

Perfil Nutricional, Fenólico y Capacidad

2025 Antioxidante del Arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.

Jenny Kay Novella Erreguín



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales

Perfil Nutricional, Fenólico y Capacidad Antioxidante del Arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias de la Nutrición Humana

Presenta

Esp. Jenny Kay Novella Erreguín

Dirigido por

Dr. Jorge Luis Chávez Servín

Querétaro, Qro. a 4 de Septiembre del 2025

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ciencias Naturales  
Maestría en Nutrición Humana

Perfil nutrimental, fenólico y capacidad antioxidante del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias de la Nutrición Humana

#### **Presenta:**

Jenny Kay Novella Erreguín

#### **Dirigido por:**

Dr. Jorge Luis Chávez Servín

#### **Co-dirigido por:**

Dr. Ángel Félix Vargas Madriz

#### SINODALES

Dr. Jorge Luis Chávez Servín  
Presidente

Dr. Ángel Félix Vargas Madriz  
Codirector

Dr. Aarón Kuri García  
Vocal

Dr. Roberto Augusto Ferriz Martínez  
Suplente

Dr. Carlos Saldaña Gutiérrez  
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Septiembre 2025  
México

## RESUMEN

El género *Pithecellobium* presenta una amplia diversidad de especies, predominantemente tropicales. En la actualidad, este género ha adquirido relevancia en la nutrición humana debido a su uso tradicional como alimento en diversas regiones de México; sin embargo, su caracterización nutrimental y fitoquímica aún es limitada. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el perfil nutrimental, el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.

Se realizó un análisis químico proximal del arilo, así como extracciones hidroalcohólicas con metanol y etanol en proporciones 80:20 y 50:50 (v/v). Los extractos obtenidos se evaluaron mediante la cuantificación de fenoles totales, flavonoides totales y taninos condensados, así como la determinación de la capacidad antioxidante mediante los métodos DPPH, FRAP y ABTS.

Los resultados mostraron que el arilo de *P. lanceolatum* presentó una composición nutrimental caracterizada por un alto contenido de carbohidratos (84.73 %) y bajo contenido de lípidos (1.22 %). En cuanto a la composición fenólica, se observaron elevados valores de fenoles totales (5172.39 mg EAG/g EL), mientras que los taninos condensados oscilaron entre 8.79 y 12.29 mg EC/g EL. Respecto a la capacidad antioxidante, el ensayo FRAP registró los valores más altos, destacando el extracto metanólico al 50 % ( $10,019.22 \pm 928.65$   $\mu\text{mol ET/g}$  de extracto liofilizado), lo que sugiere una posible correlación con el contenido de fenoles totales.

En conjunto, los resultados indican que el arilo de *P. lanceolatum* constituye una fuente relevante de compuestos bioactivos con potencial para la reducción del estrés oxidativo.

**Palabras clave:** *Pithecellobium lanceolatum*, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, extracción hidroalcohólica, perfil nutrimental

## Summary

The genus *Pithecellobium* comprises a wide diversity of species, most of which are tropical. Currently, this genus has gained relevance in human nutrition due to its traditional use as food in certain regions of Mexico; however, it remains poorly characterized from a nutritional and phytochemical perspective. In this context, the present study aimed to determine the nutritional profile, phenolic compound content, and antioxidant capacity of the aril of *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.

A proximate chemical analysis of the aril was conducted, along with hydroalcoholic extractions using methanol and ethanol at 80:20 and 50:50 (v/v). The extracts were evaluated for total phenols, total flavonoids, and condensed tannins, as well as for antioxidant capacity using DPPH, FRAP, and ABTS assays.

The results showed that the aril of *P. lanceolatum* is characterized by a high carbohydrate content (84.73%) and low lipid content (1.22%). Regarding its phenolic composition, high values of total phenols were observed (5172.39 mg GAE/g EL), while condensed tannins ranged from 8.79 to 12.29 mg CE/g EL. In terms of antioxidant capacity, the FRAP assay exhibited the highest values, with the 50% methanolic extract standing out (10,019.22 ± 928.65 µmol TE/g of lyophilized extract), suggesting an association with total phenol content.

Overall, these findings indicate that the aril of *P. lanceolatum* is a relevant source of bioactive compounds with potential for reducing oxidative stress.

**Keywords:** *Pithecellobium lanceolatum*, phenolic compounds, antioxidant capacity, hydroalcoholic extraction, nutritional profile

## DEDICATORIAS

En primer lugar a mi mamá, Marta Florencia Erreguín Ledesma, por su invaluable apoyo económico y emocional durante todo mi proceso de formación. Su sacrificio y dedicación han sido fundamentales para la culminación de este proyecto. Su presencia marcó mi vida y este logro también es suyo.

No puedo dejar de mencionar a mis sobrinos, Camila y Paulo, cuya compañía ayudaron a relajarme en los días más difíciles. A mi padre y mi hermana por la paciencia y compañía, su aporte fue decisivo para el desarrollo de este trabajo y el logro de mis objetivos profesionales.

En un sentido muy especial, dedico un espacio de gratitud a Bombón, mi fiel compañera que, aunque ya no está físicamente, acompañó con amor y lealtad gran parte de este camino.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a la institución SECIHTI por otorgarme la beca mensual que, gracias a su generoso respaldo, me brindó la oportunidad de enfocarme de forma completa y dedicada a mi investigación universitaria. Su apoyo fue esencial para el progreso de mi labor y mi crecimiento profesional.

Además, manifiesto mi profundo agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro, especialmente a la Facultad de Ciencias Naturales, por proporcionarme recursos durante este proceso. Asimismo, quiero agradecer el respaldo y la cooperación de mis colegas del Laboratorio de Biología Celular, cuyo espíritu grupal y saber compartido enriquecieron de manera significativa mi vivencia.

También valoro las enseñanzas inesperadas que aparecieron en este trayecto, las que me inculcaron capacidad de resistencia frente a retos no previstos y capacidad de adaptación ante modificaciones bruscas en mi proyecto de investigación. Cada dificultad, a pesar de su complejidad, fortaleció mi resolución para continuar evolucionando como científica.

## ÍNDICE

Resumen .....	i
Dedicatorias .....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	v
Índice de tablas .....	vii
1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. ANTECEDENTES .....	9
2.1 Leguminosas .....	9
2.2 Capacidad antioxidante y compuestos fenólicos .....	10
2.3 Pithecellobium lanceolatum (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth. y especies relacionadas .....	12
2.4 Pithecellobium dulce.....	13
2.5 Pithecellobium Insigne.....	14
2.6 Pithecellobium Clypearia o Archidendron clypearia.....	15
2.7 Necesidad de caracterización nutrimental y fitoquímica .....	16
2.8 Uso de solventes hidroalcohólicos y su polaridad en la extracción de compuestos fenólicos.....	18
2.9 Factores de maduración, secado y almacenamiento que modulan el perfil fenólico y la capacidad antioxidante del arilo .....	19
3. JUSTIFICACIÓN .....	21
4. HIPÓTESIS .....	22
5. OBJETIVOS .....	22
5.1 Objetivo general .....	22
5.2 Objetivos específicos.....	22
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
6.1 Diseño de estudio .....	23
6.2 Material biológico.....	23
6.3 Análisis Químico Proximal .....	23
6.3.1 Determinación de humedad .....	23
6.3.2 Determinación de cenizas .....	24

6.3.3	Determinación de proteínas .....	24
6.4	Determinación del extracto etéreo .....	25
6.4.1	Determinación de fibra dietética total .....	26
6.5	Preparación de extractos .....	26
6.6	Cuantificación fenólica .....	27
6.6.1	Compuestos fenólicos totales .....	27
6.6.2	Flavonoides totales .....	28
6.6.3	Taninos condensados .....	28
6.7	Determinación de capacidad antioxidante .....	29
6.7.1	DPPH .....	29
6.7.2	TEAC (ABTS) .....	29
6.7.3	FRAP (reducción férrica) .....	30
7.	RESULTADOS .....	31
7.1	Perfil nutrimental del arilo de <i>P. lanceolatum</i> .....	31
7.2	Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante .....	32
8.	DISCUSIÓN .....	34
9.	CONCLUSIONES .....	38
10.	REFERENCIAS .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis químico proximal del arilo de <i>P. lanceolatum</i> .....	31
Tabla 2 Compuestos fenólicos totales, flavonoides, taninos condensados y capacidad antioxidante.....	33

## 1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos de origen vegetal, como las leguminosas, constituyen un grupo con alto valor nutrimental y funcional, debido a su contenido de macronutrientes, micronutrientes y compuestos bioactivos, particularmente compuestos fenólicos con actividad antioxidante (Mahore et al., 2026; Sainju, 2026). En la actualidad, el interés por el estudio de estas especies vegetales ha trascendido su papel tradicional como fuente de proteínas, ya que se ha demostrado que los compuestos bioactivos presentes en algunas leguminosas ejercen efectos positivos en la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo, tales como cáncer, diabetes e hipertensión, entre otros trastornos metabólicos (Chen et al., 2025; Hernández-Ruiz et al., 2025).

Diversas patologías actuales están estrechamente relacionadas con el estrés oxidativo, el cual se origina por un desequilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno y los sistemas antioxidantes endógenos del organismo (Hernández-Ruiz et al., 2025). En este contexto, los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas que desempeñan un papel fundamental en la respuesta al estrés biótico y abiótico. En el ámbito de la salud humana, numerosos estudios han documentado su capacidad para neutralizar radicales libres y modular vías celulares asociadas con la inflamación y el metabolismo (Xu et al., 2026).

El género *Pithecellobium*, perteneciente a la familia Fabaceae, agrupa diversas especies de importancia en los ámbitos ecológico y alimentario. Entre ellas, *Pithecellobium dulce* destaca como una de las especies más relevantes en México; su fruto, conocido como arilo, ha sido caracterizado por su alto contenido de carbohidratos, proteínas, lípidos, fibra, vitaminas y compuestos polifenólicos, así como por su notable capacidad antioxidante (Elhewehy et al., 2026; Pío-León et al., 2013). Por otro lado, la composición nutrimental y el perfil fenólico de otras especies del mismo género, como *Pithecellobium lanceolatum* (*P. lanceolatum*), han sido escasamente estudiados.

A pesar de que la distribución geográfica de *P. lanceolatum* es amplia en la República Mexicana, su uso como alimento y en la medicina tradicional es limitado en muchas regiones. Esta situación se debe, en gran medida, a la escasa información científica disponible, lo que contribuye a que esta especie vegetal sea subaprovechada por la población. Diversos estudios han demostrado que la composición de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante pueden variar en función de distintos factores, entre ellos el tipo de solvente empleado durante la extracción. Por ello, resulta necesario evaluar diferentes solventes en diversas proporciones hidroalcohólicas con el fin de obtener un perfil fenólico más integral y comparable (Apráez G. et al., 2017).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el perfil nutrimental, el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth., mediante la aplicación de distintas metodologías, con el propósito de generar conocimiento científico que contribuya a su potencial aprovechamiento en el ámbito de la nutrición humana.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Leguminosas**

Las leguminosas pertenecen a la familia Fabaceae (o Leguminosae), comúnmente reconocida como la familia de los guisantes, la cual agrupa a más de 19,000 especies distribuidas en diversas regiones del mundo. Tanto los humanos como los animales incluyen las leguminosas en su dieta debido a su aporte de proteínas de origen vegetal, carbohidratos de bajo índice glucémico, fibra dietética y minerales esenciales como hierro, calcio y zinc. Entre las especies de mayor consumo a nivel global se encuentran los frijoles (*Phaseolus vulgaris*), los guisantes (*Pisum sativum*), las habas (*Vicia faba*) y los garbanzos (*Cicer arietinum*), alimentos que forman parte de la dieta básica en numerosas culturas (FAO, 2021). Además de su valor proteico, las leguminosas son fuente importante de polifenoles dietarios con efectos bioactivos, que incluyen la modulación de la inflamación y la reducción del daño

oxidativo; por ello, su estudio integra aspectos de nutrición y salud pública con el desarrollo de ingredientes funcionales de origen vegetal (Dai & Mumper, 2010).

Los arilos de estas leguminosas se componen principalmente de hidratos de carbono de bajo índice glucémico, proteínas y minerales como hierro, calcio y zinc (Grdeń & Jakubczyk, 2023). Asimismo, en México se han investigado diversas especies de leguminosas, como *A. farnesiana*, *L. latisilicum*, *Leucaena leucocephala*, *Caesalpinia coriaria*, *Acacia cochliacantha*, *Lysiloma acapulcensis* y *Prosopis laevigata*, las cuales han mostrado un potencial antihelmíntico con resultados prometedores (Francisco-Martínez et al., 2023). Estas especies también presentan capacidad antioxidante atribuida a su contenido de compuestos fenólicos, entre los que destacan los taninos condensados, el ácido gálico, la miricitrina, flavonoides galoilados, isorhamnetina y derivados de cafeoil y cumaroilo (Olmedo-Juárez et al., 2022).

## **2.2 Capacidad antioxidante y compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de origen vegetal ampliamente distribuidos en frutas, verduras y semillas. En las plantas, estos compuestos cumplen funciones de defensa frente a factores bióticos y abióticos; en el organismo humano, son reconocidos por su capacidad para neutralizar especies reactivas de oxígeno (ERO) y modular procesos inflamatorios (Di Lorenzo et al., 2025).

Los antioxidantes son sustancias capaces de prevenir o retardar el daño celular y tisular ocasionado por las ERO, cuya sobreproducción conduce a un estado de estrés oxidativo caracterizado por un desequilibrio entre los oxidantes y los sistemas antioxidantes endógenos. Este proceso se ha asociado con el desarrollo de diversas enfermedades, incluyendo patologías cardiovasculares, cáncer, enfermedades respiratorias, inmunodeficiencias, accidentes cerebrovasculares, enfermedad de Parkinson y otros trastornos inflamatorios o isquémicos (Alsulami & Shaheed, 2024).

Los compuestos fenólicos se clasifican en diferentes grupos, entre los que destacan los flavonoides (como quercetina y antocianinas), los ácidos fenólicos (por ejemplo, ácido gálico), los estilbenos (como el resveratrol) y los lignanos, cada uno con mecanismos antioxidantes específicos (J. Liu et al., 2023). Su actividad antioxidante se ejerce principalmente a través de la donación de electrones, la quelación de metales prooxidantes ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) y la regulación de enzimas antioxidantes endógenas, tales como la superóxido dismutasa (SOD), la glutatión peroxidasa (GPx) y la catalasa (CAT) (Simao et al., 2024).

Diversas investigaciones han destacado la importancia de los polifenoles en la prevención de afecciones metabólicas, como la obesidad y la diabetes, al inhibir la adipogénesis patológica mediante la regulación de factores de transcripción como PPAR $\gamma$  y C/EBP $\alpha$ , así como por su capacidad para disminuir el estrés oxidativo en los tejidos. Por ejemplo, compuestos como el resveratrol y la epigallocatequina-3-galato (EGCG), presentes en el té verde, han demostrado reducir la acumulación de lípidos en adipocitos mediante la disminución de la expresión de enzimas lipogénicas y la modulación de vías proinflamatorias como NF- $\kappa$ B (Ohishi et al., 2016). Asimismo, patrones dietéticos como la dieta mediterránea, caracterizada por un alto consumo de alimentos de origen vegetal, se han asociado con una reducción de la inflamación y del estrés oxidativo, lo que resalta su relevancia en el ámbito nutracéutico (Mirabelli et al., 2020).

La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos se evalúa mediante técnicas de laboratorio *in vitro*, como ORAC (capacidad de absorción de radicales oxigenados), FRAP (poder reductor férrico) y DPPH (captación de radicales libres), las cuales permiten estimar su potencial antioxidante y su posible impacto en la salud (Nimse & Pal, 2015). En la interpretación de estos ensayos, se recomienda integrar múltiples métodos, ya que DPPH, ABTS, FRAP y ORAC responden a diferentes mecanismos de acción (transferencia de electrones, transferencia de hidrógeno y poder reductor), lo que proporciona una visión más completa del potencial antioxidante (Munteanu & Apetrei, 2021). Para fortalecer esta evaluación,

es pertinente complementar las métricas globales, como el contenido fenólico total (TPC) y el contenido de flavonoides totales (TFC), con análisis cromatográficos (UPLC/LC-MS) que permitan identificar familias fenólicas específicas y su relación con la bioactividad observada (Jiménez-Moreno et al., 2019).

En el caso específico del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth., la caracterización de su perfil fenólico y capacidad antioxidante podría tener aplicaciones potenciales en el ámbito terapéutico, de manera similar a lo reportado para especies como el tamarindo (*Tamarindus indica*) y la ciruela java (*Syzygium cumini*), cuyos extractos han mostrado actividad antioxidante y efectos antiobesogénicos (Kiranmai et al., 2021).

### **2.3 Pithecellobium lanceolatum (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth. y especies relacionadas**

*Pithecellobium* es un género de árboles y arbustos espinosos perteneciente a la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae, nativo de las regiones tropicales de América, desde México hasta el norte de Sudamérica. La especie más representativa es el guamúchil (*Pithecellobium dulce*), un árbol de rápido crecimiento y gran importancia cultural y ecológica. Se caracteriza por sus hojas bipinnadas y sus distintivas vainas retorcidas o enroscadas (cuyo nombre deriva del griego para “arete de mono”), las cuales contienen semillas negras cubiertas por un arilo dulce y comestible. Gracias a su capacidad para tolerar la sequía y fijar nitrógeno, constituye un recurso valioso en sistemas agroforestales; además, se utiliza tradicionalmente como forraje, madera, cerco vivo, fuente de taninos y en la medicina tradicional como astringente y antiinflamatorio (Yanes et al., s. f.).

*Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth. (*P. lanceolatum*) pertenece a este género y comparte características morfológicas generales, como hojas bipinnadas, presencia de espinas y producción de vainas con semillas envueltas en un arilo carnoso (Rojas Garcia et al., 2020).

En cuanto a su distribución, *P. lanceolatum* es una especie nativa de las regiones tropicales y subtropicales de América, con presencia desde el sur de los Estados Unidos hasta las Antillas. En México, se encuentra principalmente en los estados de Guerrero, Oaxaca y Quintana Roo, así como en la península de Yucatán, donde presenta una distribución más amplia. Además, esta especie ha sido documentada en suelos de baja fertilidad y es capaz de tolerar tanto condiciones de inundación como periodos prolongados de sequía, lo que evidencia su alta adaptabilidad a diversos entornos ambientales (Rojas Garcia et al., 2020).

*P. lanceolatum* es una especie arbórea que ha despertado interés por sus posibles propiedades antioxidantes, así como por su contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) y flavonoides totales (TFC). Los antioxidantes naturales y los compuestos fenólicos son de gran relevancia en las industrias alimentaria y farmacéutica debido a su capacidad para neutralizar radicales libres y contribuir a la prevención del estrés oxidativo en el organismo. En este sentido, el interés en *P. lanceolatum* se ha centrado en su potencial para actuar como fuente de compuestos bioactivos con actividad antioxidante. Estudios realizados en especies del mismo género han demostrado que sus extractos pueden inhibir procesos oxidativos, lo que refuerza su potencial como suplemento antioxidante (Dhanisha et al., 2021).

Además de sus posibles beneficios para la salud, *P. lanceolatum* desempeña un papel ecológico importante como especie restauradora de suelos y es ampliamente utilizada en sistemas agroforestales. Estas características la convierten en una especie valiosa para la conservación ambiental y la producción agrícola sostenible (Rojas Garcia et al., 2020).

#### **2.4 Pithecellobium dulce**

El género *Pithecellobium* (familia Leguminosae, subfamilia Mimosoideae) incluye diversas especies arbóreas nativas de las regiones tropicales de América, muchas de las cuales son valoradas por sus propiedades nutricionales y bioactivas. Entre ellas, *Pithecellobium dulce* (conocido como guamúchil) es la especie más estudiada, con distribución en México (Tamaulipas, San Luis Potosí y Jalisco) y en países

asiáticos como India (Á. F. Vargas-Madriz et al., 2020a). Su arilo, de sabor dulce y color blanco-rosado, se consume fresco o procesado en bebidas tradicionales, destacando por su alto contenido de carbohidratos, proteínas y minerales como hierro, potasio y zinc (Khanzada et al., 2013; Rao et al., 2018).

Además de su valor nutricional, diversos estudios han reportado que *P. dulce* contiene compuestos fenólicos, como ácido gálico, ácido elágico y flavonoides, asociados con actividad antioxidante, antiinflamatoria y antidiabética (Çelik et al., 2018; Megala & Geetha, 2010). Por ejemplo, extractos de su corteza y hojas han mostrado capacidad para neutralizar radicales libres (mediante ensayos DPPH y ABTS), así como efectos hepatoprotectores (Dnyaneshwar M Nagmoti et al., 2012; Rao et al., 2018). Estas propiedades han impulsado la exploración de otras especies del género, como *P. lanceolatum*, cuya composición y potencial bioactivo permanecen poco estudiados.

A diferencia de *P. dulce*, la información disponible sobre *P. lanceolatum* es limitada, particularmente en lo referente al perfil nutrimental y fenólico de su arilo. Investigaciones preliminares sugieren que las especies del género *Pithecellobium* podrían compartir características químicas similares; sin embargo, presentan variaciones en la concentración de metabolitos secundarios, influenciadas por factores genéticos y ambientales (Wall-Medrano et al., 2016).

## **2.5 Pithecellobium Insigne**

*Pithecellobium insigne* (familia Leguminosae, subfamilia Mimosoideae) es una especie arbórea cuyo principal aprovechamiento radica en el uso de su madera para construcción y leña en regiones del centro, norte y sur de México. Es conocida comúnmente como “palo de humo”, “palo blanco”, “guamúchil”, “espino blanco” o “huamúchil hogador”. Su tronco presenta un diámetro aproximado de 52 a 71 cm, y se utiliza también como cerca viva. El fruto se recolecta para su consumo entre los meses de marzo y julio, mientras que la floración ocurre principalmente en dos periodos: de marzo a julio y de noviembre a diciembre; sus espigas contienen entre 60 y 90 flores (García-Lara, 2015).

Más allá de sus usos tradicionales, investigaciones recientes han evidenciado el potencial agroindustrial y farmacéutico de esta especie, particularmente de su fruto. Estudios de caracterización fitoquímica han demostrado que el arilo liofilizado de *P. insigne* presenta un perfil fenólico destacado, siendo el etanol al 50% el solvente más eficaz para la extracción de estos compuestos bioactivos (Roiz, 2023). Asimismo, el fruto exhibe una capacidad antioxidante significativa, la cual varía en función del método analítico y del solvente empleado. Por ejemplo, el método FRAP reportó una capacidad 89 veces mayor en extractos metanólicos al 80%, mientras que en el ensayo DPPH el extracto etanólico al 50% fue 21 veces más efectivo que el metanólico al 80%. Por su parte, el método ABTS mostró el mayor rendimiento con etanol al 50%, sin diferencias significativas respecto a otros solventes (Roiz, 2023).

## **2.6 Pithecellobium Clypearia o Archidendron clypearia**

*Archidendron clypearia* (Jack) I.C. Nielsen es una especie arbórea perteneciente a la familia Fabaceae, ampliamente distribuida en las regiones tropicales y subtropicales del sudeste asiático. Esta especie destaca por sus diversos usos etnobotánicos, lo que la convierte en un objeto de interés en estudios fitoquímicos. Tradicionalmente, ha sido valorada por su madera, utilizada en la construcción ligera, así como por sus partes vegetativas; la corteza y las hojas se emplean en procesos de curtido, teñido de telas en tonos oscuros y en la medicina tradicional para el tratamiento de abscesos y afecciones cutáneas (Van Sam et al., 2004). Estudios científicos recientes han respaldado estos usos tradicionales, evidenciando que los extractos de la planta contienen una elevada concentración de compuestos bioactivos. En particular, se ha reportado la presencia de inhibidores de la xantina oxidasa, lo que sugiere un potencial terapéutico en el tratamiento de la hiperuricemia y la gota (Duong et al., 2017). Esta convergencia entre el conocimiento tradicional y la validación científica resalta la necesidad de profundizar en la caracterización de sus metabolitos secundarios y su posible aplicación en el ámbito farmacéutico.

## 2.7 Necesidad de caracterización nutrimental y fitoquímica

Los estudios del perfil nutrimental, fenólico y de la capacidad antioxidante permiten identificar alimentos con potencial funcional. En este sentido, el conocimiento etnomedicinal, que tradicionalmente se transmite de generación en generación, puede perderse si no se documenta de manera sistemática, lo que podría derivar en la desaparición del uso de diversas plantas medicinales en el futuro cercano (S. Liu et al., 2023).

En regiones megadiversas como México, diversos estudios en vegetales comestibles han evidenciado un alto contenido de compuestos fenólicos y una notable capacidad antioxidante, asociados con beneficios para la salud, como la reducción del estrés oxidativo y el desarrollo de productos funcionales. Investigaciones sobre plantas y flores silvestres comestibles en México han documentado perfiles de compuestos bioactivos (fenoles totales y flavonoides) y actividades antioxidantes (DPPH, ABTS, FRAP y ORAC); sin embargo, señalan que la evidencia se encuentra fragmentada en función de la especie, el órgano vegetal y la técnica analítica utilizada, lo que limita su comparación y aplicación. Por ello, es necesario realizar caracterizaciones integrales y estandarizadas que incluyan análisis proximal, cuantificación de compuestos fenólicos y evaluación de la capacidad antioxidante mediante múltiples ensayos (Pinedo-Espinoza et al., 2020).

En el caso de *Pithecellobium dulce*, se ha avanzado en la caracterización del arilo como una fuente con elevada capacidad antioxidante y potencial bioactivo, con efectos biológicos relevantes, como actividad antihiper glucémica *in vitro* y efectos sobre líneas celulares. No obstante, estas propiedades no pueden extrapolarse directamente a *P. lanceolatum*, debido a posibles diferencias interespecíficas en el metaboloma y en la distribución tisular de los compuestos. Esto resalta la necesidad de realizar estudios específicos que consideren la especie, el órgano vegetal y el estado de maduración (Leyva-López et al., 2025; Á. F. Vargas-Madriz et al., 2020a, 2025).

Desde el punto de vista metodológico, la elección del solvente y de las condiciones de extracción (proporción hidroalcohólica, temperatura y relación muestra/solvente) es un factor determinante, ya que el rendimiento de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante dependen directamente de estos parámetros (Jiménez-Moreno et al., 2019b). Diversos estudios han demostrado que las mezclas hidroalcohólicas intermedias (por ejemplo, 50–80% de etanol o metanol) maximizan la recuperación de polifenoles y modifican de manera significativa los resultados obtenidos en ensayos como DPPH, ABTS y FRAP, por lo que su selección responde a condiciones experimentales óptimas y reproducibles (El Mannoubi, 2023; Thouri et al., 2017).

Asimismo, para avanzar más allá de los resultados globales obtenidos mediante técnicas colorimétricas, es fundamental incorporar métodos cromatográficos y espectrométricos (UPLC/LC-MS, DAD, HRMS/MS), los cuales permiten obtener un perfil fenólico detallado y comparable entre especies, lotes y condiciones de procesamiento, como el secado, la molienda o el almacenamiento (López-Fernández et al., 2020; Urbstaite et al., 2022). La literatura indica que técnicas como LC-MS/MS y plataformas UHPLC de alta resolución ofrecen la cobertura y sensibilidad necesarias para la identificación y cuantificación precisa de polifenoles, lo que facilita comparaciones interespecíficas y el diseño racional de extractos con actividad biológica reproducible (González-Domínguez et al., 2022).

Adicionalmente, existe un componente socioecológico relevante, ya que el conocimiento tradicional asociado al uso, preparación y recolección de especies comestibles incorpora criterios empíricos que pueden influir en el contenido de compuestos fenólicos, como el grado de maduración, las condiciones de postcosecha y los procesos de deshidratación, entre otros factores (López-Fernández et al., 2020).

El registro y la validación científica de este conocimiento no solo contribuyen a su preservación, sino que también abren oportunidades para su integración en sistemas alimentarios contemporáneos. Esto puede impulsar la innovación

gastronómica, la valorización de cadenas productivas locales y sostenibles, así como el desarrollo de estrategias de salud preventiva basadas en alimentos. En este sentido, la caracterización del arilo de *P. lanceolatum* mediante protocolos robustos (análisis químico proximal, cuantificación de taninos, ensayos DPPH, ABTS y FRAP, así como técnicas UPLC-DAD/LC-MS) no solo contribuye a cubrir vacíos en la literatura científica, sino que también genera evidencia con potencial aplicación en el desarrollo de nutraceuticos y en la diversificación de la dieta, tanto en contextos rurales como urbanos (Gowe Kuyu & Yirga Bereka, 2019).

## **2.8 Uso de solventes hidroalcohólicos y su polaridad en la extracción de compuestos fenólicos**

La polaridad del solvente es un factor determinante en la solubilidad, el rendimiento y la selectividad con que se recuperan los polifenoles a partir de matrices vegetales (Dai & Mumper, 2010b). Las mezclas hidroalcohólicas han demostrado ser más eficientes que los solventes puros, ya que el agua favorece la hidratación y expansión de la pared celular, facilitando la liberación de compuestos fenólicos mediante la ruptura de interacciones con polisacáridos y proteínas; por su parte, el alcohol mejora la solubilización de compuestos menos polares. Por ello, proporciones intermedias, como 50% y 80%, optimizan la extracción al ajustarse a las características fisicoquímicas de los compuestos de interés (Rojas et al., 2024).

En el presente estudio se compararon extractos hidroalcohólicos de etanol al 50% y 80% (EtOH 50/80%) y de metanol al 50% y 80% (MeOH 50/80%), con el objetivo de evaluar el efecto de la polaridad en la extracción de fenoles totales y flavonoides, así como su influencia en la capacidad antioxidante medida mediante los ensayos DPPH, ABTS y FRAP (Baron et al., 2021). Las variaciones en la fracción alcohólica, junto con la temperatura y la relación muestra/solvente, pueden modificar significativamente el contenido fenólico total, el contenido de flavonoides y la capacidad antioxidante, lo que justifica la comparación entre EtOH 50/80% y MeOH 50/80% bajo condiciones de extracción estrictamente controladas para aislar el efecto de la polaridad (Kaczorová et al., 2021).

El uso de solventes mixtos agua-alcohol incrementa la accesibilidad a los compuestos fenólicos al favorecer la interacción entre la matriz vegetal y los solutos; además, el alcohol reduce la actividad del agua y modula la selectividad hacia determinadas familias fenólicas (Dai & Mumper, 2010). En términos generales, mezclas más polares (~50%) favorecen la extracción de ácidos fenólicos y flavonoides glicosilados, mientras que proporciones con mayor contenido alcohólico (~80%) tienden a enriquecer agliconas y compuestos con menor grado de hidroxilación. Este comportamiento es dependiente de la matriz vegetal, por lo que requiere protocolos estandarizados y el reporte de resultados en base seca y en función del rendimiento del extracto (Khoddami et al., 2013).

## **2.9 Factores de maduración, secado y almacenamiento que modulan el perfil fenólico y la capacidad antioxidante del arilo**

El estado de madurez influye directamente en la cantidad y el tipo de compuestos fenólicos presentes en frutos y arilos. Los fenoles monoméricos suelen alcanzar su máxima concentración en etapas tempranas de desarrollo y disminuyen conforme avanza la maduración, lo que se refleja en una reducción de la capacidad antioxidante medida mediante ensayos como DPPH y FRAP (Cui et al., 2024). Este comportamiento ha sido documentado en diversos frutos, evidenciando cambios significativos en la capacidad antioxidante, así como en el contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) y flavonoides totales (TFC), lo que resalta la importancia de definir con precisión el estado de madurez durante el muestreo (Zhang et al., 2022).

Los procesos de secado también afectan la estabilidad y la extracción de los polifenoles. Métodos como la liofilización, el secado al vacío o el secado en horno (a diferentes temperaturas) pueden transformar, preservar o degradar distintas subclases fenólicas, como antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos, modificando los resultados obtenidos en ensayos como DPPH, ABTS y FRAP (Tan et al., 2019). La evidencia comparativa indica que el tipo de secado influye significativamente en el TPC, TFC y la bioactividad; en general, la liofilización favorece una mejor conservación frente a tratamientos térmicos intensos. No obstante, en algunos

casos, el tratamiento térmico puede promover la formación de derivados que facilitan la liberación de compuestos fenólicos ligados a la matriz (Babaei Rad et al., 2025). Por ello, es fundamental reportar y estandarizar las condiciones de secado, incluyendo tiempo, temperatura y humedad, para interpretar adecuadamente los resultados y permitir comparaciones confiables (Abuhabib et al., 2025).

Desde una perspectiva metodológica, es necesario considerar que un mismo material puede presentar variaciones en TPC, TFC y capacidad antioxidante en función de los tratamientos aplicados, lo que subraya la importancia de evaluar estos factores de manera integral (Toydemir et al., 2022). En este sentido, resulta necesario trascender las técnicas globales (TPC, TFC, DPPH, ABTS y FRAP) e incorporar enfoques analíticos que permitan interpretar los cambios asociados a la maduración, el secado y el almacenamiento. La inclusión de técnicas cromatográficas y espectrométricas, como UHPLC/LC-MS/MS, posibilita la identificación detallada de compuestos fenólicos y sus transformaciones, incluyendo procesos de degradación, isomerización y formación de derivados. Asimismo, estos enfoques permiten comparaciones interlote e interespecíficas con mayor resolución analítica (D'Urso et al., 2025).

### 3. JUSTIFICACIÓN

A pesar del creciente interés en el estudio de las propiedades bioactivas de diversas especies del género *Pithecellobium*, actualmente existe información limitada sobre la capacidad antioxidante del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth. Aunque otras especies del mismo género han demostrado importantes propiedades antioxidantes asociadas a su contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, *P. lanceolatum* no ha sido suficientemente caracterizada en este contexto. Por ello, resulta fundamental desarrollar estudios que permitan evaluar y describir su potencial antioxidante, lo que podría ampliar sus posibilidades de aplicación en las industrias alimentaria y farmacéutica, además de contribuir al conocimiento científico de esta especie nativa de México.

En este sentido, se plantea generar un perfil nutrimental del arilo, así como un perfil fenólico integral con resolución estructural, que permita evaluar de manera comparativa el efecto de la polaridad del solvente sobre el rendimiento de extracción y la bioactividad de los compuestos.

El presente estudio tiene como propósito caracterizar la capacidad antioxidante, el perfil fenólico y la composición química proximal del arilo de *P. lanceolatum*. Investigaciones previas han identificado en *Pithecellobium dulce* diversos compuestos bioactivos, incluidos fenoles, taninos y terpenoides, los cuales confieren propiedades antioxidantes relevantes. Estas propiedades han sido asociadas con la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, lo que refuerza la pertinencia de explorar especies afines con potencial bioactivo aún no plenamente estudiado.

#### **4. HIPÓTESIS**

Existen diferencias significativas en el contenido de compuestos fenólicos y en la capacidad antioxidante del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* entre los distintos extractos hidroalcohólicos evaluados.

#### **5. OBJETIVOS**

##### **5.1 Objetivo general**

Determinar el perfil nutrimental, el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.

##### **5.2 Objetivos específicos**

- Realizar un análisis químico proximal para determinar el contenido de humedad, cenizas, proteínas, lípidos y carbohidratos.
- Determinar el contenido de compuestos fenólicos en extractos hidroalcohólicos de metanol al 50% y 80%, y de etanol al 50% y 80%.
- Evaluar la capacidad antioxidante del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* mediante los métodos DPPH, ABTS y FRAP en los diferentes extractos hidroalcohólicos.
- Comparar los resultados del perfil fenólico entre los distintos extractos evaluados.
- Comparar la capacidad antioxidante entre los diferentes extractos hidroalcohólicos.
- Caracterizar el perfil fenólico mediante cromatografía de líquidos de ultra alta resolución (UPLC) acoplada a detector de arreglo de diodos (DAD) y espectrometría de masas (MS).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Diseño de estudio

Se realizó un estudio comparativo en el que se evaluaron y caracterizaron los compuestos fenólicos del arilo de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth. Las muestras fueron sometidas a procesos de secado mediante horno y liofilización, y posteriormente a extracción con diferentes solventes hidroalcohólicos. La preparación de los extractos se llevó a cabo utilizando mezclas de metanol/agua y etanol/agua en proporciones 80:20 y 50:50 (v/v).

### 6.2 Material biológico

Los arilos de *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth. fueron proporcionados por el Laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). La muestra procedía de la localidad El Aguacate, en Cadereyta de Montes, Querétaro, y se mantuvo almacenada a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su procesamiento.

Posteriormente, se separó el arilo de la cáscara y la semilla. El material se sometió a secado en una estufa con ventilación forzada (Shel Lab Fx 1375, USA) a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar peso constante (aproximadamente 70 h). Una vez seco, el arilo se molió en un molino (Thomas Wiley Model 4 Scientific, USA) y se tamizó mediante una criba de 0.5 mm de diámetro. La muestra pulverizada se almacenó en bolsas herméticas y se conservó en un ultracongelador (REVCO Last II, USA) a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

### 6.3 Análisis Químico Proximal

#### 6.3.1 Determinación de humedad

La determinación de humedad se realizó de acuerdo con la metodología de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2000). Para ello, se secó una cápsula de porcelana con tapa en una estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 h. Posteriormente, se transfirió a un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y se pesó en una balanza analítica (Precisa Instruments Ltd., modelo XT 120A, Suiza). Se colocaron 0.5 g de muestra seca en la cápsula, distribuyéndola uniformemente, y se introdujo

nuevamente en la estufa a 105 °C durante 24 h. Tras este periodo, la cápsula con la muestra se trasladó al desecador hasta su enfriamiento y se pesó nuevamente. El porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = (w_2 - w_1) / w_1 * 100$$

donde:

w1 = peso de la muestra antes del secado (g)

w2 = peso de la muestra seca (g)

### 6.3.2 Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se realizó siguiendo la metodología de la AOAC (2000). Se colocó un crisol en una mufla a 550 °C durante 8 h para eliminar impurezas. Posteriormente, se enfrió en un desecador durante 1 h y se pesó en una balanza analítica (Precisa Instruments Ltd., modelo XT 120A, Suiza).

Se añadieron 0.5 g de muestra al crisol, el cual se introdujo en la mufla (Felisa, modelo FE-340, México) a 550 °C durante 24 h. Finalizado el proceso, el crisol se enfrió en un desecador y se pesó nuevamente. El porcentaje de cenizas se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Cenizas} = (\text{peso de cenizas}) / (\text{peso de la muestra}) \times 100$$

### 6.3.3 Determinación de proteínas

El contenido de proteínas se determinó mediante el método Kjeldahl, realizando el análisis por triplicado. Se pesaron 0.5 g de muestra, los cuales se colocaron en tubos de digestión, y se adicionó el catalizador Kjeldahl junto con 15 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se preparó un blanco con todos los reactivos, sin muestra.

Los tubos se colocaron en un digestor Kjeldahl (Foss, modelo KT 200 Kjeltex™, Dinamarca) y se sometieron a digestión a 420 °C durante 1.5 h. Posteriormente, se dejaron enfriar y se añadieron 80 mL de agua destilada antes de su colocación en el sistema de destilación. Durante este proceso, se adicionaron 60 mL de NaOH al

40% y se calentó durante 5 min para destilar el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), el cual fue capturado en un matraz Erlenmeyer con 35 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  al 4%. Finalmente, la solución fue titulada con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

El contenido de proteína total se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Proteína (\%)}: (A-B) \times N \times 14.007 \times 6.25$$

donde:

A=volumen gastado de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en la muestra (mL)

B=volumen gastado de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en el blanco (mL)

N=normalidad de  $\text{H}_2\text{SO}_4$

14.007=peso atómico del nitrógeno

6.25=factor de conversión de nitrógeno en proteína

#### **6.4 Determinación del extracto etéreo**

La determinación del extracto etéreo se realizó mediante el método Soxhlet, en triplicado. Se pesaron 0.5 g de muestra de arilo seco en papel filtro No. 4 y se colocaron en dedales de celulosa. Previamente, se pesaron los matraces de extracción (tazas) destinados a la recolección de los lípidos, a los cuales se añadieron 75 mL de hexano como solvente de extracción. Las muestras contenidas en los dedales y los matraces se colocaron en el equipo Soxhlet, y la extracción de lípidos se llevó a cabo a 140 °C durante 75 min. Finalizado este proceso, los matraces con los lípidos extraídos se colocaron en una estufa a 50 °C durante 30 min para eliminar el solvente residual. Posteriormente, se enfriaron en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y se pesaron.

El porcentaje de grasa se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Grasa (\%)} = ((\text{taza} + \text{grasa}) - (\text{taza vacía})) / (\text{peso de la muestra}) \times 100$$

#### 6.4.1 Determinación de fibra dietética total

La cuantificación de fibra dietética total se realizó mediante el método gravimétrico recomendado por la AOAC (2000), siguiendo un protocolo por triplicado para garantizar la precisión de los resultados. Inicialmente, se pesó 1 g de muestra y se introdujo en bolsas filtrantes (Filter bags F57, Ankom), las cuales se sellaron herméticamente. Se incluyó una bolsa en blanco como control de interferencias. Las muestras se colocaron en las charolas del equipo Ankom 200 Fiber Analyzer. Posteriormente, se añadieron 2 L de  $H_2SO_4$  0.255 M hasta cubrir completamente las charolas, manteniendo una temperatura de 100 °C durante 45 min bajo agitación constante, con el fin de hidrolizar los componentes no fibrosos, como almidones y proteínas. A continuación, se eliminaron los residuos ácidos mediante dos lavados con agua destilada a 100 °C. Para la solubilización de fracciones remanentes, como lignina y ciertos polisacáridos, se añadieron 2 L de NaOH 0.313 M a 100 °C durante 45 min. Posteriormente, se realizaron tres enjuagues consecutivos con agua destilada a la misma temperatura (5 min cada uno) para neutralizar el medio y eliminar residuos de reactivos.

Finalmente, las bolsas se retiraron del sistema, se secaron a temperatura ambiente y se colocaron en un desecador hasta alcanzar peso constante. El porcentaje de fibra dietética total se determinó mediante la diferencia de peso antes y después del tratamiento, corrigiendo con los valores obtenidos en el blanco.

#### **6.5 Preparación de extractos**

Para la extracción de los compuestos de interés, se emplearon mezclas hidroalcohólicas de metanol/agua y etanol/agua en proporciones 80:20 y 50:50 (v/v). La extracción se realizó utilizando una relación muestra/solvente de 1:10 (p/v). Para ello, se pesaron 5 g de muestra seca en polvo y se adicionaron 500 mL de cada mezcla de solvente (metanol/agua 80:20 y 50:50; etanol/agua 80:20 y 50:50) en matraces Erlenmeyer previamente cubiertos con papel aluminio para evitar la exposición a la luz. Cada extracción se realizó por triplicado. Las mezclas se mantuvieron en agitación constante durante 16 h mediante un agitador magnético.

Posteriormente, los extractos fueron filtrados utilizando papel filtro Whatman No. 1. Los filtrados obtenidos se concentraron a sequedad mediante un rotavapor (Rotavapor Büchi R-200) a 40 °C bajo presión reducida (160 mmHg), durante aproximadamente 5 h. Los extractos concentrados se sometieron a liofilización (Scientz-N Series Freeze Dryer, Ningbo Scientz Biotechnology Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, China) a -55 °C y 1 Pa de presión. Finalmente, los extractos liofilizados se almacenaron en tubos protegidos de la luz a -80 °C hasta su posterior análisis.

## **6.6 Cuantificación fenólica**

### **6.6.1 Compuestos fenólicos totales**

La determinación de compuestos fenólicos totales se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu (FC). Este método, desarrollado originalmente en 1927 y posteriormente optimizado por Singleton y Rossi (1965), se basa en la reacción del reactivo de Folin-Ciocalteu —compuesto por una mezcla de ácido fosfotúngstico ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) y ácido fosfomolibdico ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ )— con compuestos fenólicos en medio alcalino. Durante esta reacción, los fenoles se oxidan y el reactivo se reduce, generando una transferencia de electrones que produce una coloración azul, cuya intensidad es proporcional a la concentración de compuestos fenólicos presentes en la muestra. La absorbancia máxima de este complejo se registra a 760 nm (Valenzuela, 2015).

Para la cuantificación, se elaboró una curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar en concentraciones de 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10 y 12  $\mu\text{g/mL}$ . Se tomó una alícuota de 12.5  $\mu\text{L}$  del extracto, la cual se llevó a un volumen total de 50  $\mu\text{L}$  con agua destilada. Posteriormente, se añadieron 32  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin-Ciocalteu (1 N) y 156  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20%. La mezcla se incubó en ausencia de luz durante 2 h a temperatura ambiente. Se preparó un blanco control que contenía todos los reactivos, sustituyendo la muestra por agua destilada. Transcurrido el tiempo de incubación, la absorbancia se midió a 750 nm mediante un espectrofotómetro. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se

expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico por 100 g de extracto liofilizado (mg EAG/100 g EL).

#### 6.6.2 Flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales se realizó mediante el método colorimétrico con cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ), el cual forma complejos estables con los flavonoides a través de interacciones con el grupo ceto en C-4 y los grupos hidroxilo en C-3 y C-5 de las flavonas (Valenzuela, 2015).

Para la cuantificación, se elaboró una curva de calibración utilizando catequina como estándar en concentraciones de 100, 200, 300, 500, 700, 900 y 1000  $\mu\text{g/mL}$ . Se tomó una alícuota de 31.25  $\mu\text{L}$  del extracto y se adicionaron 156  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Posteriormente, se añadieron 9.4  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaNO}_2$  al 5% y se dejó reposar durante 6 min. A continuación, se incorporó  $\text{AlCl}_3$  al 10% y se dejó reposar por 5 min. Finalmente, se agregaron 63  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaOH}$  (1 M) y 35  $\mu\text{L}$  de agua destilada.

Se preparó un blanco control que contenía todos los reactivos, sustituyendo el extracto por agua destilada. La absorbancia de las muestras y de la curva de calibración se midió a 510 nm. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de (+)-catequina por 100 g de extracto liofilizado (mg EC/100 g EL).

#### 6.6.3 Taninos condensados

La determinación de taninos condensados se llevó a cabo mediante el método de vainillina, propuesto por Deshpande y Cheryan (1987). Este método se basa en la reacción de la vainillina con las proantocianidinas (taninos condensados) en medio ácido, donde la vainillina actúa como un electrófilo que reacciona con el anillo flavonoide, generando un complejo coloreado (Hontangas, 2020).

Para la cuantificación, se preparó una curva de calibración utilizando catequina como estándar en concentraciones de 0.02, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14, 0.16, 0.18 y 0.20  $\mu\text{g/mL}$ . Se tomó una alícuota de 40  $\mu\text{L}$  del extracto y se adicionaron 200  $\mu\text{L}$  de la solución de vainillina al 1% preparada en HCl al 8%.

Tanto las muestras como la curva de calibración se incubaron y posteriormente se midió la absorbancia a 492 nm. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de (+)-catequina por 100 g de extracto liofilizado (mg EC/100 g EL).

## **6.7 Determinación de capacidad antioxidante**

### **6.7.1 DPPH**

La capacidad antioxidante mediante el método DPPH se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Brand-Williams et al. (1995). Para ello, se preparó una solución de DPPH disolviendo 0.0015 g del reactivo en 25 mL de metanol. Se preparó un control utilizando 20  $\mu$ L de metanol y 200  $\mu$ L de la solución de DPPH. El blanco consistió en una mezcla de 20  $\mu$ L de metanol, 200  $\mu$ L de agua destilada y 20  $\mu$ L de muestra. Las muestras se prepararon añadiendo 20  $\mu$ L del extracto a 200  $\mu$ L de la solución de DPPH. Posteriormente, las mezclas se incubaron en ausencia de luz a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a la longitud de onda correspondiente.

### **6.7.2 TEAC (ABTS)**

La capacidad antioxidante mediante el método TEAC se evaluó siguiendo la metodología descrita por Miller et al. (1996). Para la generación del radical ABTS<sup>•+</sup>, se disolvieron 0.0038 g de ABTS (7 mM) en 1 mL de persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ). La solución se mantuvo en refrigeración, en ausencia de luz, durante 12 h antes de su uso. Posteriormente, se diluyó con metanol al 80% hasta obtener una absorbancia de  $0.70 \pm 0.02$  a 734 nm. Para el análisis, se colocaron 0.99 mL de la solución de ABTS diluida en un tubo Eppendorf y se adicionaron 0.01 mL de muestra. La mezcla se agitó y, después de 6 min de reacción, se midió la absorbancia a 734 nm. Se incluyeron blanco y control en cada corrida analítica. Los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por gramo de extracto liofilizado ( $\mu$ mol ET/g EL).

### 6.7.3 FRAP (reducción férrica)

La capacidad antioxidante mediante el método FRAP se determinó de acuerdo con Benzie y Strain (1996). Para la preparación del reactivo, se elaboró un buffer de acetato disolviendo 1.55 g de acetato de sodio en 50 mL de agua destilada, al cual se añadieron 8 mL de ácido acético para ajustar el pH a 3.6. El cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) se preparó disolviendo 0.176 g en 20 mL de agua destilada. Para la preparación del reactivo TPTZ, se mezclaron 50 mL de agua destilada con 330  $\mu\text{L}$  de ácido clorhídrico, y posteriormente se tomaron 50 mL de esta solución para disolver el 2,4,6-tri(2-piridil)-1,3,5-triazina (TPTZ). El reactivo FRAP se preparó en una proporción 10:1:1 (buffer de acetato:TPTZ: $\text{FeCl}_3$ ). Para el análisis, se pesaron 100 mg de muestra en tubos Falcon, se adicionaron 5 mL de agua destilada y se incubaron en baño maría a 60 °C durante 30 min. Posteriormente, se añadieron 20 mL adicionales de agua destilada y se homogenizó la mezcla mediante vortex. El control se preparó con 20  $\mu\text{L}$  de metanol y 200  $\mu\text{L}$  del reactivo FRAP; el blanco consistió en 20  $\mu\text{L}$  de metanol y 200  $\mu\text{L}$  de agua destilada. Para la muestra, se mezclaron 20  $\mu\text{L}$  del extracto con 200  $\mu\text{L}$  del reactivo FRAP. Las mezclas se incubaron durante 30 min en ausencia de luz a temperatura ambiente. Finalmente, la absorbancia se midió a 593 nm. Los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por gramo de extracto liofilizado ( $\mu\text{mol ET/g EL}$ ).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Perfil nutrimental del arilo de *P. lanceolatum*

La composición químico-proximal del arilo de *P. lanceolatum* se presenta en la Tabla 1. Los resultados indican que el arilo se caracteriza por un alto contenido de carbohidratos (84.73%), seguido de proteínas (7.84%), fibra cruda (3.71%), cenizas (2.48%) y un bajo contenido de lípidos (1.22%).

La fracción de cenizas refleja el contenido mineral del arilo, mientras que el bajo porcentaje de lípidos indica una reducida presencia de grasa vegetal. Por su parte, el contenido de fibra está asociado principalmente a la presencia de polisacáridos estructurales, y el contenido de proteínas sugiere un aporte moderado de nitrógeno orgánico.

En conjunto, la composición nutrimental del arilo de *P. lanceolatum* evidencia una matriz predominantemente energética, caracterizada por un alto contenido de carbohidratos y bajas proporciones de lípidos, con aportes moderados de proteína, fibra y minerales.

Tabla 1. Análisis químico proximal del arilo de *P. lanceolatum*

Componente (%)	<i>P. lanceolatum</i>
Materia Seca	79.21
Cenizas	2.48
Proteína	7.84
Lípidos	1.22
Fibra Cruda	3.71
Hidratos de carbono*	84.73*

\*Hidratos de carbono por diferencia:  $100 - (\% \text{ proteína} + \% \text{ lípidos} + \% \text{ fibra} + \% \text{ cenizas})$

## 7.2 Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Los resultados de la cuantificación colorimétrica se presentan en la Tabla 2. El contenido de compuestos fenólicos totales (TPC) del arilo de *P. lanceolatum* mostró diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en función del solvente y su proporción. La extracción con metanol/agua al 50% (M/A 50%) presentó el mayor contenido de fenoles totales ( $5172.39 \pm 414.73$  mg EAG/g EL), seguida de M/A 80% ( $2373.73 \pm 186.60$  mg EAG/g EL). En contraste, las extracciones con etanol/agua (E/A) mostraron valores inferiores, siendo E/A 80% la de menor contenido ( $959.21 \pm 99.77$  mg EAG/g EL).

En cuanto al contenido de flavonoides totales (TFC), se observó un comportamiento opuesto al de los fenoles totales. Las extracciones con etanol presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), siendo E/A 80% la que mostró el mayor contenido ( $0.68 \pm 0.08$  mg EC/g EL), seguida de E/A 50% ( $0.64 \pm 0.06$  mg EC/g EL). Por su parte, los extractos metanólicos (M/A 50% y 80%) presentaron menores concentraciones de flavonoides, sin diferencias significativas entre ellos.

Respecto a los taninos condensados, se observaron diferencias significativas entre los extractos ( $p < 0.05$ ). Las extracciones con M/A 80% y E/A 80% presentaron los valores más altos ( $12.18 \pm 0.54$  y  $12.29 \pm 1.90$  mg EC/g EL, respectivamente), sin diferencias significativas entre sí. En contraste, las extracciones al 50% (M/A y E/A) mostraron menores concentraciones ( $8.79 \pm 0.52$  y  $8.85 \pm 0.95$  mg EC/g EL, respectivamente).

La capacidad antioxidante del arilo de *P. lanceolatum*, evaluada mediante los ensayos DPPH, FRAP y ABTS, también se presenta en la Tabla 2. En el ensayo DPPH, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los extractos ( $p > 0.05$ ). Las extracciones M/A 80%, M/A 50% y E/A 80% mostraron valores similares ( $38747.66 \pm 31.62$ ,  $38612.20 \pm 87.83$  y  $38671.96 \pm 67.08$   $\mu\text{mol ET/g EL}$ , respectivamente), mientras que E/A 50% presentó la menor actividad antioxidante ( $29387.07 \pm 7173.77$   $\mu\text{mol ET/g EL}$ ).

En el ensayo FRAP, se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). El extracto M/A 50% presentó la mayor capacidad reductora ( $10019.22 \pm 928.65 \mu\text{mol ET/g EL}$ ), seguido de E/A 50% ( $8767.84 \pm 381.20 \mu\text{mol ET/g EL}$ ) y E/A 80% ( $8205.46 \pm 340.86 \mu\text{mol ET/g EL}$ ). El extracto M/A 80% mostró la menor capacidad reductora ( $7590.32 \pm 703.52 \mu\text{mol ET/g EL}$ ).

Por su parte, los resultados del ensayo ABTS mostraron valores elevados en todos los extractos, sin diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ), con una capacidad antioxidante que osciló entre 33,300 y 33,600  $\mu\text{mol ET/g EL}$  como se muestra en la Tabla 2.

*Tabla 2 Compuestos fenólicos totales, flavonoides, taninos condensados y capacidad antioxidante*

Extractos	Fenoles Totales (mg EAG/ g EL)	Flavonoides Totales (mg EC/g EL)	Taninos Condensados (mg EC/g EL)
M/A 80% v/v	$2373.73 \pm 186.60^a$	$0.56 \pm 0.07^a$	$12.18 \pm 0.54^a$
M/A 50% v/v	$5172.39 \pm 414.73^b$	$0.53 \pm 0.07^a$	$8.85 \pm 0.95^b$
E/A 80% v/v	$959.21 \pm 99.77^c$	$0.68 \pm 0.08^b$	$12.29 \pm 1.90^{ac}$
E/A 50% v/v	$1377.95 \pm 124.30^d$	$0.64 \pm 0.06^b$	$8.79 \pm 0.52^{bd}$
Capacidad antioxidante			
	DPPH ( $\mu\text{mol ET/g LE}$ )	FRAP ( $\mu\text{mol ET/g LE}$ )	ABTS ( $\mu\text{mol ET/g LE}$ )
M/A 80% v/v	$38747.66 \pm 31.62^a$	$7590.32 \pm 703.52^a$	$33300 \pm 350^a$
M/A 50% v/v	$38612.20 \pm 87.83^a$	$10019.22 \pm 928.65^b$	$33400 \pm 420^a$
E/A 80% v/v	$38671.96 \pm 67.08^a$	$8205.46 \pm 340.86^c$	$33500 \pm 380^a$
E/A 50% v/v	$29387.07 \pm 7173.77^b$	$8767.84 \pm 381.20^d$	$33600 \pm 410^a$

Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DE de tres experimentos independientes realizados por triplicado. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) según un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba post hoc de Tukey. CE: Equivalentes de (+)-Catequina; E/A: Extracto de etanol:agua; EAG: Equivalentes de ácido gálico; EL: Extracto liofilizado; DPPH: Ensayo de 1,1-Difenil-2-picrilhidrazilo; FRAP: Poder antioxidante de reducción férrica; M/A: Extracto de metanol:agua.

En conjunto, los resultados evidencian que la polaridad del solvente constituye un factor determinante en la extracción de compuestos bioactivos del arilo de *P. lanceolatum*. La variabilidad observada entre los distintos extractos no refleja inconsistencias metodológicas, sino que responde a la diversidad estructural y a las propiedades fisicoquímicas de los compuestos fenólicos presentes en la matriz vegetal. En este sentido, los hallazgos obtenidos aportan evidencia relevante para orientar la selección del sistema de extracción en función del objetivo analítico, ya sea la maximización de la capacidad antioxidante global o la recuperación selectiva de compuestos específicos con potencial biológico.

Estos resultados sientan las bases para la interpretación de los mecanismos que subyacen a la variabilidad observada, los cuales se abordan con mayor detalle en la sección de discusión.

## 8. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman que la polaridad del solvente desempeña un papel clave en la extracción de compuestos fenólicos y en la capacidad antioxidante del arilo de *P. lanceolatum*. En particular, las mezclas hidroalcohólicas con mayor proporción de agua (M/A 50%) favorecieron la extracción de compuestos fenólicos totales, lo cual coincide con lo reportado por Dai y Mumper (2010) y Khoddami et al. (2013), quienes señalan que solventes de polaridad intermedia optimizan la recuperación de polifenoles debido a una mejor interacción con la matriz vegetal. Asimismo, estos resultados son consistentes con estudios previos que destacan que la eficiencia de extracción depende de la afinidad entre la polaridad del solvente y la estructura química de los compuestos fenólicos presentes (Jiménez-Moreno et al., 2019b).

En particular, el extracto M/A 50% presentó el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (5172.39 mg EAG/g EL), valores que se sitúan en un rango elevado en comparación con lo reportado para otras matrices vegetales. Por ejemplo, dos investigaciones independientes reportan contenidos de fenoles totales entre 500 y 3000 mg EAG/g de extracto, lo que sugiere que *P. lanceolatum* posee una capacidad destacada como fuente de compuestos fenólicos (dos Santos et al., 2023; Hemkemeier et al., 2019). Asimismo, valores similares han sido documentados en especies tropicales con alto potencial bioactivo (Wang et al., 2024).

En contraste, los flavonoides totales mostraron mayor afinidad por los sistemas etanólicos, particularmente en la extracción E/A 80%, lo que sugiere que estos compuestos presentan características estructurales menos polares en comparación con otros fenoles presentes en la matriz. Este comportamiento diferencial ha sido reportado previamente (Dai & Mumper, 2010), indicando que la distribución de subclases fenólicas puede variar en función del solvente, afectando directamente los resultados cuantitativos (Munteanu & Apetrei, 2021).

En términos cuantitativos, los valores de flavonoides totales (0.64–0.68 mg EC/g EL) fueron inferiores a los reportados en otras leguminosas y frutos tropicales, donde se han documentado concentraciones superiores a 1 mg EC/g (Kubola et al., 2011) y (Priyanthi & Sivakanesan, 2021). Estas diferencias pueden atribuirse a variaciones interespecíficas, así como al estado de madurez y condiciones de procesamiento (Džarić et al., 2025).

En el caso de los taninos condensados, los valores más altos se observaron en las extracciones al 80% (tanto metanólicas como etanólicas), lo que sugiere que estos compuestos presentan menor polaridad relativa, favoreciendo su solubilización en medios con mayor fracción orgánica. Este resultado es consistente con lo reportado

para proantocianidinas, cuya extracción se ve favorecida en condiciones menos polares (Khoddami et al., 2013).

Los valores obtenidos (8.79–12.29 mg EC/g EL) son comparables con los reportados en otras especies vegetales, donde se han documentado concentraciones entre 5 y 15 mg EC/g de extracto (Bibi Sadeer et al., 2020) y (López-Angulo et al., 2018), lo que confirma la relevancia de estos compuestos en la matriz estudiada.

Respecto a la capacidad antioxidante, los resultados obtenidos mediante DPPH, FRAP y ABTS evidencian comportamientos diferenciados en función del método empleado, lo cual era esperable debido a los distintos mecanismos de acción que evalúan estas técnicas (transferencia de electrones y/o de hidrógeno) (Munteanu & Apetrei, 2021). En el ensayo DPPH, la ausencia de diferencias significativas entre la mayoría de los extractos sugiere que varios sistemas de extracción logran recuperar compuestos con capacidad similar para neutralizar radicales libres.

No obstante, los valores obtenidos (~38,000  $\mu\text{mol ET/g EL}$ ) son considerablemente superiores a los reportados en otras matrices vegetales, donde típicamente oscilan entre 1,000 y 10,000  $\mu\text{mol ET/g}$  (Lezoul et al., 2020; Wakeel et al., 2019), lo que evidencia una alta capacidad antioxidante del arilo de *P. lanceolatum*.

Por otro lado, el método FRAP mostró una mayor sensibilidad a las diferencias en la composición fenólica, destacando el extracto M/A 50%, lo cual podría estar relacionado con su mayor contenido de fenoles totales. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado, ya que el poder reductor suele correlacionarse con la concentración de compuestos fenólicos (Nimse & Pal, 2015).

Los valores obtenidos en FRAP ( $\approx 7,500\text{--}10,000 \mu\text{mol ET/g EL}$ ) también se sitúan por encima de los reportados en diversos estudios (500–5,000  $\mu\text{mol ET/g}$ ), lo que refuerza el potencial antioxidante de esta especie (Suo et al., 2025; Çakmak Sancar et al., 2026; White et al., 2014).

En contraste, el método ABTS no mostró diferencias significativas entre los extractos, lo que podría indicar una saturación en la capacidad antioxidante medida o una menor discriminación entre compuestos con distinta reactividad. Este tipo de resultados refuerza la importancia de emplear múltiples métodos para obtener una evaluación integral del potencial antioxidante (Munteanu & Apetrei, 2021). Este comportamiento coincide con lo reportado en la literatura, donde el ensayo ABTS tiende a mostrar menor variabilidad entre extractos con composiciones similares (Guerrero-Hurtado et al., 2023).

Desde una perspectiva comparativa, los resultados obtenidos en *P. lanceolatum* son consistentes con lo reportado en otras especies del género, como *P. dulce*, donde se ha documentado la presencia de compuestos fenólicos con actividad antioxidante significativa (Á. F. Vargas-Madriz et al., 2025; Çelik et al., 2018; Rao et al., 2018). Sin embargo, los valores observados en este estudio tienden a ser superiores a los reportados en *P. dulce*, lo que sugiere posibles diferencias interespecíficas en la acumulación de metabolitos secundarios (Pio-León et al., 2013; Á. F. Vargas-Madriz et al., 2020b; C. Vargas-Madriz, 2025). Asimismo, estas variaciones han sido atribuidas a factores genéticos y ambientales que influyen en el metaboloma vegetal (Muslim et al., 2012; Á. F. Vargas-Madriz et al., 2020b).

Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio confirman que la variabilidad en la extracción y actividad antioxidante no responde a inconsistencias metodológicas, sino a la complejidad de la matriz vegetal y a la diversidad estructural de los compuestos fenólicos presentes. En este sentido, la selección del sistema de extracción debe considerarse un factor estratégico en función del objetivo del estudio, ya sea maximizar la actividad antioxidante global o recuperar compuestos específicos con potencial bioactivo, lo cual tiene implicaciones relevantes tanto en investigación como en aplicaciones industriales y nutraceuticas (González-Domínguez et al., 2022).

## 9. CONCLUSIONES

En el presente estudio se caracterizó el perfil nutrimental, el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante del arilo de *P. lanceolatum*, una especie vegetal escasamente estudiada desde el punto de vista fitoquímico. Los resultados obtenidos evidencian que este arilo constituye una fuente relevante de compuestos bioactivos con potencial antioxidante, lo que respalda su posible aplicación como alimento funcional o ingrediente nutracéutico.

El análisis fenólico mostró que el contenido de compuestos fenólicos totales fue elevado en comparación con otras especies del mismo género, lo que sugiere una alta actividad biosintética asociada a la vía de los fenilpropanoides. En contraste, el contenido de flavonoides fue relativamente bajo, lo que indica que la fracción fenólica del arilo podría estar compuesta principalmente por ácidos fenólicos y otros compuestos polares. Por su parte, los taninos condensados presentaron concentraciones elevadas en comparación con especies como *P. dulce*, *P. jiringa*, *P. clypearia* y *P. bubalinum*, lo que sugiere la presencia significativa de proantocianidinas y otros compuestos fenólicos poliméricos.

En cuanto a la capacidad antioxidante, el arilo de *P. lanceolatum* mostró una alta actividad en los ensayos DPPH, FRAP y ABTS, lo que confirma su potencial para neutralizar radicales libres. Asimismo, se observó que esta actividad está influenciada por el sistema de extracción, siendo las mezclas metanólicas al 50% las que favorecieron la recuperación de compuestos con mayor capacidad de transferencia de electrones.

En conjunto, los resultados demuestran que el arilo de *P. lanceolatum* presenta un perfil fitoquímico caracterizado por una alta concentración de compuestos fenólicos y una destacada capacidad antioxidante, lo que resalta su relevancia como recurso vegetal con potencial para el consumo humano y aplicaciones en la industria

alimentaria y farmacéutica. Además, este estudio contribuye a ampliar el conocimiento científico sobre especies del género *Pithecellobium* poco exploradas.

Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en la identificación y cuantificación de compuestos fenólicos individuales mediante técnicas cromatográficas y espectrométricas de alta resolución, como UPLC-DAD-ESI-QTOF-MS, así como en la evaluación de sus efectos biológicos mediante ensayos *in vitro* e *in vivo*, con el fin de establecer con mayor precisión su potencial de aprovechamiento.

## 10. REFERENCIAS

- Abuhabib, M. M., Campins-Machado, F. M., Lozano-Castellón, J., Ninot, A., Romero-Aroca, A., Lamuela-Raventós, R. M., Pérez, M., & Vallverdú-Queralt, A. (2025). Evaluation of Packaging Effects on the Phenolic Profile and Sensory Characteristics of Extra Virgin Olive Oil During Storage Using Liquid Chromatography Coupled with Mass Spectrometry. *Foods*, 14(14), 2532. <https://doi.org/10.3390/foods14142532>
- Alsulami, F. J., & Shaheed, S. U. (2024). Role of Natural Antioxidants in Cancer. *Cancer Treatment and Research*, 191, 95-117. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-55622-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-55622-7_4)
- Apráez G., E., Gálvez C., A. L., & Navia E., J. F. (2017). Evaluación nutricional de arbóreas y arbustivas de bosque muy seco tropical (bms- T) en producción bovina. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 98-107. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.66>
- Babaei Rad, S., Mumivand, H., Mollaei, S., & Khadivi, A. (2025). Effect of drying methods on phenolic compounds and antioxidant activity of Capparis spinosa L. fruits. *BMC Plant Biology*, 25, 133. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06110-y>
- Baron, G., Ferrario, G., Marinello, C., Carini, M., Morazzoni, P., & Aldini, G. (2021). Effect of Extraction Solvent and Temperature on Polyphenol Profiles, Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects of Red Grape Skin By-Product. *Molecules*, 26(18), 5454. <https://doi.org/10.3390/molecules26185454>

- Bibi Sadeer, N., Montesano, D., Albrizio, S., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F. (2020). The Versatility of Antioxidant Assays in Food Science and Safety—Chemistry, Applications, Strengths, and Limitations. *Antioxidants*, 9(8), 709. <https://doi.org/10.3390/antiox9080709>
- Çakmak Sancar, B., Binici, H. İ., & Akhan, M. (2026). Evaluation of Antioxidant Activity and Phenolic Content of Medicinal Plants Extracted by Ethanol, Methanol, and Water. *Journal of Oleo Science*, 75(2), 159-168. <https://doi.org/10.5650/jos.ess25164>
- Çelik, A., Yaman, H., Turan, S., Kara, A., Kara, F., Zhu, B., Qu, X., Tao, Y., Zhu, Z., Dhokia, V., Nassehi, A., Newman, S. T., Zheng, L., Neville, A., Gledhill, A., Johnston, D., Zhang, H., Xu, J. J., Wang, G., ... Dutta, D. (2018). AUTODETERMINACIÓN E INCLUSIÓN EDUCATIVA. *Journal of Materials Processing Technology*, 1(1), 1-8.
- Chen, M., Li, Y., & Liu, X. (2025). A review of the role of bioactive components in legumes in the prevention and treatment of cardiovascular diseases. *Food & Function*, 16(3), 797-814. <https://doi.org/10.1039/d4fo04969a>
- Cui, M., Mo, R., Li, Q., Wang, R., Shen, D., Tang, F., & Liu, Y. (2024). Maturation-induced changes in phenolic forms and their antioxidant activities of walnuts: A dual view from kernel and pellicle. *Food Chemistry: X*, 23, 101792. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101792>
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010a). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010b). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010c). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Dhanisha, S. S., Drishya, S., & Guruvayoorappan, C. (2021). Traditional knowledge to clinical trials: A review on nutritional and therapeutic potential of *Pithecellobium dulce*. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 33(2), 133-142. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2020-0166>
- Di Lorenzo, R., Ferraro, M. G., Carrera, C., Iazzetti, F., Chinchilla, N., Maisto, M., Aliaño-González, M. J., Piccolo, V., Romano, A., Ricci, L., Medronho, B., Marzocchi, A., Piccolo, M., Tenore, G. C., Irace, C., & Laneri, S. (2025). Valorization of *Arbutus unedo* L. Pomace: Exploring the Recovery of Bioactive Phenolic Compounds from Distillation By-Products. *Antioxidants*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/antiox14030278>
- Dnyaneshwar M Nagmoti, Khatri, D. K., Juvekar, P. R., & Juvekar, A. R. (2012). Antioxidant Activity and Free Radical-scavenging Potential of *Pithecellobium Dulce* Benth Seed Extracts. *Free Radicals and Antioxidants*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.5530/ax.2012.2.2.7>
- dos Santos, A., Gomes, P. G. C., Buarque, F. S., Soares, C. M. F., Bjerck, T. R., & Lima, Á. S. (2023). Novel strategy for extraction and partitioning of phenol compounds from industrial residue of seriguela (*Spondia purpurea* L.) using

- aqueous two-phase systems. *Food and Bioproducts Processing*, 141, 219-229. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.08.011>
- Duong, N. T., Vinh, P. D., Thuong, P. T., Hoai, N. T., Thanh, L. N., Bach, T. T., Nam, N. H., & Anh, N. H. (2017). Xanthine oxidase inhibitors from *Archidendron clypearia* (Jack.) I.C. Nielsen: Results from systematic screening of Vietnamese medicinal plants. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(6), 549-556. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.06.002>
- D'Urso, G., Capuano, A., Fantasma, F., Chini, M. G., De Felice, V., Saviano, G., Lauro, G., Casapullo, A., Bifulco, G., & Iorizzi, M. (2025). The Role of LC-MS in Profiling Bioactive Compounds from Plant Waste for Cosmetic Applications: A General Overview. *Plants*, 14(15), 2284. <https://doi.org/10.3390/plants14152284>
- Džarić, T., Petrović, D., & Božović, M. (2025). Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Different Extracts from *Rosa canina* L Fruits. *Natural Product Communications*, 20(8), 1934578X251369590. <https://doi.org/10.1177/1934578X251369590>
- El Mannoubi, I. (2023). Impact of different solvents on extraction yield, phenolic composition, in vitro antioxidant and antibacterial activities of deseeded *Opuntia stricta* fruit. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 9(2), 176-184. <https://doi.org/10.1007/s43994-023-00031-y>
- Elhewehy, A. A., El-Fishawy, A. M., Aly, R. M., Mohsen, E., & Fayed, M. A. A. (2026). Isolation and quantification of polyphenolics, exploration of antioxidant, cytotoxicity, and wound healing activities of *Pithecellobium dulce* (Roxb.)

- Benth. *Scientific Reports*, 16, 1338. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-32257-7>
- FAO. (2021). *Beneficios nutricionales de las Legumbres*. Global Pulse Confederation.
- Francisco-Martínez, F., Guerrero-Rodríguez, J. D. D., López-Ortiz, S., Aceves-Ruiz, E., Olvera-Hernández, J. I., & Méndez-Espinosa, J. A. (2023). RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS NATIVAS DE MÉXICO CON POTENCIAL FORRAJERO EN EL TRÓPICO SECO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 95. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.95>
- García-Lara, S. (2015). Testing a species hypothesis with morphometric analysis: *Pithecellobium insigne* (Leguminosae, Mimosoideae, Ingeae)<sup>1</sup>. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 142(4), 314-324. <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-14-00083.1>
- González-Domínguez, R., Sayago, A., Santos-Martín, M., & Fernández-Recamales, Á. (2022). High-Throughput Method for Wide-Coverage and Quantitative Phenolic Fingerprinting in Plant-Origin Foods and Urine Samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(25), 7796-7804. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01453>
- Gowe Kuyu, C., & Yirga Bereka, T. (2019). *Review on contribution of indigenous food preparation and preservation techniques to attainment of food security in Ethiopian*. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1274>

- Grdeń, P., & Jakubczyk, A. (2023). Health benefits of legume seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(11), 5213-5220. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12585>
- Guerrero-Hurtado, E., Gutiérrez-Docio, A., Fiedorowicz, R., Mollá, E., Reglero, G., & Prodanov, M. (2023). Why proanthocyanidins elute at increasing order of molecular masses when analysed by normal phase high performance liquid chromatography? Considerations of use. *Journal of Chromatography A*, 1696, 463957. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2023.463957>
- Hemkemeier, M., Biduski, B., & Mikolaiczik, B. (2019). *Total phenolic compounds and bioactive compounds profile of Physalis peruviana extract and oils using different extraction methods*. <https://proceedings.science/slaca/slaca-2019/trabalhos/total-phenolic-compounds-and-bioactive-compounds-profile-of-physalis-peruviana-e?lang=pt-br>
- Hernández-Ruiz, R. G., Olivares-Ochoa, X. C., Salinas-Varela, Y., Guajardo-Espinoza, D., Roldán-Flores, L. G., Rivera-Leon, E. A., & López-Quintero, A. (2025). Phenolic Compounds and Anthocyanins in Legumes and Their Impact on Inflammation, Oxidative Stress, and Metabolism: Comprehensive Review. *Molecules*, 30(1), 1-41. <https://doi.org/10.3390/molecules30010174>
- Issa, R., Al-Akayleh, F., Alnsour, L., Al-Sammarraie, T. R., Omari, K. W., & Awwad, S. H. (2024). Antioxidant Activity and UHPLC-MS/MS Characterization of Polyphenol and Nicotine Content in Nicotiana Glauca Leaf Extracts: A Comparative Study of Conventional and Deep Eutectic Solvent Extraction Methods. *Plants*, 13(16), 2240. <https://doi.org/10.3390/plants13162240>

- Jiménez-Moreno, N., Volpe, F., Moler, J. A., Esparza, I., & Ancín-Azpilicueta, C. (2019a). Impact of Extraction Conditions on the Phenolic Composition and Antioxidant Capacity of Grape Stem Extracts. *Antioxidants*, 8(12), 597. <https://doi.org/10.3390/antiox8120597>
- Jiménez-Moreno, N., Volpe, F., Moler, J. A., Esparza, I., & Ancín-Azpilicueta, C. (2019b). Impact of Extraction Conditions on the Phenolic Composition and Antioxidant Capacity of Grape Stem Extracts. *Antioxidants*, 8(12), 597. <https://doi.org/10.3390/antiox8120597>
- Kaczorová, D., Karalija, E., Dahija, S., Bešta-Gajević, R., Parić, A., & Čavar Zeljković, S. (2021). Influence of Extraction Solvent on the Phenolic Profile and Bioactivity of Two Achillea Species. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(6), 1601. <https://doi.org/10.3390/molecules26061601>
- Khanzada, S. K., Khanzada, A. K., Shaikh, W., & Ali, S. A. (2013). *PHYTOCHEMICAL STUDIES ON PITHECELLOBIUM DULCE BENTH. A MEDICINAL PLANT OF SINDH, PAKISTAN.*
- Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 18(2), 2328-2375. <https://doi.org/10.3390/molecules18022328>
- Kiranmai, K., Narendra Babu, A., Padmavathi, B., Gayathri, Y., & Naveen, R. (2021). Phytopharmacological Properties of Tamarindus indica: An Overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 67(1), 108-114. <https://doi.org/10.47583/ijpsrr.2021.v67i01.018>

- Kubola, J., Siriamornpun, S., & Meeso, N. (2011). Phytochemicals, vitamin C and sugar content of Thai wild fruits. *Food Chemistry*, 126(3), 972-981. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.104>
- Leyva-López, N., Cebreros-Vázquez, C. R., Gómez-Saucedo, V. Z., Heredia, J. B., Vega-Álvarez, M., Colado-Velázquez, J. I., Camacho-Ureta, E. A., Cázarez-Salazar, S. G., Osuna-Martínez, U., & Acosta-Cota, S. J. (2025). Evaluation of the Antioxidant, Antihyperglycemic, and Haemolytic Activities of Hydroalcoholic Extracts of Red and White *Pithecellobium dulce* Aril at Different Stages of Ripening. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 80(1), 74. <https://doi.org/10.1007/s11130-025-01320-z>
- Lezoul, N. E. H., Belkadi, M., Habibi, F., & Guillén, F. (2020). Extraction Processes with Several Solvents on Total Bioactive Compounds in Different Organs of Three Medicinal Plants. *Molecules*, 25(20), 4672. <https://doi.org/10.3390/molecules25204672>
- Li, L., Peng, Y., Hu, C., Liu, C., Liu, Q., Li, L., Wu, J., & Song, S. (2015). *Antioxidant Activity of Chemical Constituents Isolated from*.
- Liu, J., Han, X., Zhang, T., Tian, K., Li, Z., & Luo, F. (2023). Reactive oxygen species (ROS) scavenging biomaterials for anti-inflammatory diseases: From mechanism to therapy. *Journal of Hematology & Oncology*, 16(1), 116. <https://doi.org/10.1186/s13045-023-01512-7>
- Liu, S., Zhang, B., Lei, Q., Zhou, J., Ali, M., & Long, C. (2023). Diversity and traditional knowledge of medicinal plants used by Shui people in Southwest

China. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 19, 20.  
<https://doi.org/10.1186/s13002-023-00594-4>

- López-Angulo, G., Montes-Avila, J., Sánchez-Ximello, L., Díaz-Camacho, S. P., Miranda-Soto, V., López-Valenzuela, J. A., & Delgado-Vargas, F. (2018). Anthocyanins of *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. Fruit Associated with High Antioxidant and  $\alpha$ -Glucosidase Inhibitory Activities. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(4), 308-313. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0693-y>
- López-Fernández, O., Domínguez, R., Pateiro, M., Munekata, P. E. S., Rocchetti, G., & Lorenzo, J. M. (2020). Determination of Polyphenols Using Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry Technique (LC–MS/MS): A Review. *Antioxidants*, 9(6), 479. <https://doi.org/10.3390/antiox9060479>
- Mahore, N., Rajput, V., Dixit, S., & Dhakad, P. (2026). A Review on Nutritional Significance of Sulfur in Pulse Crops. *Asian Research Journal of Agriculture*, 19(1), 22-33. <https://doi.org/10.9734/arja/2026/v19i1803>
- Megala, J., & Geetha, A. (2010). Free radical-scavenging and H<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase inhibition activities of *Pithecellobium dulce*. *Food Chemistry*, 121(4), 1120-1128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.059>
- Mirabelli, M., Chiefari, E., Arcidiacono, B., Corigliano, D. M., Brunetti, F. S., Maggisano, V., Russo, D., Foti, D. P., & Brunetti, A. (2020). Mediterranean Diet Nutrients to Turn the Tide against Insulin Resistance and Related Diseases. *Nutrients*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/nu12041066>

- 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>
- Muslim, N. S., Nassar, Z. D., Aisha, A. F. A., Shafaei, A., Idris, N., Majid, A. M. S. A., & Ismail, Z. (2012). Antiangiogenesis and antioxidant activity of ethanol extracts of *Pithecellobium jiringa*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12, 210. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-12-210>
- Nimse, S. B., & Pal, D. (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. *RSC Advances*, 5(35), 27986-28006. <https://doi.org/10.1039/C4RA13315C>
- Ohishi, T., Goto, S., Monira, P., Isemura, M., & Nakamura, Y. (2016). Anti-inflammatory Action of Green Tea. *Anti-Inflammatory & Anti-Allergy Agents in Medicinal Chemistry*, 15(2), 74-90. <https://doi.org/10.2174/1871523015666160915154443>
- Olmedo-Juárez, A., Jimenez-Chino, A. L., Bugarin, A., Zamilpa, A., Gives, P. M., Villa-Mancera, A., López-Arellano, M. E., Olivares-Pérez, J., Delgado-Núñez, E. J., & González-Cortazar, M. (2022). Phenolic Acids and Flavonoids from *Pithecellobium dulce* (Robx.) Benth Leaves Exhibit Ovicidal Activity against *Haemonchus contortus*. *Plants*, 11(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/plants11192555>
- Pinedo-Espinoza, J. M., Gutiérrez-Tlahque, J., Santiago-Saenz, Y. O., Aguirre-Mancilla, C. L., Reyes-Fuentes, M., & López-Palestina, C. U. (2020). Nutritional Composition, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of

- Wild Edible Flowers Consumed in Semiarid Regions of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 75(3), 413-419.  
<https://doi.org/10.1007/s11130-020-00822-2>
- Pio-León, J., Diaz-Camacho, S., Montes-Avila, J., López Angulo, G., & Delgado-Vargas, F. (2013). Nutritional and nutraceutical characteristics of white and red *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth fruits. *Fruits*, 68, 397-408.  
<https://doi.org/10.1051/fruits/2013084>
- Pío-León, J. F., Díaz-Camacho, S., Montes-Avila, J., López-Angulo, G., & Delgado-Vargas, F. (2013). Nutritional and nutraceutical characteristics of white and red *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth fruits. *Fruits*, 68(5), 397-408.  
<https://doi.org/10.1051/fruits/2013084>
- Priyanthi, C., & Sivakanesan, R. (2021). The Total Antioxidant Capacity and the Total Phenolic Content of Rice Using Water as a Solvent. *International Journal of Food Science*, 2021, 5268584.  
<https://doi.org/10.1155/2021/5268584>
- Rao, B. G., Samyuktha, P., Ramadevi, D., & Battu, H. (2018). *PITHECELLOBIUM DULCE*.
- Rojas, G. G. B., Martínez, T. K. M., Gómez, U. A. S., Cortés, L. F. M., Argüello, G. S., & Ortiz, B. C. (2024). Evaluación de la extracción de compuestos bioactivos (polifenoles y flavonoides) a partir del orujo de uva (*Vitis vinifera* 'Cabernet Franc'). *Cienciacierta*, 20(80 Especial), 228-239.
- Rojas Garcia, A. R., Maldonado Peralta, M. D. L. A., & Sanchez Santillan, P. (2020). *Pithecellobium lanceolatatum* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) Benth.

- Sainju, U. M. (2026). Nitrogen Balance for Pulse Crops in Rotation with Spring Wheat. *Agronomy*, 16(4), 2233. <https://doi.org/10.3390/agronomy16040463>
- Simao, J. de J., Bispo, A. F. de S., Plata, V. T. G., Abel, A. B. M., Saran, R. J., Barcella, J. F., Alonso, J. C. C., Santana, A. V., Armelin-Correa, L. M., & Alonso-Vale, M. I. C. (2024). The Activation of the NF- $\kappa$ B Pathway in Human Adipose-Derived Stem Cells Alters the Deposition of Epigenetic Marks on H3K27 and Is Modulated by Fish Oil. *Life*, 14(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/life14121653>
- Suo, W., Wang, W., Li, D., Wu, H., Liu, H., Huang, W., & Ma, Y. (2025). Optimization of Ultrasonic-Enzymatic-Assisted Extraction of Flavonoids from Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Pomace: Chemical Composition and Biological Activities. *Foods*, 14(10), 1656. <https://doi.org/10.3390/foods14101656>
- Tan, S., Tang, J., Shi, W., Wang, Z., Xiang, Y., Deng, T., Gao, X., Li, W., & Shi, S. (2019). Effects of three drying methods on polyphenol composition and antioxidant activities of Litchi chinensis Sonn. *Food Science and Biotechnology*, 29(3), 351-358. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00674-w>
- Thouri, A., Chahdoura, H., El Arem, A., Omri Hichri, A., Ben Hassin, R., & Achour, L. (2017). Effect of solvents extraction on phytochemical components and biological activities of Tunisian date seeds (var. Korkobbi and Arechti). *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 17, 248. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1751-y>

- Toydemir, G., Gultekin Subasi, B., Hall, R. D., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2022). Effect of food processing on antioxidants, their bioavailability and potential relevance to human health. *Food Chemistry: X*, 14, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100334>
- Urbstaite, R., Raudone, L., Liaudanskas, M., & Janulis, V. (2022). Development, Validation, and Application of the UPLC-DAD Methodology for the Evaluation of the Qualitative and Quantitative Composition of Phenolic Compounds in the Fruit of American Cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Aiton). *Molecules*, 27(2), 467. <https://doi.org/10.3390/molecules27020467>
- Van Sam, H., Nanthavong, K., & Kessler, P. J. A. (2004). Trees of Laos and Vietnam: A Field Guide to 100 Economically or Ecologically Important Species. *Blumea - Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants*, 49(2), 201-349. <https://doi.org/10.3767/000651904X484298>
- Vargas-Madriz, Á. F., Kuri-García, A., Luzardo-Ocampo, I., Ferriz-Martínez, R. A., García-Gasca, T., Saldaña, C., Vargas-Madriz, H., Guzmán-Maldonado, S. H., & Chávez-Servín, J. L. (2025). Effect of Drying Methods on the Phenolic Profile and Antioxidant Capacity of *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. Aril and Its Inhibitory Properties on Human SW480 Colon Adenocarcinoma Cells. *Molecules*, 30(2), 233. <https://doi.org/10.3390/molecules30020233>
- Vargas-Madriz, Á. F., Kuri-García, A., Vargas-Madriz, H., Chávez-Servín, J. L., Ferriz-Martínez, R. A., Hernández-Sandoval, L. G., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2020a). Phenolic profile and antioxidant capacity of *Pithecellobium*

dulce (Roxb) Benth: A review. *Journal of food science and technology*, 57(12), 4316-4336. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04453-Y>

Vargas-Madriz, Á. F., Kuri-García, A., Vargas-Madriz, H., Chávez-Servín, J. L., Ferriz-Martínez, R. A., Hernández-Sandoval, L. G., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2020b). Phenolic profile and antioxidant capacity of *Pithecellobium dulce* (Roxb) Benth: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4316-4336. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04453-y>

Vargas-Madriz, Á., Kuri-García, A., Vargas-Madriz, H., Chávez-Servín, J., Ferriz-Martínez, R., Hernandez-Sandoval, L., & Guzmán-Maldonado, S. (2020). Phenolic profile and antioxidant capacity of *Pithecellobium dulce* (Roxb) Benth: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 57. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04453-y>

Vargas-Madriz, C. (2025). *Caracterización fenólica y efecto del consumo del arilo de Pithecellobium dulce (Roxb.) Beth. Sobre lesiones preneoplásicas de colon* [Universidad Autónoma de Querétaro]. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/12382/1/CNDCC-281537.pdf>

Wakeel, A., Jan, S. A., Ullah, I., Shinwari, Z. K., & Xu, M. (2019). Solvent polarity mediates phytochemical yield and antioxidant capacity of *Isatis tinctoria*. *PeerJ*, 7, e7857. <https://doi.org/10.7717/peerj.7857>

Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., Loarca-Piña, G. F., López-Díaz, J. A., Villegas-Ochoa, M. A., Tortoledo-Ortiz, O., Olivas-Aguirre, F. J., Ramos-Jiménez, A., & Robles-Zepeda, R. (2016). Ripening of *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. [Guamúchil] Fruit: Physicochemical, Chemical and Antioxidant

- Changes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(4), 396-401.  
<https://doi.org/10.1007/s11130-016-0575-0>
- Wang, L., Li, T., Wu, C., Fan, G., Zhou, D., & Li, X. (2024). Unlocking the potential of plant polyphenols: Advances in extraction, antibacterial mechanisms, and future applications. *Food Science and Biotechnology*, 34(6), 1235-1259.  
<https://doi.org/10.1007/s10068-024-01727-5>
- White, P. B., Wang, T., Park, Y. B., Cosgrove, D. J., & Hong, M. (2014). Water-polysaccharide interactions in the primary cell wall of *Arabidopsis thaliana* from polarization transfer solid-state NMR. *Journal of the American Chemical Society*, 136(29), 10399-10409. <https://doi.org/10.1021/ja504108h>
- Xu, Q., Zhang, S., Wang, Y., Jiang, P., Zhang, J., Wang, X., & Zhang, D. (2026). Physical stress induces metabolic changes in kidney bean: GABA, polyphenol spectrum, and antioxidant capacity. *Food Research International*, 226, 118194. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.118194>
- Yanes, C. V., Muñoz, A. I. B., & Alcocer, M. I. (s. f.). *ARBOLES Y ARBUSTOS NATIVOS POTENCIALMENTE VALIOSOS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y LA REFORESTACIÓN.*
- Zhang, H., Pu, J., Tang, Y., Wang, M., Tian, K., Wang, Y., Luo, X., & Deng, Q. (2022). Changes in Phenolic Compounds and Antioxidant Activity during Development of 'Qiangcuili' and 'Cuihongli' Fruit. *Foods*, 11(20), 3198.  
<https://doi.org/10.3390/foods11203198>

