ser una potencial aplicación para la industria de alimentos, sino que además se sabe que estos compuestos tienen beneficios para la prevención y el tratamiento de enfermedades no transmisibles tales como diabetes, hipertensión, obesidad, envejecimiento de la piel, entre otros cardiovasculares (Alcázar-Valle *et al.*, 2020, 2021,



2022; Contreras *et al.*, 2020; Flores-Medellín *et al.*, 2021; Fonseca-Hernández *et al.*, 2020, 2021, 2023; Mojica *et al.*, 2016, 2017a, 2017b, 2018; Ramos-Lopez *et al.*, 2020). Dichos compuestos tienen una alta capacidad antioxidante y pueden interactuar con radicales libres o con enzimas relacionadas con la alteración y generación de los padecimientos antes mencionados.

Por lo tanto, el consumo de estas variedades de frijoles negros no solo tiene un aporte nutricional y gastronómico para la población, sino que también son fuentes de pigmentos naturales que, además de dar color a la semilla y los platillos y productos derivados de ellos, también puede ser una fuente de compuestos antioxidantes que pudieran tener una influencia en la prevención, el cuidado y el mejoramiento de la salud de las personas que los consumen.

Conclusiones

Las 15 variedades de frijoles endémicos del Pacífico sur de México mostraron un alto contenido de compuestos fenólicos totales, antocianinas y taninos. Las variedades de frijoles pigmentados poseen diferente contenido de los compuestos fenólicos evaluados, lo cual habla de una gran diversidad fitoquímica en estos genotipos endémicos del Pacífico sur mexicano. Además, los frijoles con coloración negra en su cascarilla son una fuente rica en compuestos antioxidantes, como las antocianinas. Las diferentes tonalidades de las cascarillas de los frijoles podrían ser consideradas como parámetro para la selección de variedades con perfiles deseables de compuestos fenólicos y, a su vez, estos pueden ser utilizados y aplicados como ingredientes y/o alimentos funcionales para la industria de los alimentos y, en general, en su consumo directo.

Financiamiento

Este proyecto fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto FORDECYT No. 292474-2017.

Referencias

- Aguilera, Y.; Mojica, L.; Rebollo-Hernanz, M.; Berhow, M.; Gonzalez de Mejía, E.; Martín-Cabrejas, M.A. (2016). Black bean coats: New source of anthocyanins stabilized by β -cyclodextrin copigmentation in a sport beverage. *Food Chemistry*, 212, 561–570.
- Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Reyes-Ramírez, H., Enríquez-Vara, J. N., & García-Morales, S. (2020). Bioactive compounds, antioxidant activity, and antinutritional content of legumes: a comparison between four *Phaseolus* species. *Molecules*, 25(15), 3528.
- Alcázar-Valle, M.; García-Morales, S.; Mojica, L.; Morales-Hernández, N.; Sánchez-Osorio, E.; Flores-López, L.; Enríquez-Vara, J.N.; Lugo-Cervantes, E. (2021). Nutritional, Antinutritional Compounds and Nutraceutical Significance of Native Bean Species (*Phaseolus* spp.) of Mexican Cultivars. *Agriculture*, 11, 1031.
- Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Fonseca-Hernandez, D., & Mojica, L. (2022). Common Beans Bioactive Components and Their Potential to Modulate Molecular Markers of Obesity and Type 2 Diabetes. *Molecular Mechanisms of Functional Food*, 87-111.



- Braga, A. R. C., Murador, D. C., de Souza Mesquita, L. M., & de Rosso, V. V. (2018). Bioavailability of anthocyanins: Gaps in knowledge, challenges, and future research. *Journal of Food Composition and Analysis*, 68(July 2017), 31–40.
- Chávez-Mendoza, C. & Sánchez, E. (2017). Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. *Molecules*, 22(8), 1360.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Qué nos aportan los frijoles*. https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan/N_frijoles.
- Contreras, J., Herrera-González, A., Arrizón, J., Lugo-Cervantes, E., & Mojica, L. (2020). Mexican endemic black bean phenolic extract antioxidant and anti-inflammatory potential. *Current Developments in Nutrition*, 4(Supplement_2), 382-382
- De los Santos Ramos, M.; Romero Rosales, T.; Bobadilla Soto, E.E. (2017). Dinámica de la producción de maíz y frijol en México de 1980 a 2014. *Agronomía Mesoamericana*, 28, 439–453
- Díaz, A. M., Caldas, G. V., & Blair, M. W. (2010). Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. *Food Research International*, 43(2), 595–601.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2015). *Panorama agroalimentario Frijol*. http://www.fira.org/pdf/Panorama_Agroalimentario_frijol.
- Flores-Medellín, S. A., Camacho-Ruiz, R. M., Guízar-González, C., Rivera-León, E. A., Llamas-Covarrubias, I. M., & Mojica, L. (2021). Protein hydrolysates and phenolic compounds from fermented black beans inhibit markers related to obesity and type-2 diabetes. *Legume Science*, 3(1), e64.
- Fonseca-Hernández, D., Orozco-Ávila, I., Lugo-Cervantes, E., & Mojica, L. (2020). Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) phenolic extract exhibits antioxidant and anti-aging potential. *Current Developments in Nutrition*, 4(Supplement_2), 24-24.
- Fonseca-Hernández, D., Lugo-Cervantes, E. D. C., Escobedo-Reyes, A., & Mojica, L. (2021). Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) polyphenolic extract exerts antioxidant and antiaging potential. *Molecules*, 26(21), 6716.
- Fonseca-Hernández, D.; Mojica, L.; Berhow, M.; Brownstein, K.; Lugo-Cervantes, E.; Gonzalez de Mejia, E. (2023). Black and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) unique Mexican varieties exhibit antioxidant and anti-inflammatory potential. *Food Research International*, 169, 112816.
- Gan, R. Y., Deng, Z. Q., Yan, A. X., Shah, N. P., Lui, W. Y., Chan, C. L., & Corke, H. (2016). Pigmented edible bean coats as natural sources of polyphenols with antioxidant and antibacterial effects. *Food Science and Technology*, 73, 168–177.
- He, J.; Giusti, M.M. (2010). Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. *Annual Reviews of Food Science and Technology*, 1, 163–187.
- Hernández-López, Víctor M., Vargas-Vázquez, Ma. Luisa P., Muruaga-Martínez, José S., Hernández-Delgado, Sanjuana, & Mayek-Pérez, Netzahualcóyotl. (2013). Origen, domesticación y diversificación del frijol común: Avances y perspectivas. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 95-104.
- Hsieh-Lo, M.; Castillo-Herrera, G.; Mojica, L. (2020). Black Bean Anthocyanin-Rich Extract from Supercritical and Pressurized Extraction Increased In Vitro Antidiabetic Potential, While Having Similar Storage Stability. *Foods*, 9, 655.



- Li, D.; Wang, P.; Luo, Y.; Zhao, M.; Chen, F. (2017). Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 1729–1741.
- Mattioli, R.; Francioso, A.; Mosca, L.; Silva, P. (2020). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*, 25, 3809.
- Meenu, M.; Chen, P.; Mradula, M.; Chang, S.K.C.; Xu, B. (2023). New insights into chemical compositions and health-promoting effects of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Frontiers*, 00, 1–20.
- Méndez-Benavides, Z. (2018). La milpa como centro de origen. *Temas de Nuestra América Revista de Estudios Latinoamericanos*, 34(63), 111-119.
- Mojica, L., Berhow, M., & De Mejia, E. G. (2017a). Black Bean Coat Anthocyanin-Rich Extracts and Pure Anthocyanins Modulated Molecular Markers of Diabetes. *The FASEB Journal*, 31, 646-38.
- Mojica, L., Berhow, M., & de Mejia, E. G. (2017b). Black bean anthocyanin-rich extracts as food colorants: Physicochemical stability and antidiabetes potential. *Food chemistry*, 229, 628-639.
- Mojica, L., De Mejia, E. G., Menjivar, M., & Granados-Silvestre, M. Á. (2016). Antidiabetic Effect of Black Bean Peptides through Reduction of Glucose Absorption and Modulation of SGLT1, GLUT2 and DPP-IV in *in vitro* and *in vivo* Models. *The FASEB Journal*, 30, 125-6.
- Mojica, L., Luna-Vital, D. A., & de Mejia, E. G. (2018). Black bean peptides inhibit glucose uptake in Caco-2 adenocarcinoma cells by blocking the expression and translocation pathway of glucose transporters. *Toxicology Reports*, 5, 552-560.
- Moreno-Jiménez, M.R.; Cervantes-Cardoza, V.; Gallegos-Infante, J.A.; González-Laredo, R.F.; Estrella, I.; García-Gasca, T.; 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, 79–85.
- Ramos-López, A., Mojica, L., Gómez-Ojeda, A., Macias-Cervantes, M., & Luévano-Contreras, C. (2020). Acute Effect of Black Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Hydrolyzed Protein on Glucose Levels in Adults with Prediabetes and Normal Glucose Tolerance. *Current Developments in Nutrition*, 4, 4140458.
- Reyes-Moreno, C., Paredes-López, O., & González, E. (1993). Hard-to-cook phenomenon in common beans—A review. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33(3), 227-286.
- Valdespino, C. M., Mejia, E. G. D., Mojica, L., Luna-Vital, D., & Camacho, R. (2019). Bioactive Peptides from Black Bean Proteins Play a Potential Role in the Prevention of Adipogenesis (P06-119-19). *Current Developments in Nutrition*, 3(Supplement_1), nzz031-P06.