

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Propiedades Bioactivas de Harina de Semilla de Huizache (*Caesalpinia cacalaco*): Compuestos Fenólicos, Capacidad Antioxidante e Inhibición de Enzimas Glucolíticas

Bioactive Properties of Huizache (*Caesalpinia cacalaco*) Seed Flour: Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity, and Inhibition of Glycolytic Enzymes

Authors/Autores: Carrillo-Torres, J.A., Perea-Domínguez, X.P., Ahumada-Cervantes, R., Martínez-Álvarez, I.G., Valenzuela-García, P., Ruiz-Armenta, X.A., Gómez-Favela, M.A.

ID: e2021

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2021>

Received/Fecha de recepción: July 04th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: January 14th 2026

Available online/Fecha de publicación: February 06th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Carrillo-Torres, J.A., Perea-Domínguez, X.P., Ahumada-Cervantes, R., Martínez-Álvarez, I.G., Valenzuela-García, P., Ruiz-Armenta, X.A., Gómez-Favela, M.A. (2025). Bioactive Properties of Huizache (*Caesalpinia cacalaco*) Seed Flour: Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity, and Inhibition of Glycolytic Enzymes. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2021. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2021>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.








Artículo original

Propiedades Bioactivas de Harina de Semilla de Huizache (*Caesalpinia cacalaco*): Compuestos Fenólicos, Capacidad Antioxidante e Inhibición de Enzimas Glucolíticas

Bioactive Properties of Huizache (*Caesalpinia cacalaco*) Seed Flour: Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity, and Inhibition of Glycolytic Enzymes

Propiedades Bioactivas del Huizache/

Bioactive Properties of Huizache

Carrillo-Torres, J.A.¹  (<https://orcid.org/0009-0003-0737-6713>), Perea-Domínguez, X.P.^{1*}  (<https://orcid.org/0000-0001-5589-4636>), Ahumada-Cervantes, R.¹  (<https://orcid.org/0000-0001-7657-9205>), Martínez-Álvarez, I.G.¹  (<https://orcid.org/0000-0003-0812-1336>), Valenzuela-García, P.²  (<https://orcid.org/0009-0003-9528-499X>), Ruiz-Armenta, X.A.³  (<https://orcid.org/0000-0002-0922-8082>), Gómez-Favela, M.A.^{3*}  (<https://orcid.org/0000-0002-5408-4129>)

¹Doctorado en Sustentabilidad, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Guasave, Av. Universidad S/N, Fraccionamiento Villa Universidad, C.P. 81048, Guasave, Sinaloa, México.

²Departamento de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional Los Mochis, Blvd. Macario Gaxiola y Carretera internacional, México 15, C.P. 811223, Los Mochis, Sinaloa, México.

³Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Calz. de las Américas Nte 2771, Cd Universitaria, Col. Burócrata, C.P. 80030 Culiacán, Sinaloa, México.

*Corresponding Author:

Mario Armando Gómez Favela. Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Calz. de las Américas Nte 2771, Cd Universitaria, Col. Burócrata, C.P. 80030 Culiacán, Sinaloa, México. Teléfono: (667) 216911. mario.gomez.fcqb@uas.edu.mx

Xiomara Patricia Perea Domínguez. Departamento de Salud-Licenciatura en Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Guasave, Sinaloa. Avenida Universidad S/N, Fraccionamiento Villa Universidad, Guasave, Sinaloa, C.P. 81048. Teléfono: (687) 8780963. xiomara.perea@uadeo.mx

RESUMEN

El Huizache (*Caesalpinia cacalaco*) es una leguminosa nativa de América, que prospera en el bosque seco tropical de México. Este estudio evaluó el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC), la capacidad antioxidante y el potencial hipoglucemiante de los extractos de harina de semilla de *C. cacalaco*. El análisis fitoquímico confirmó la presencia de fenólicos, taninos y terpenos, mientras que no se observaron saponinas ni alcaloides. El contenido de TPC fue de 249.83 ± 0.68 mg de GAE/100 g. La actividad antioxidante, evaluada mediante ensayos ABTS y DPPH, fue de $3,931.26 \pm 202.87$ y $2,500.87 \pm 14.44$ μ mol de TE/100 g, respectivamente. Las pruebas de inhibición enzimática mostraron una

inhibición de la α -amilasa del 31,75 % (libre) y del 37,42 % (ligado), mientras que la de la α -glucosidasa fue del 43,52 % (libre) y del 26,15 % (ligada). Estos resultados sugieren que la harina de semilla de huizache posee una alta capacidad antioxidante y potencial hipoglucemiante, lo que la convierte en una fuente prometedora de compuestos bioactivos para el manejo de enfermedades crónicas.

PALABRAS CLAVE:

Caesalpinia cacalaco; huizache; compuestos fenólicos; actividad antioxidante; α -amilasa; α -glucosidasa.

ABSTRACT

Huizache (*Caesalpinia cacalaco*) is a leguminous species native to the Americas, thriving in Mexico's tropical dry forest. This study evaluated the total phenolic content (TPC), antioxidant capacity, and hypoglycemic potential of *C. cacalaco* seed flour extracts. Phytochemical analysis confirmed the presence of phenolics, tannins, and terpenes, while saponins and alkaloids were absent. The TPC content was 249.83 ± 0.68 mg GAE/100 g. Antioxidant activity, assessed via ABTS and DPPH assays, was $3,931.26 \pm 202.87$ and $2,500.87 \pm 14.44$ μ mol TE/100 g, respectively. Enzyme inhibition tests showed α -amylase inhibition of 31.75 % (free) and 37.42 % (bound), while α -glucosidase inhibition was 43.52 % (free) and 26.15 % (bound). These results suggest that huizache seed flour possesses high antioxidant capacity and hypoglycemic potential, making it a promising source of bioactive compounds for managing chronic diseases.

KEY WORDS:

Caesalpinia cacalaco; phenolic compounds; antioxidant activity; α -amylase; α -glucosidase.

Introducción

Las dietas ricas en leguminosas están inversamente asociadas con el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y factores relacionados, como obesidad, hipertensión y diabetes tipo 2. Esta asociación se atribuye principalmente a su contenido de fibra, minerales, tocoferoles, fitoesteroles y antioxidantes (Becerra-Tomás *et al.*, 2018; Tosh & Yada, 2010). Promover una dieta basada en plantas ofrece un perfil nutricional favorable, ya que prioriza carbohidratos complejos, fibra, vitaminas y minerales sobre las grasas totales y saturadas (Soto-Aguilar *et al.*, 2022). Los metabolitos bioactivos presentes en diferentes especies vegetales y en diversos estados de madurez son variados y pueden ajustarse a las necesidades del usuario, proporcionando una alternativa potencial ante la escasez de alimentos (Benincasa *et al.*, 2019).

Entre estos metabolitos, los compuestos fenólicos han sido ampliamente estudiados en diversas leguminosas como frijol común (*Phaseolus vulgaris*) (Salas *et al.*, 2015; Sharma & Giri, 2022), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) (Niño-Medina *et al.*, 2017; Ponce-Fernández *et al.*, 2019), y ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) (Ruiz-Armenta *et al.*, 2022), debido a sus numerosos beneficios para la salud, tales como la prevención del cáncer, control de la diabetes, reducción de la inflamación crónica y mitigación de enfermedades cardiovasculares (Acosta-Estrada *et al.*, 2014). La función principal de los compuestos

fenólicos es neutralizar y/o reducir los efectos de las especies reactivas de oxígeno (ROS) en las células, que inducen estrés oxidativo (OS), provocando daño celular y aumentando el riesgo de complicaciones de enfermedades crónicas. Los antioxidantes actúan como uno de los principales mecanismos de protección contra el daño causado por radicales libres en el organismo, y su consumo se ha asociado con una mejora en la salud y una menor incidencia de enfermedades (Cereceres-Aragón *et al.*, 2019; Lu *et al.*, 2018).

México alberga un gran número de leguminosas silvestres subutilizadas que, a pesar de sus propiedades nutricionales y contenido de compuestos bioactivos, permanecen prácticamente desaprovechadas. Su alto potencial para un uso sostenible justifica una mayor investigación (Pío-León *et al.*, 2013). El huizache o tehuixtle (*Caesalpinia cacalaco*), una especie leguminosa de la familia Fabaceae originaria de América, prospera en los bosques tropicales secos de México. Sus frutos son vainas oblongo-ovoides, constreñidas entre semillas, encerradas en dos valvas delgadas e indehiscentes que se tornan de un tono café amarillento oscuro al secarse. Las semillas son ovoideas transversalmente y prácticamente carecen de endospermo al alcanzar la madurez, adquiriendo una coloración café rojiza al secarse (Miranda & Hernández, 1963). Estas semillas poseen un gran potencial para el desarrollo de alimentos funcionales.

Veloz-García *et al.* (2004) reportaron que las vainas de *C. cacalaco* son una fuente rica de taninos, evaluaron su actividad antimutagénica frente a aflatoxina B1 y su capacidad antioxidante. Encontraron que la actividad antimutagénica fue dependiente de la dosis, mostrando un 64.42% de inhibición, además de una alta actividad antioxidante.

En los últimos años, ha aumentado el interés en alimentos nutraceuticos, los cuales se espera que promuevan la salud más allá de la nutrición básica mediante la generación de beneficios fisiológicos (Quelal *et al.*, 2020). Actualmente, no existen estudios que caractericen el potencial nutraceutico de la harina de semilla de huizache. El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de compuestos fenólicos totales, la actividad antioxidante y el potencial hipoglucemiante de extractos de harina de semillas de *C. cacalaco*, ampliando así sus aplicaciones potenciales como ingrediente, aditivo o suplemento dietético.

Material y métodos

Material

Las semillas de huizache (*C. cacalaco*) fueron recolectadas en el municipio de Elota, Sinaloa, México (Latitud: 24.03080625 Longitud: -106.861236459879; 23°55'13" Norte, 106°48'0" Oeste). Las semillas fueron extraídas manualmente de las vainas y limpiadas cuidadosamente con un cepillo para eliminar impurezas superficiales. Posteriormente fueron molidas en un molino de martillos para obtener una harina integral. El material molido fue tamizado utilizando una malla con apertura de 1.00 mm (malla No. 60) para separar partículas mayores y obtener una distribución de tamaño más uniforme. La harina resultante fue envasada en bolsas de polietileno y almacenada a 4 °C hasta su uso.

Preparación de extractos

Para el tamizaje fitoquímico, se realizó una extracción hidroalcohólica. Se pesaron 500 mg de muestra y se añadieron 20 mL de etanol al 80 %. La mezcla fue sometida a agitación constante a 100 rpm durante 1 hora, seguida de centrifugación a 2,500 rpm a 10 °C, recuperando el sobrenadante (Flieger *et al.*, 2021). Este procedimiento se realizó por triplicado.

Tamizaje fitoquímico

Una vez obtenidos los extractos, se realizó un tamizaje fitoquímico siguiendo la metodología descrita por Harborne (1998) y Solomon *et al.* (2013), para identificar cualitativamente la presencia o ausencia de diversos compuestos, incluidos compuestos fenólicos, taninos, saponinas, triterpenos y alcaloides. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Compuestos fenólicos (Prueba con magnesio)

Para determinar la presencia de compuestos fenólicos, se colocaron 500 µL del extracto hidroalcohólico en tubos de ensayo, se añadió una lámina de magnesio (FagaLab CAS Number 2248-100) y 200 µL de HCl 1N. Se observó la reacción y la decoloración se consideró como una respuesta positiva.

Taninos (Prueba con cloruro férrico, cloruro de sodio y gelatina)

Se prepararon soluciones de FeCl₃ al 0.02 % (p/v) (FagaLab CAS Number 2143-100), gelatina al 0.1 % (p/v) (MerckMillipre CAS Number 9000-70-8), y NaCl al 0.01 % (p/v) (FagaLab CAS Number 2153-2500). En tres tubos diferentes se colocó 1 mL del extracto hidroalcohólico. En cada tubo se añadieron los reactivos según la secuencia descrita metodológicamente. La formación de un precipitado en el tubo con gelatina-NaCl se consideró indicativa de la presencia de taninos.

Saponinas (Prueba de espuma)

Se colocaron 500 µL del extracto hidroalcohólico en tubos de ensayo y se añadieron 1 mL de agua hirviendo. Cada tubo fue vortexado y reposado por 15 minutos. La formación y persistencia de espuma indicó presencia de saponinas.

Triterpenos (Prueba de Salkowski)

Se añadió CHCl₃ y H₂SO₄ concentrados a 1 mL del extracto hidroalcohólico. La aparición de una coloración rojo-púrpura se consideró positiva para triterpenos.

Alcaloides (Prueba con reactivos de Mayer y Wagner)

Para la detección de alcaloides se empleó el reactivo de Wagner. La formación de turbidez o precipitado se consideró un resultado positivo.

Extracción de compuestos fenólicos libres y ligados

Las semillas fueron extraídas de las vainas, limpiadas y molidas en un molino de martillos para obtener harina integral, la cual fue sometida a una extracción fitoquímica con EtOH al 80 %. La fracción libre se obtuvo después de la centrifugación. La extracción de los compuestos fenólicos ligados se realizó siguiendo la metodología descrita por Ruiz-Armenta *et al.* (2022). El pellet residual fue sometido a hidrólisis con 10 mL de NaOH 4 M durante 4 horas, con agitación breve cada 30 minutos. Posteriormente, se añadieron 2 mL de HCl concentrado para neutralizar la solución, seguido de 10 minutos de agitación a velocidad moderada. Luego, se agregaron 10 mL de hexano, se agitó durante 10 minutos a velocidad moderada y se centrifugó a $4,000 \times g$ a 10°C durante 10 minutos para eliminar los lípidos. Finalmente, se añadieron 10 mL de acetato de etilo, se agitó durante 10 minutos a velocidad moderada y se centrifugó a $4,000 \times g$ a 10°C durante 10 minutos para extraer los compuestos liberados. Este último paso se repitió cuatro veces. Ambas fracciones de extractos se evaporaron hasta sequedad utilizando un rotavapor y fueron reconstituidas en metanol para la determinación de compuestos fenólicos totales, actividad antioxidante (ABTS y DPPH) y potencial antidiabético (inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa).

Cuantificación de compuestos fenólicos totales

La cuantificación de compuestos fenólicos totales se realizó siguiendo la metodología reportada por Ruiz-Armenta *et al.* (2022). Alícuotas de 20 μL de los extractos libres o ligados fueron oxidadas con 1,800 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, Número CAS F9252), formando una coloración azul tras 90 minutos de incubación. La absorbancia de esta reacción se midió en un espectrofotómetro (UV-GENESYS modelo 10, Serie AQ7-2H7G229001, Thermo Electron Scientific Instruments LLC, Madison, Wisconsin, USA) a 760 nm. Se prepararon curvas patrón utilizando ácido gálico (Sigma-Aldrich, Número CAS 5995-86-8) en metanol a concentraciones de 25, 50, 100, 200, 400, 600, 800 y 1,000 ppm. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por gramo de muestra seca.

Determinación de la capacidad antioxidante

Ensayo ABTS (2,2'-Azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico))

El ensayo de decoloración del radical catión ABTS fue realizado siguiendo el método propuesto por Re *et al.* (1999), el cual se basa en la reducción del radical ABTS^+ por los antioxidantes presentes en los extractos. Se preparó una solución de ABTS (Sigma-Aldrich, Número CAS A1888) mezclándolo con persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) (Sigma-Aldrich, Número CAS 7727-21-1) a una concentración de 2.45 mM en metanol. La solución resultante se mantuvo en la oscuridad durante 16 horas para permitir la formación del radical. Posteriormente, la solución radicalaria se diluyó con metanol hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.02 a 734 nm. Se mezclaron 20 μL de blanco (metanol) o extracto con 1,980 μL de la solución ABTS^+ , se homogenizó suavemente y se leyó la absorbancia a 734 nm en un espectrofotómetro (UV-vis Genesys 10 UV, Thermo Electron Corporation, Madison, WI, USA). La lectura se realizó 5 minutos después de añadir el radical a la primera muestra. Se utilizó Trolox (Sigma-Aldrich, Número CAS 135806-59-6) como estándar de

referencia (0–800 μM), y la actividad antioxidante de las muestras se expresó como micromoles de equivalentes de Trolox (TE) por 100 gramos de muestra seca.

Ensayo DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazil)

La actividad atrapadora del radical DPPH de los extractos fitoquímicos libres y ligados se determinó utilizando el método reportado por Brand-Williams *et al.* (1995). El radical DPPH (Sigma-Aldrich, Número CAS D9132-1G) fue preparado a una concentración de 150 μM y protegido de la luz. En una microplaca de 96 pozos se colocaron 20 μL de muestra, blancos y estándar. Posteriormente, se agregaron 200 μL de la solución de DPPH y se midió la absorbancia a 517 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific Multiskan GO). La actividad antioxidante se calculó mediante una curva estándar de Trolox (0–800 μM). Los datos se expresaron como micromoles de equivalentes de Trolox por 100 gramos de muestra seca ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$).

Potencial hipoglucemiante

El potencial hipoglucemiante de los extractos de harina de semilla de *C. caca/aco* se evaluó mediante la inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa, siguiendo la metodología descrita por Quintero-Soto *et al.* (2021).

Inhibición de α -amilasa

Para la inhibición de α -amilasa, se mezclaron 10 μL de muestra (30 mg/mL) y 10 μL de solución de α -amilasa (2 U/mL), incubándose durante 10 minutos a 25 °C. Luego se añadieron 10 μL de una solución de almidón al 1%, incubando nuevamente 10 minutos a 25 °C. Posteriormente, se añadieron 20 μL de una solución de ácido 3,5-dinitrosalicílico, seguido de incubación durante 5 minutos a 25 °C. Finalmente, se agregaron 200 μL de agua destilada a la mezcla de reacción y se midió la absorbancia a 540 nm en un espectrofotómetro (UV-vis Genesys 10 UV, Thermo Electron Corporation, Madison, WI, USA). El ensayo se realizó por triplicado. Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición de la enzima α -amilasa, calculado según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{([A_{540} \text{ blanco} - A_{540} \text{ extracto}]) * 100}{(A_{540} \text{ blanco})}$$

Donde: $A_{540} \text{ blanco}$ = absorbancia del blanco a 540 nm; $A_{540} \text{ extracto}$ = absorbancia del extracto a 540 nm.

Inhibición de α -Glucosidasa

Para la inhibición de α -glucosidasa, se mezclaron 50 μL de la muestra (15 mg/mL) con 100 μL de una solución de α -glucosidasa (1 U/mL), y la mezcla se incubó durante 10 minutos a 37°C. Posteriormente, se añadieron 50 μL de p-nitrofenil- α -D-glucopiranosido (5 mM), y la mezcla se incubó nuevamente durante 10 minutos a 37°C. Finalmente, la absorbancia se midió a 405 nm utilizando un espectrofotómetro (UV-vis Genesys 10 UV, Thermo Electron Corporation, Madison, WI, USA). El análisis se realizó por triplicado. Los

resultados se expresaron como el porcentaje de inhibición de la enzima α -glucosidasa, calculado de la siguiente manera:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{([A_{405} \text{ blanco} - A_{405} \text{ extracto}]) * 100}{(A_{405} \text{ blanco})}$$

Donde: A_{405} blanco = absorbancia del blanco a 405 nm; A_{405} extracto = absorbancia del extracto a 405 nm.

Análisis estadístico

Los resultados de esta investigación se muestran como el promedio de tres repeticiones \pm su respectiva desviación estándar.

Resultados y discusión

Tamizaje fitoquímico

El tamizaje fitoquímico es un ensayo que permite evaluar el potencial de las plantas y brinda la oportunidad de descubrir e identificar moléculas de interés farmacológico. Los compuestos fitoquímicos se sintetizan a partir del metabolismo secundario y no están directamente relacionados con los procesos primarios de desarrollo y crecimiento de la planta (Aronés-Jara *et al.*, 2022). Los resultados del tamizaje fitoquímico revelaron la presencia de compuestos fenólicos, taninos y triterpenos, mientras que saponinas y alcaloides estuvieron ausentes en la harina de huizache (Tabla 1).

Tabla 1. Tamizaje fitoquímico de extracto hidroalcohólico de harina de semillas de huizache (*C. cacalaco*).

Compuestos fenólicos	Taninos	Saponinas	Triterpenos	Alcaloides
+	+	-	+	-

Presencia (+); Ausencia (-). Fuente: Elaboración propia

Nawaz *et al.* (2020) detectaron la presencia de taninos, flavonoides, glucósidos cardíacos, antocianinas, terpenoides y carotenoides en extractos polares utilizando solventes orgánicos (hexano, éter de petróleo, cloroformo, etanol, acetona y agua) obtenidos de harina de semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris*), sin observar saponinas, flobataninos ni antraquinonas en ninguno de los extractos. Asimismo, Haleshappa *et al.* (2022) demostraron la presencia cualitativa de triterpenos, alcaloides, taninos, flavonoides y glucósidos en extractos de acetato de etilo, éter de petróleo y etanol de semillas de *Simarouba glauca*. Gazwi *et al.* (2023) realizaron el tamizaje fitoquímico de la testa de la semilla de chícharo (*Pisum sativum*), utilizando agua como solvente con un tiempo de extracción de tres horas bajo agitación constante a 25 °C, reportando la presencia de alcaloides, flavonoides, glucósidos, taninos y fenoles, así como la ausencia de terpenos y

saponinas. Los fito-constituyentes encontrados pueden ser responsables de los beneficios para la salud atribuidos al guisante, describiéndolo con propiedades analgésicas, antibacterianas y antioxidantes.

Las plantas sintetizan una gran variedad de metabolitos secundarios que contienen un grupo fenólico; estas sustancias se conocen como compuestos fenólicos. Su estructura consiste en un anillo aromático con un grupo hidroxilo, y químicamente conforman un grupo altamente diverso que abarca desde ácidos fenólicos simples hasta polímeros complejos como los taninos condensados y la lignina (Martin-Gordo, 2017). Los metabolitos secundarios, incluyendo taninos, alcaloides, saponinas, flavonoides, glucósidos y resinas, contribuyen significativamente a las actividades medicinales y fisiológicas de las plantas. Su composición química está relacionada con los mecanismos de defensa de la planta, además de los efectos del suelo y las condiciones climáticas. Por ejemplo, el contenido de taninos varía según la estación, la humedad y la exposición a la luz (Camacho-Escobar *et al.*, 2020). En las últimas décadas se han reportado diversos beneficios para la salud asociados con estos metabolitos. Los terpenos, por ejemplo, se utilizan principalmente en el tratamiento de diversas enfermedades y pueden actuar como agentes anticancerígenos (Bai & Tang, 2020), antimicrobianos (Liu *et al.*, 2020), antiinflamatorios (Kim *et al.*, 2020), antioxidantes (Querio *et al.*, 2018) y antialérgicos (Yang *et al.*, 2021), a través de la actividad de sus derivados (Zhao *et al.*, 2016). Productos u organismos como plantas, frutos cítricos y árboles resinosos, así como ciertas actinobacterias y hongos filamentosos, incluidos los géneros *Streptomyces* y *Aspergillus*, que contienen estos compuestos, son una excelente fuente de vitaminas A, E y K, además de coenzima Q10 (Rodríguez-Concepción *et al.*, 2018). Adicionalmente, los taninos presentes en las leguminosas se han estudiado por sus propiedades antioxidantes, efectos reductores del colesterol, disminución de la presión arterial y estimulación del sistema inmunológico. Estos efectos ocurren porque los taninos pueden formar complejos con carbohidratos, proteínas y ciertos iones minerales en los alimentos. La formación de estos complejos depende de condiciones adecuadas como pH, temperatura y concentración (Grosse-Brinkhaus *et al.*, 2016). Los polifenoles, incluidos los taninos, se encuentran entre los principales antioxidantes presentes en la dieta humana (Montes-Ávila *et al.*, 2017).

Por otro lado, la ausencia de saponinas en este estudio se considera beneficiosa, ya que se ha reportado que estos compuestos impactan negativamente en la dieta humana y animal. Samtiya *et al.* (2020) señalaron que la ingesta de saponinas puede provocar pérdida de peso, diarrea, anorexia y, en casos graves, la muerte. El alto consumo de saponinas en humanos puede reducir la biodisponibilidad de minerales para su absorción, por lo que se les considera compuestos antinutricionales.

Este estudio investigó las propiedades nutracéuticas de la harina de *C. caca/aco* con el fin de evaluar su potencial en el desarrollo de alimentos. Los resultados indican la presencia de importantes compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, taninos y triterpenos, mientras que las saponinas y alcaloides estuvieron ausentes (Tabla 1). Estas características coinciden con las de otra leguminosa nativa de importancia, el mezquite (*Prosopis spp.*), tal como lo describen Valencia *et al.* (2020), quienes reportaron la presencia de terpenos, saponinas y antraquinonas. Los metabolitos secundarios presentes en las plantas les permiten producir y acumular compuestos químicamente diversos que, aunque no son esenciales para la vida vegetal, desempeñan un papel crucial en la adaptación al estrés ambiental y la defensa contra depredadores y patógenos potenciales

(Lustre-Sánchez, 2022). Las plantas sometidas a estrés o condiciones extremas que afectan su crecimiento, desarrollo o productividad producen metabolitos secundarios específicos que influyen directamente en su capacidad de supervivencia (Gull *et al.*, 2019).

Cuantificación de los compuestos fenólicos totales

Los contenidos de compuestos fenólicos totales del presente trabajo fueron de 209.99 ± 4.78 , 39.84 ± 2.01 y 249.83 ± 6.79 mg GAE/100 g, para las fracciones libre, ligada y total, respectivamente (Figura 1). Estos valores son superiores a los reportados por Niño-Medina *et al.* (2017) para variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*), quienes obtuvieron 1.50 mg GAE/g, 0.11 mg GAE/g y 1.61 mg GAE/g de muestra en las fracciones libre, ligada y total, respectivamente. Esta tendencia se repitió en las fracciones libre y total reportadas por Rochín-Medina *et al.* (2021) para la misma variedad de frijol, quienes obtuvieron valores con una variación entre 7.32 y 45.87 mg GAE/100 g en la fracción libre, y valores en un rango entre 67.90 y 204.37 mg GAE/100 g para la fracción total; caso opuesto para la fracción ligada, cuyos valores oscilaron entre 43.55 y 158.50 mg GAE/100 g. De Camargo *et al.* (2022) reportaron valores de 221.4 mg GAE/100 g para la fracción libre, 1,243.31 mg GAE/100 g para la fracción insoluble y un valor total de 1,560.8 mg GAE/100 g. Comparar el contenido de compuestos fenólicos totales de la harina de semilla de *C. cacalaco* con el de otras leguminosas arbóreas como el algarrobo (*Ceratonia siliqua*) y el mezquite (*Prosopis spp.*) sugiere el potencial uso futuro de esta harina. Carbas *et al.* (2019) reportaron valores de 17.7 ± 0.9 mg GAE/g y 0.5 ± 0.01 mg GAE/g para harina de algarrobo y de mezquite, respectivamente, ambas ya utilizadas como ingredientes comerciales en suplementos como Caromax® (Nutrinova, GmbH, Alemania). El elevado contenido de polifenoles proporciona beneficios valiosos para la salud, tales como efectos reductores del colesterol, propiedades antioxidantes y una disminución del riesgo de cáncer gastrointestinal (Stavrou *et al.*, 2018).

Compuestos Fenólicos Totales

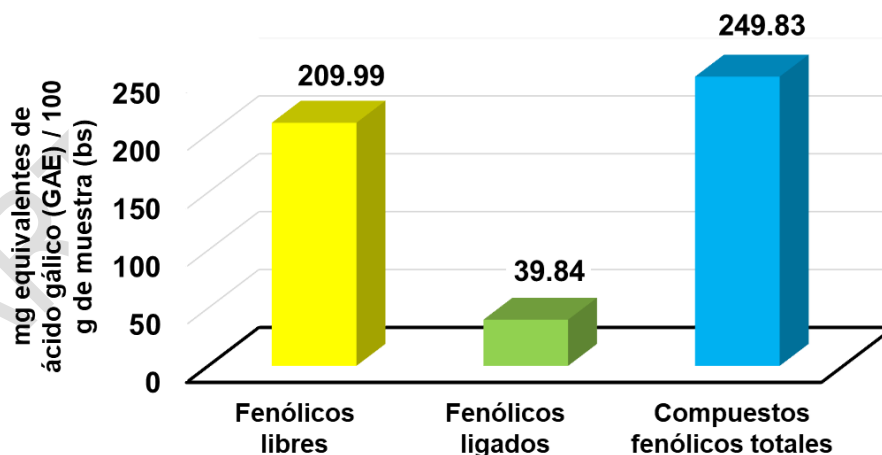


Figura 1. Compuestos fenólicos libres, ligados y totales de harina de semilla de huizache (*Caesalpinia cacalaco*) (mg equivalentes de ácido gálico (mg GAE) /100 g de muestra (bs)); bs= base seca. Fuente: Elaboración propia

Además, la mayoría de los compuestos fenólicos obtenidos de *C. cacalaco* estuvieron en su forma libre (84.05%). Los fenólicos libres no interactúan física ni químicamente con otras moléculas y generalmente son solubles en disolventes acuosos/orgánicos, mientras que los fenólicos ligados están unidos covalentemente a compuestos de bajo peso molecular como azúcares o ácidos grasos, y también son solubles en disolventes acuosos/orgánicos (Rocchetti *et al.*, 2022). La variación en el contenido de compuestos fenólicos depende de las condiciones ambientales donde crece la planta (temperatura, precipitación, tipo de suelo, humedad relativa, exposición a rayos UV, etc.) (Soto-Vásquez, 2015). Además, las diferencias pueden atribuirse a los diversos solventes utilizados en el proceso de extracción, la temperatura y el tiempo de exposición. La polaridad de los compuestos extraídos depende del solvente empleado, siendo que los solventes altamente polares como el etanol afectan las membranas celulares, permitiendo extraer la mayor cantidad de compuestos fenólicos debido a su naturaleza polar (Garrido *et al.*, 2013).

Determinación de la capacidad antioxidante

Los valores de actividad antioxidante para las fracciones libre, unida y total en el ensayo ABTS fueron $2,745.22 \pm 231.70$, $1,186.04 \pm 28.82$ y $3,931.26 \pm 202.87$ $\mu\text{mol TE}/100$ g de muestra, respectivamente. Para el ensayo DPPH, los valores fueron $1,245.45 \pm 22.50$, $1,255.42 \pm 8.06$ y $2,500.87 \pm 14.44$ $\mu\text{mol TE}/100$ g de muestra para las mismas fracciones (Tabla 2). La determinación de la capacidad antioxidante es una reacción dependiente del mecanismo. En el presente estudio, el análisis antioxidante se realizó mediante ensayos basados en reacciones químicas (DPPH y ABTS). La actividad antioxidante está fuertemente correlacionada con el contenido de compuestos fenólicos, ya que estos son los principales responsables de dicha actividad (Szychowski *et al.*, 2018). Por lo tanto, si un extracto tiene un mayor contenido fenólico, se espera que presente una mayor capacidad antioxidante. En concordancia, el alto contenido fenólico de la harina de *C. cacalaco* sugiere su potencial para el desarrollo de productos funcionales antioxidantes, ya que el valor obtenido en DPPH fue de $2,500.87 \pm 14.44$ $\mu\text{mol TE}/100$ g de muestra.

Tabla 2. Actividad antioxidante, evaluada por los ensayos ABTS y DPPH, de extractos fenólicos libres, ligados y total de harina de semilla de huizache (*C. cacalaco*)

Actividad antioxidante	Libre	Ligada	Total
ABTS	$2,745.22 \pm 231.70$	$1,186.04 \pm 28.82$	$3,931.26 \pm 202.87$
DPPH	$1,245.45 \pm 22.50$	$1,255.42 \pm 8.06$	$2,500.87 \pm 14.44$

Los valores son el resultado del promedio de tres mediciones \pm la desviación estándar. ABTS ($\mu\text{mol equivalentes de Trolox (TE)}/100$ g de muestra); DPPH ($\mu\text{mol TE}/100$ g de muestra). Fuente: Elaboración propia

Carbas *et al.* (2019) reportaron valores antioxidantes totales de $5,890 \pm 0.2$ y 290 ± 1.0 $\mu\text{mol TE}/100$ g para *Ceratonia siliqua* y *Prosopis spp.*, respectivamente, las cuales son harinas utilizadas comercialmente. Rochín-Medina *et al.* (2021) reportaron valores más bajos que los obtenidos en este estudio para diferentes variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), con valores de DPPH que oscilaron entre 53.05 y 376.10 $\mu\text{mol TE}/100$ g, 190.54 a 1,064.63 $\mu\text{mol TE}/100$ g y 1,282.70 $\mu\text{mol TE}/100$ g para las fracciones libre, ligada y total, respectivamente. De manera similar, Niño-Medina *et al.*, 2017 y Tungmunthum *et al.*, 2021 reportaron valores de actividad antioxidante total mediante

ABTS de 5.16 $\mu\text{mol TE/g}$ para grano de garbanzo y 89.5 $\mu\text{mol TE/g}$ para semilla de frijol, respectivamente, los cuales son inferiores a los obtenidos en este estudio.

La actividad antioxidante de extractos vegetales no puede ser evaluada mediante un único enfoque debido a la naturaleza compleja de los fitoquímicos, ya que la determinación de la actividad antioxidante depende en gran medida del mecanismo de reacción involucrado (Nazir *et al.*, 2019). La actividad de los antioxidantes puede ser evaluada utilizando diversas técnicas analíticas relacionadas, por un lado, con las diferentes propiedades de los compuestos analizados, y por otro, con las distintas etapas del proceso oxidativo y el entendimiento del papel de los antioxidantes (Munteanu & Apetrei, 2021). Las investigaciones con el uso de radicales libres estables ABTS y DPPH, que pueden ser determinados espectrofotométricamente y decolorarse como resultado de su desactivación, son particularmente populares. Sin embargo, su popularidad, facilidad de uso y susceptibilidad a modificación han dado lugar a la publicación de numerosos estudios en los cuales, debido a las diferentes versiones de los ensayos utilizados, los resultados no son comparables (Hano *et al.*, 2017).

Potencial Hipoglucemiante

Inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa

Los valores de inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa se presentan en la Tabla 3. En este estudio, se utilizó una concentración de 30 mg/mL de extracto (fracción fenólica libre o ligada) para evaluar la inhibición de la enzima α -amilasa, mientras que se utilizó una concentración de 15 mg/mL de extracto (fracción fenólica libre o ligada) para la inhibición de la enzima α -glucosidasa. Los valores de inhibición para α -amilasa fueron de 31.75% y 37.42% para las fracciones fenólicas libre y ligada, respectivamente. Para la inhibición de α -glucosidasa, los valores fueron de 43.52% para la fracción fenólica libre y 26.15% para la fracción fenólica ligada.

Tabla 3. Actividad hipoglucémica de extractos fenólicos libres y ligados de harina de semilla de huizache (*C. cocalaco*)

Actividad hipoglucémica	Libre	Ligado
Inhibición de α - amylasa (%)	31.75 \pm 1.27	37.42 \pm 1.49
Inhibición de α - glucosidasa (%)	43.52 \pm 3.04	26.15 \pm 1.94

Los valores son el resultado del promedio de tres mediciones \pm la desviación estándar. Fuente: Elaboración propia

Una de las estrategias más efectivas para reducir la hiperglucemia posprandial (PPHG) en la diabetes mellitus, particularmente en la diabetes mellitus no dependiente de insulina, es disminuir la absorción de glucosa mediante la inhibición de enzimas hidrolizadoras de carbohidratos en el sistema digestivo, tales como la α -glucosidasa y la α -amilasa (Kashtoh & Beak, 2022). Diversas especies vegetales, como Gymnema (*Gymnema sylvestre*), canela (*Cinnamomum verum*), melón amargo (*Momordica charantia*), cúrcuma (*Curcuma longa*), arándano (*Vaccinium myrtillus*) y nopal (*Opuntia ficus-indica*), han sido utilizadas para

contrarrestar los efectos de la diabetes o, al menos, ofrecer una alternativa al uso de medicamentos o reducir su dosis (Day *et al.*, 1990; Zare *et al.*, 2019; Devangan *et al.*, 2021).

Con respecto a la inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa, estudios han demostrado que ciertos componentes de las leguminosas poseen este efecto. Tungmunthum *et al.* (2021) reportaron valores de inhibición más bajos para 10 variedades de extractos de Fabaceae cocidos, con inhibiciones de α -amilasa y α -glucosidasa que oscilaron entre 15.6–25.2% y 16.26%, respectivamente, utilizando 200 y 100 μ L de muestra con 200 y 100 μ L de enzima (13 U/mL y 10 U/mL, respectivamente). Quintero-Soto *et al.* (2021) determinaron el potencial antidiabético de proteínas hidrolizadas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), obteniendo valores de inhibición más altos que los encontrados en este estudio. Reportaron tasas promedio de inhibición del 54% para α -amilasa utilizando 5 μ L de muestra con 5 μ L (13 U/mL) de enzima, y una tasa promedio de inhibición del 56% para α -glucosidasa utilizando 25 μ L de muestra con 50 μ L (1 U/mL) de enzima.

De manera similar, Doué *et al.* (2021) evaluaron el potencial antidiabético *in vitro* de extractos de semillas de soya germinada (*Glycine max*) y aislados proteicos de *Vigna subterranea* mediante ensayos de inhibición de α -amilasa y α -glucosidasa utilizando 30 μ L de extracto y 50 μ L de enzima (1.5 U/mL) para ambos ensayos. Reportaron valores promedio de inhibición de α -amilasa de 19.73% en soya y 21.76% en *Vigna subterranea*, mientras que los valores de inhibición de α -glucosidasa fueron 16.55% y 28.47%, respectivamente.

Se ha demostrado que algunos fitoquímicos acumulados en semillas de Fabaceae inhiben α -glucosidasa y α -amilasa y/o estimulan la captación de glucosa (Maliehe *et al.*, 2019). La inhibición de estas enzimas da como resultado una reducción de los niveles séricos de glucosa, lo cual es beneficioso para el control de los niveles de glucosa en sangre posprandial (Yan *et al.*, 2019). La actividad inhibitoria aumenta con concentraciones enzimáticas más altas, mejorando el potencial inhibitorio de la muestra o del inhibidor evaluado. Esta tendencia se ha observado en numerosos estudios sobre péptidos antidiabéticos en leguminosas (Ngoh & Gan, 2016; Wang *et al.*, 2019).

Las variaciones en los resultados pueden atribuirse a que la actividad inhibidora enzimática está influenciada por las condiciones climáticas y variaciones de altitud, el tipo de especie y factores ambientales tales como la precipitación, las condiciones del suelo, la exposición a la luz solar y las metodologías experimentales (Sharma & Giri, 2022).

Conclusiones

La harina de semilla de huizache presentó un alto contenido de compuestos fenólicos totales y demostró un importante potencial antioxidante e hipoglucemiante. Por lo tanto, esta harina podría servir como una valiosa fuente de estos compuestos bioactivos para combatir diversas enfermedades crónico-degenerativas. Además, este estudio contribuye con nuevo conocimiento sobre una especie con investigación limitada en cuanto a la cuantificación de fenoles y su potencial antioxidante. Este trabajo es el primero en evaluar el potencial nutracéutico de la harina de semilla de huizache. Se recomienda que estudios futuros exploren su potencial en otras actividades biológicas relacionadas con sus usos etnomedicinales.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo: C.-T.J.A., G.-F.M.A.; Redacción y preparación del manuscrito: C.T.-J.A., G.-F.M.A.; Redacción, revisión y edición: C.-T.J.A., A.-C.R., M.-A.I.G., V.-G.P., R.-A.X.A., P.-D.X.P., G.-F.M.A.; Creación y edición de la figura: C.-T.J.A., G.-F.M.A.

“Todos los autores de este manuscrito han leído y están de acuerdo con la versión publicada”.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca doctoral otorgada a Carrillo-Torres J.A., y a la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS) por proporcionar los laboratorios e instalaciones para la realización del experimento.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen intereses en competencia. El manuscrito no ha sido enviado para publicación en otros medios con circulación sustancial. Todos los trabajos previamente publicados citados en el manuscrito han sido debidamente reconocidos. Todos los autores han realizado contribuciones sustanciales al manuscrito y aprobaron la versión final para su envío. No existen conflictos de interés entre los autores y los revisores que evaluaron este manuscrito. La preparación de este manuscrito se realizó en estricto apego al formato de la revista establecido en la guía para autores.

Referencias

- Acosta-Estrada, B.A., Gutiérrez-Urbe, J.A., & Serna-Saldívar, S.O. (2014). Bound phenolics in foods, a review. *Food Chemistry*, 152, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093>
- Aronés-Jara, M.R., Cárdenas-Landeo, E., Luna-Molero, H.R., Barbarán-Vilcatoma, S.M., & Gómez-Quispe, M. (2022). Tamizaje fitoquímico, contenido de compuestos fenólicos y potencial antioxidante de trece plantas medicinales de los afloramientos rocosos del Bosque de Piedras de Huaraca en Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(2), 165-179. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i2.388>
- Bai, X., & Tang, J. (2020). Myrcene exhibits antitumor activity against lung cancer cells by inducing oxidative stress and apoptosis mechanisms. *Natural Product Communications*, 15(9), 1-7. <https://doi.org/10.1177/1934578X20961189>

- Becerra-Tomás, N., Díaz-López, A., Rosique-Esteban, N., Ros, E., Buil-Cosiales, P., Corella, D., Estruch, R., Fitó, M., Serra-Majem, L., Arós, F., Lamuela-Raventós, R.M., Fiol, M., Santos-Lozano, J.M., Diez-Espino, J., Portoles, O., & Salas-Salvadó, J. (2018). Legume consumption is inversely associated with type 2 diabetes incidence in adults: A prospective assessment from the PREDIMED study. *Clinical Nutrition*, 37(3), 906-913. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.03.015>
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted Grains: A Comprehensive Review. *Nutrients*, 11(2), 421. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Camacho-Escobar, M.A., Ramos-Ramos, D.A., Ávila-Serrano, N.Y., Sánchez-Bernal, E.I., & López-Garrido, S.J. (2020). Las defensas físico-químicas de las plantas y su efecto en la alimentación de los rumiantes. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 443-453. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.629>
- Carbas, B., Salinas, M.V., Serrano, C., Passarinho, J.A., Puppo, M.C., Ricardo, C.P., & Brites, C. (2019). Chemical composition and antioxidant activity of commercial flours from *Ceratonia siliqua* and *Prosopis* spp. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 305-311. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9945-7>
- Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E., & Rodríguez-Tadeo, A. (2019). Ingestión de compuestos fenólicos en población adulta mayor. *Nutrición Hospitalaria*, 36(2), 470-478. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.2171>
- Day, C., Cartwright, T., Provost, J., & Bailey, C. J. (1990). Hypoglycaemic effect of *Momordica charantia* extracts. *Planta Medica*, 56(5), 426-429. <https://doi.org/10.1055/s-2006-961003>
- De Camargo, A.C., Concepción-Álvarez, A., Arias-Santé, M.F., Oyarzún, J.E., Andia, M.E., Uribe, S., Núñez Pizarro, P., Bustos, S.M., Schwember, A.R., Shahidi, F., & Bridi, R. (2022). Soluble Free, Esterified and Insoluble-Bound Phenolic Antioxidants from Chickpeas Prevent Cytotoxicity in Human Hepatoma HuH-7 Cells Induced by

- Peroxyl Radicals. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 11(6), 1139. <https://doi.org/10.3390/antiox11061139>
- Devangan, S., Varghese, B., Johny, E., Gurram, S., & Adela, R. (2021). The effect of *Gymnema sylvestre* supplementation on glycemic control in type 2 diabetes patients: A systematic review and meta-analysis. *Phytotherapy Research*, 35(12), 6802–6812. <https://doi.org/10.1002/ptr.7265>
- Doué, G.G., Mégnanou, R.M., & Zoué, T.L. (2021). Multifunctional Bioactive Peptides from Germinated Soy (*Glycin max*) and Voandzou (*Vigna subterranea*) Beans: In-vitro Anti-Diabetic Potential through α -amylase α -glucosidase Inhibition, and Antioxidant Ability by DPPH Reducing. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 13(11), 20–32. <https://doi.org/10.9734/ejnf/2021/v13i1130463>
- Flieger, J., W., Baj, J., & Maciejewski, R. (2021). Antioxidants: Classification, Natural Sources, Activity/Capacity Measurements, and Usefulness for the Synthesis of Nanoparticles. *Materials* (Basel, Switzerland), 14(15), 4135. <https://doi.org/10.3390/ma14154135>
- Garrido, G., Ortiz, M., & Pozo, P. (2013). Fenoles y flavonoides totales y actividad antioxidante de extractos de hojas de *Lampaya medicinalis* F. Phil. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 1(1), 30-38. https://doi.org/10.56499/jppres13.001_1.1.30
- Gazwi, H.S.S., Omar, M.O.A., & Mahmoud, M.E. (2023). Phytochemical analysis, antioxidant capacities, and in vitro biological activities of the extract of seed coat as by-products of pea. *BMC Chemistry*, 17, 1. <https://doi.org/10.1186/s13065-023-00911-8>
- Grosse-Brinkhaus, A., Bee, G., Silacci, P., Kreuzer, M., & Dohme-Meier, F. (2016). Effect of exchanging *Onobrychis viciifolia* and *Lotus corniculatus* for *Medicago sativa* on ruminal fermentation and nitrogen turnover in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4384–4397. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9911>
- Gull, A., Lone, A.A., & Wani, N.U.I. (2019). Biotic and Abiotic Stresses in Plants. In A. Bosco de Oliveira (Ed.), *Abiotic and Biotic Stress in Plants*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85832>

- Haleshappa, R., Niketh, S., Kolgi, R.R., Patil, S.J., & Murthy, K.R.S. (2022). Phytochemicals, anti-nutritional factors and proximate analysis of simarouba glauca seeds. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 9(3), 218-227. <https://doi.org/10.17148/IARJSET.2022.9337>
- Hano, C., Corbin, C., Drouet, S., Quéro, A., Rombaut, N., Savoie, R., Molinié, R., Thomasset, B., Mesnard, F., & Lainé, E. (2017). The lignan (+)-secoisolariciresinol extracted from flax hulls is an effective protectant of linseed oil and its emulsion against oxidative damage. *European Journal Lipid Science and Technology*, 119 (8), 1600219. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600219>
- Harborne, J.B. (1998). Phenolic Compounds. In: *Phytochemical Methods*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5921-7_2
- Kashtoh, H., & Baek, K.H. (2022). Actualizaciones recientes sobre los inhibidores de la alfa-glucosidasa fitoconstitutivos: un enfoque hacia el tratamiento de la diabetes tipo dos. *Plantas (Basilea, Suiza)*, 11(20), 2722. <https://doi.org/10.3390/plants11202722>
- Kim, T., Song, B., Cho, K.S., & Lee, I.S. (2020). Therapeutic potential of volatile terpenes and terpenoids from forests for inflammatory diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 2187. <https://doi.org/10.3390/ijms21062187>
- Liu, X., Cai, J., Chen, H., Zhong, Q., Hou, Y., Chen, W., & Chen, W. (2020). Antibacterial activity and mechanism of linalool against *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbial Pathogenesis*, 141, 103980. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.103980>
- Lu, J., Wang, Z., Cao, J., Chen, Y., & Dong, Y. (2018). A novel and compact review on the role of oxidative stress in female reproduction. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 16(1), 80. <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0391-5>
- Lustre-Sánchez, H. (2022). Los superpoderes de las plantas: los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *Revista Digital Universitaria*, 23(2), 1-8. <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10>
- Maliehe, A., Ghahremani, S., Kharghani, S., Ghazanfarpour, M., Shariati, K., Kazemi, M., & Khadivzadeh, T. (2019). Effect of Isoflavones and Genistein on Glucose Metabolism

- in Peri-and Post-Menopausal Women: An Overview of Meta-Analysis. *Journal of Menopausal Medicine*, 25(2), 69–73. <https://doi.org/10.6118/jmm.18143>
- Martin-Gordo, D.A. (2017). The phenolic compounds: an approach to their biosynthesis, synthesis and biological activity. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9 (1), 81-104.
https://www.researchgate.net/publication/326902933_Los_Compuestos_Fenolicos_Un_Accramiento_A_Su_Biosintesis_Sintesis_Y_Actividad_Biológica
- Miranda, F., & Hernández, E.X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. México d. F. 29: 29-179.
<https://doi.org/10.17129/botsci.1084>
- Montes-Ávila, J., López-Angulo, G., & Delgado-Vargas, F. (2017). Tannins in Fruits and Vegetables: Chemistry and Biological Functions. In E.M. Yahia (Ed.), *Fruit and Vegetable Phytochemicals*. <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch13>
- Munteanu, I.G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3380.
<https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
- Nawaz, H., Shad, M.A., Rehman, N., Andaleeb, H., & Ullah, N. (2020). Effect of solvent polarity on extraction yield and antioxidant properties of phytochemicals from bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 56, e17129. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902019000417129>
- Nazir, M., Tungmunnithum, D., Bose, S., Drouet, S., Garros, L., Giglioli-Guivarc'h, N., Abbasi, B.H., & Hano, C. (2019). Differential Production of Phenylpropanoid Metabolites in Callus Cultures of *Ocimum basilicum* L. With Distinct in Vitro Antioxidant Activities and in Vivo Protective Effects against UV stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(7), 1847–1859.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05647>
- Ngoh, Y.Y., & Gan, C.Y. (2016). Enzyme-assisted extraction and identification of antioxidative and α -amylase inhibitory peptides from Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* cv. Pinto). *Food Chemistry*, 190, 331-337.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.120>

- Niño-Medina, G., Muy-Rangel, D., Garza-Juárez, A.J., Vázquez-Rodríguez, J.A., Méndez-Zamora, G., & Urías-Orona, V. (2017). Composición nutricional, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de cascarilla de garbanzo (*Cicer arietinum*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(1), 68-73. Recuperado en 04 de diciembre de 2024, de <https://ve.scielo.org/pdf/alan/v67n1/art10.pdf>
- Pío-León, J.F., López-Angulo, G., Vega-Aviña, R., Montes-Ávila, J., Díaz-Camacho, S.P., & Delgado-Vargas, F. (2013). Caracterización fisicoquímica y nutricional de las semillas de *Ebenopsis caesalpinoides* (Standl.) Britton & Rose, planta nativa de Sinaloa, México, *CyTA-Journal of Food*, 11(2), 119-126. <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.702129>
- Ponce-Fernandez, N.E., Pollorarena-López, G., Rosas-Dominguez, C., López-Peñuelas, M., & Osuna-Izaguirre, C. (2019). Composición química, características funcionales y capacidad antioxidante de formulaciones de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Blanco Sinaloa 92. *Agrociencia*, 53(1), 35-44. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1749/1749>
- Quelal, M., Nazate, K., Villacrés, E., & Cuarán, J. (2020). Obtaining and Characterization of a Quinoa Protein Hydrolyzate (*Chenopodium quinoa* Willd). *Enfoque UTE*, 10(2), 79-89. <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262062007/html>
- Querio, G., Antoniotti, S., Foglietta, F., Berteà, C. M., Canaparo, R., Gallo, M. P., & Levi, R. (2018). Chamazulene Attenuates ROS Levels in Bovine Aortic Endothelial Cells Exposed to High Glucose Concentrations and Hydrogen Peroxide. *Frontiers in Physiology*, 9, 246. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00246>
- Quintero-Soto, M.F., Chávez-Ontiveros J., Garzón-Tiznado J.A., Salazar-Salas N.Y., Pineda-Hidalgo K.V., Delgado-Vargas F., & López-Valenzuela, J.A. (2021). Characterization of peptides with antioxidant activity and antidiabetic potential obtained from chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolyzates. *Journal of Food Science*, 86(7), 2962-2977. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15778>
- 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(9-10), 1231–1237.

[https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)

Rocchetti, G., Pérez-Gregorio, R., Lorenzo, J.M., Barba, F.J., García-Oliveira, P., Prieto, M.A., Simal-Gandara, J., Mosele, J.I., Motilva, M.J., Tomás, M., Patrone, V., Capanoglu, E., & Lucini, L. (2022). Functional implications of bound phenolic compounds and phenolics–food interaction: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 811–842. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12921>

Rochín-Medina, J.J., Mora-Rochín, S., Navarro-Cortez, R.O., Tovar-Jiménez, 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. <http://doi.org/10.15174/au.2021.3059>

Rodríguez-Concepción, M., Avalos, J., Bonet, M.L., Boronat, A., Gomez-Gomez, L., Hornero-Méndez, D., Limón, M.C., Meléndez-Martínez, A.J., Olmedilla-Alonso, B., Palou, A., Ribot, J., Rodrigo, M.J., Zacarias, L. & Zhu, C. (2018). A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Progress in Lipid Research*, 70, 62–93. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>

Ruiz-Armenta, X. A., Ruiz-Armenta, J. E., Espinoza-Moreno, R. J., Gutiérrez-Dorado, R., Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J. J., & Gómez-Favela, M. A. (2022). Use of sesame by-product and optimized extrusion to obtain a functional flour with improved techno-functional, nutritional and antioxidant properties. *Acta Universitaria* 32, e3494. doi. <http://doi.org/10.15174/au.2022.3494>

Salas, R., Ordoñez, E., & Reátegui, D. (2015). Polifenoles totales y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) en cuatro variedades de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) crudo seco, remojado y cocido. *Investigación y Amazonía*, 5 (1-2), 55-62. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/59/46>

Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2, 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>

- Sharma, K.R., & Giri, G. (2022). Quantification of Phenolic and Flavonoid Content, Antioxidant Activity, and Proximate Composition of Some Legume Seeds Grown in Nepal. *International Journal of Food Science*, 4629290, 8. <https://doi.org/10.1155/2022/4629290>
- Solomon, C.U., Arukewe, U.I., & Onuoha, I. (2013). Preliminary phytochemical screening of different solvent extracts of stem bark and roots of *Dennetia tripetala* G. Baker. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 3(3), 10-13. https://www.researchgate.net/publication/305113922_Preliminary_phytochemical_screening_of_different_solvent_extract_of_stems_bark_and_roots_of_Dennetia_tripetala
- Soto-Aguilar, B.F, Webar, J., & Palacios, I. (2022). Whole food plant-based diet: its mechanisms for the prevention and treatment of obesity. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 22(1), 162-170. <https://doi.org/10.25176/rfmh.v22i1.3616>
- Soto-Vásquez, M.R. (2015). Metabolitos secundarios, cuantificación de fenoles y flavonoides de extractos etanólicos de propóleos de tres localidades del Perú. *In Crescendo*, 6(2), 37-47. <https://psykebase.es/servlet/articulo?codigo=5294094>
- Stavrou, I.J., Christou, A., & Kapnissi-Christodoulou, C.P. (2018). Polyphenols in carobs: A review on their composition, antioxidant capacity and cytotoxic effects, and health impact. *Food Chemistry*, 269, 355–374. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.152>
- Szychowski, P.J., Lech, K., Sendra-Nadala, E., Hernández, F., Figiel, A., Wojdyło, A., & Carbonell-Barrachina, A.A. (2018). Kinetics, biocompounds, antioxidant activity, and sensory attributes of quinces as affected by drying method. *Food Chemistry*, 255, 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.075>
- Tosh, S.M., & Yada, S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43, 450–460. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.005>
- Tungmunnithum, D., Drouet, S., Lorenzo, J.M., & Hano, C. (2021). Characterization of Bioactive Phenolics and Antioxidant Capacity of Edible Bean Extracts of 50

- Fabaceae Populations Grown in Thailand. *Foods*, 10(12), 3118. <https://doi.org/10.3390/foods10123118>
- Valencia, D., Rueda-Puente, E.O., Leyva-Peralta, M.A., Mazón-López, S.R., & Ortega-García, J. (2020). Compuestos bioactivos, actividad antioxidante y perfil de ácidos grasos en aceite de semilla de Mezquite (*Prosopis* spp). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 70(1), 50-59. <https://doi.org/10.37527/2020.70.1.006>
- Veloz-García, R.A., Marín-Martínez, R., Veloz-Rodríguez, R., Muñoz-Sánchez, C.I., Guevara-Olvera, L., Miranda-López, R., González-Chavira, M.M., Torres-Pacheco, I., Guzmán-Maldonado, S.H., Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Guevara-González, R.G. (2004). Antimutagenic and antioxidant activities of cascabel (*Caesalpinia cacalaco*) phenolics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1632–1638. <http://doi.org/10.1002/jsfa.1852>
- Wang, R., Zhao, H., Pan, X., Orfila, C., Lu, W., & Ma, Y. (2019). Preparation of bioactive peptides with antidiabetic, antihypertensive, and antioxidant activities and identification of α -glucosidase inhibitory peptides from soy protein. *Food Science and Nutrition*, 7(5), 1848-1856. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1038>
- Yan, J., Zhao, J., Yang, R., & Zhao, W. (2019). Bioactive peptides with antidiabetic properties: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1909-1919. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14090>
- Yang, T. Li, C., Xue, W., Huang, L., & Wang, Z. (2021). Natural immunomodulating substances used for alleviating food allergy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(15), 2407-2425. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1975257>
- Zare, R., Nadjarzadeh, A., Zarshenas, M. M., Shams, M., & Heydari, M. (2019). Efficacy of cinnamon in patients with type II diabetes mellitus: A randomized controlled clinical trial. *Clinical Nutrition*, 38(2), 549–556. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.03.003>
- Zhao, D.D., Jiang, L.L., Li, H.Y., Yan, P.F., & Zhang, Y.L. (2016). Chemical components and pharmacological activities of terpene natural products from the genus *Paeonia*. *Molecules*, 21(19), 1362. <https://doi.org/10.3390/molecules21101362>