



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA  
EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL**

**UNIDAD DURANGO**

**Análisis fitoquímico de cuatro especies  
de plantas usadas en la medicina  
tradicional en la sierra tarahumara**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTA**

**Ing. Fernanda Yoana Chavez Aguilar**

**DIRECTORES**

**Dra. Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez**

**Dr. José Antonio Ávila Reyes**



Septiembre de 2025



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
 Dirección de Posgrado

SIP-13  
 REP 2017

**ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS  
 Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS**

Ciudad de México, a 22 de enero del 2024

El Colegio de Profesores de Posgrado de IPN CIIDIR Unidad Durango en su Sesión

(Unidad Académica)

Ordinaria No. 1 celebrada el día 19 del mes enero de 2024, conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Chavez	Apellido Materno:	Aguilar	Nombre (s):	Fernanda Yoana
-------------------	--------	-------------------	---------	-------------	----------------

Número de boleta: B 2 3 1 2 1 7

del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Referente al registro de su tema de tesis

1.- Se acordó aprobar el tema de tesis:

Análisis fitoquímico de cuatro especies de plantas usadas en la medicina tradicional en la sierra tarahumara

Objetivo general del trabajo de tesis:

Evaluar la composición fenólica, actividad antioxidante y actividad hipoglucémica in vitro de los extractos etanólicos de las plantas: *Ligusticum porteri*, *Pteridium aquilinum*, *Zornia venosa*, *Pseudognaphalium obtusifolium*, utilizadas en la medicina tradicional tarahumara.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: Dr. José Antonio Ávila Reyes Director: Dra. Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez

No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

El Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango (CIIDIR DGO-IPN) dentro del Laboratorio de Biotecnología.

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis

Dr. José Antonio Ávila Reyes

Alumno

Fernanda Yoana Chavez Aguilar

Director de Tesis (en su caso)

Dra. Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez

Presidente del Colegio

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



CENTRO INTERDISCIPLINARIO  
 DE INVESTIGACIÓN PARA EL  
 DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL  
 IPN CIIDIR DURANGO



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
 Dirección de Posgrado

SIP-14  
 REP 2017

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de Durango siendo las 14:30 horas del día 4 del mes de Septiembre del 2025 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: IPN CIIDIR Unidad Durango para examinar la tesis titulada:

Análisis fitoquímico de cuatro especies de plantas usadas en la medicina tradicional en la sierra tarahumara del (la) alumno (a):

<b>Apellido Paterno:</b>	Chavez	<b>Apellido Materno:</b>	Aguilar	<b>Nombre (s):</b>	Fernanda Yoana
--------------------------	--------	--------------------------	---------	--------------------	----------------

Número de boleta: B 2 3 1 2 1 7

Alumno del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 13 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI**  **NO**  **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:** *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*  
El porcentaje de similitud se encuentra mayormente en las metodologías implementadas y por lo tanto se considera que no hay hurto de autoría en este documento de tesis realizado.

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:  
Los objetivos planteados en el tema de tesis fueron alcanzados a través de los resultados obtenidos y las conclusiones presentadas. El bajo contenido de similitud indica que no hay hurto de autoría.

**COMISIÓN REVISORA DE TESIS**

Dr. José Antonio Ávila Reyes

Director de Tesis  
 Nombre completo y firma

Dra. Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez

2º Director de Tesis (en su caso)  
 Nombre completo y firma

Dra. Liliana Wallander Compean

Nombre completo y firma

M.C. José Natividad Uribe Soto

Nombre completo y firma

Dr. Rene Torres Ricario

Nombre completo y firma

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz

Nombre completo y firma  
**PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES**





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN*

En la Ciudad de Durango el día 04 del mes de Septiembre del año 2025, el (la) que suscribe Fernanda Yoana Chavez Aguilar alumno(a) del programa Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental con número de registro B231217, adscrito(a) a CIIDIR Unidad Durango manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del Dr. José Antonio Ávila Reyes y la Dra. Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez y cede los derechos del trabajo intitulado "Análisis fitoquímico de cuatro especies de plantas usadas en la medicina tradicional en la sierra tarahumara", al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es). Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente(s) dirección(es) de correo [fchaveza2301@alumno.ipn.mx](mailto:fchaveza2301@alumno.ipn.mx), [mvgutierrezv@ipn.mx](mailto:mvgutierrezv@ipn.mx), [jaavre@yahoo.com.mx](mailto:jaavre@yahoo.com.mx) Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Fernanda Chavez A.  
Fernanda Yoana Chavez Aguilar

Nombre completo y firma autógrafa del (de la)  
estudiante

**“Este trabajo de investigación se realizó en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango (CIIDIR DGO-IPN) dentro del Laboratorio de Biotecnología con la dirección académica del Dr. José Antonio Ávila Reyes y la Dra. Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez.”**

## DEDICATORIA

“Con profundo amor y gratitud, dedico esta tesis a mi tía Beatriz Aguilar Ortega, cuya luz sigue brillando en mi corazón, tú partida me dejo un vacío enorme, pero sé que tú amor y espíritu me acompañan en cada paso que doy. Cada logro, cada obstáculo superado lleva tu esencia, fortaleza y dedicación que me inculcaste. Gracias por creer en mí y por haberme motivado a alcanzar mis metas. Siempre serás mi guía y mi inspiración eterna.”

“Tu recuerdo siempre será mi mayor motivación.”

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a:

La Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por brindarme los medios para realizar mi posgrado (SECIHTI).

Al Instituto Politécnico Nacional y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango y al personal académico por brindarme las herramientas y oportunidades que enriquecieron mi formación y visión como profesionista.

A mi comité tutorial: Dr. José Antonio Ávila Reyes, Dra. Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez, Dra. Liliana Wallander Compean, Dr. Rene Torres Ricario y al M.C. José Natividad Uribe Soto por su orientación, paciencia y conocimientos compartidos durante mi estancia en la institución.

A mi director de tesis el Dr. José Antonio Ávila Reyes, mi sincero agradecimiento por confiar en mí y brindarme la oportunidad de formar parte de este posgrado.

A mi Codirectora Dra. Marcela Verónica Gutiérrez Velázquez por darme su apoyo incondicional dentro y fuera de la institución. Por acompañarme durante mi estancia con empatía, cariño, por brindarme su orientación constante, por creer en mí y, sobre todo, más allá de lo académico, gracias por haberse convertido en mi familia en este lugar.

A la Dra. Liliana Wallander, los M.C. Shaila Nayeli Pérez Salinas y Vicente Hernández, por ser un apoyo incondicional académicamente, por la amistad y el vínculo tan significativo que se formó dentro del laboratorio de Biotecnología.

A mi familia, papás, hermanas y hermano, por siempre apoyarme, por creer en mí e impulsarme cumplir todo lo que me propongo.

A mi novio, Daniel Hernández, por ser mi constante compañía, por su amor incondicional, su paciencia y su apoyo en cada paso de este camino.

A mi amiga, Mariela Martínez Ortiz, por su valiosa amistad, su cariño y su apoyo incondicional durante estos dos años.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	VIII
I. ANTECEDENTES.....	1
1.1 La Medicina tradicional.....	1
1.2 La medicina tradicional en México.....	2
1.3 Medicina tradicional en Chihuahua.....	3
1.4 <i>Ligusticum porteri</i> (Chuchupate).....	4
1.5 <i>Pteridium aquilinum</i> (Pata de cuervo).....	5
1.6 <i>Zornia venosa</i> (Hierba de la víbora) .....	7
1.7 <i>Pseudognaphalium obtusifolium</i> (Gordolobo).....	8
1.8 Metabolitos secundarios .....	9
1.8.1 Fenoles.....	11
1.8.2 Flavonoides .....	13
1.9 Actividad antioxidante.....	14
1.10 Actividad hipoglucémica .....	15
II. JUSTIFICACIÓN.....	16
III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	17
IV. OBJETIVOS.....	17
4.1. Objetivo general .....	17
4.2. Objetivos específicos.....	17
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
5.1. Colecta de material vegetal .....	18
5.2 Preparación de los extractos etanólicos .....	19
5.3 Análisis químico.....	20
5.3.1 Determinación de fenoles totales.....	20
5.3.2 Determinación de flavonoides totales .....	20

5.3.3 Caracterización de la composición fenólica .....	21
5.4 Determinación de la actividad antioxidante .....	22
5.4.1 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH.....	22
5.4.2 Capacidad bloqueadora del radical ABTS .....	22
5.5 Actividad hipoglucémica .....	23
5.5.1 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -glucosidasa.....	23
5.5.2 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -amilasa .....	24
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
6.1 <i>Ligusticum porteri</i> .....	25
6.1.1 Contenido de fenoles y flavonoides totales .....	25
6.1.2 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH y ABTS.....	25
6.1.3 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa .	26
6.1.4 Composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD....	27
6.1.5 Correlación de Pearson .....	29
6.2 <i>Pteridium aquilinum</i> .....	31
6.2.1 Contenido de fenoles y flavonoides totales .....	31
6.2.2 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH y ABTS.....	32
6.2.3 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa .	32
6.2.4 Composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD....	34
6.2.5 Correlación de Pearson .....	36
6.3 <i>Zornia venosa</i> .....	38
6.3.1 Contenido de fenoles y flavonoides totales .....	38
6.3.2 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH y ABTS.....	38
6.3.3 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa .	39
6.3.4 Composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD....	40
6.3.5 Correlación de Pearson .....	42
6.4 <i>Pseudognaphalium obtusifolium</i> .....	43

6.4.1 Contenido de fenoles y flavonoides totales .....	43
6.4.2 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH y ABTS.....	44
6.4.3 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa .	44
6.4.4 Composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD....	46
6.4.5 Correlación de Pearson .....	48
VII. CONCLUSIONES .....	49
VIII. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS.....	50
IX. LITERATURA CITADA.....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Especie <i>Ligusticum porteri</i> .....	5
<b>Figura 2.</b> Especie <i>Pteridium aquilinum</i> .....	6
<b>Figura 3.</b> Especie <i>Zornia venosa</i> .....	7
<b>Figura 4.</b> Especie <i>Pseudognaphalium obtusifolium</i> .....	8
<b>Figura 5.</b> Casos en los que las plantas producen metabolitos secundarios como parte de su respuesta a amenazas.....	10
<b>Figura 6.</b> Funciones ecológicas y fisiológicas de los principales metabolitos secundarios.....	11
<b>Figura 7.</b> Estructura química del fenol.....	11
<b>Figura 8.</b> Ruta de biosíntesis de los compuestos fenólicos .....	12
<b>Figura 9.</b> Estructura química de los flavonoides .....	13
<b>Figura 10.</b> Función de los radicales libres (RL) .....	14
<b>Figura 11.</b> Colecta del material vegetal (Municipio de Guachochi, Chihuahua) .....	19
<b>Figura 12.</b> Cromatograma de HPLC-DAD de extractos de la raíz de <i>Ligusticum porteri</i> . Los compuestos 1-16 corresponden a los descritos en la Tabla 1.....	27
<b>Figura 13.</b> Espectros de los compuestos fenólicos principales encontrados en los extractos de la raíz de <i>Ligusticum porteri</i> .....	28
<b>Figura 14.</b> Matriz de correlación de Pearson entre las técnicas realizadas en extractos de <i>Ligusticum porteri</i> . Valores de “r” que aproximan a 1 reflejan una correlación positiva fuerte, valores que se aproximan a -1 reflejan una correlación negativa fuerte entre las variables, mientras que valores aproximados a 0 indican que existe poca o ninguna relación entre ellas.....	30
<b>Figura 15.</b> Cromatograma de HPLC-DAD de extractos de <i>Pteridium aquilinum</i> . Los compuestos 1-11 corresponden a los descritos en la Tabla 4.....	35
<b>Figura 16.</b> Espectros de los compuestos fenólicos principales encontrados en los extractos de <i>Pteridium aquilinum</i> .....	35
<b>Figura 17.</b> Matriz de correlación de Pearson entre las técnicas realizadas en extractos de <i>Pteridium aquilinum</i> . Valores de “r*” que aproximan a 1 reflejan una correlación positiva fuerte, valores que se aproximan a -1 reflejan una correlación	

negativa fuerte entre las variables, mientras que valores aproximados a 0 indican que existe poca o ninguna relación entre ellas.....37

**Figura 18.** Cromatograma de HPLC-DAD de extractos de *Zornia venosa*. Los compuestos 1-16 corresponden a los descritos en la Tabla 6.....40

**Figura 19.** Espectros de los compuestos fenólicos principales encontrados en los extractos de *Zornia venosa*.....41

**Figura 20.** Matriz de correlación de Pearson entre las técnicas realizadas en extractos de *Zornia venosa*. Valores de “r” que aproximan a 1 reflejan una correlación positiva fuerte, valores que se aproximan a -1 reflejan una correlación negativa fuerte entre las variables, mientras que valores aproximados a 0 indican que existe poca o ninguna relación entre ellas.....42

**Figura 21.** Cromatograma de HPLC-DAD de extractos de *Pseudognaphalium obtusifolium*. Los compuestos 1-16 corresponden a los descritos en la Tabla 8.....46

**Figura 22.** Espectros de los compuestos fenólicos principales encontrados en los extractos de *Pseudognaphalium obtusifolium*.....47

**Figura 23.** Matriz de correlación de Pearson entre las técnicas realizadas en extractos de *Pseudognaphalium obtusifolium*. Valores de “r” que aproximan a 1 reflejan una correlación positiva fuerte, valores que se aproximan a -1 reflejan una correlación negativa fuerte entre las variables, mientras que valores aproximados a 0 indican que existe poca o ninguna relación entre ellas.....48

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e hipoglucémica ( $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa) de <i>Ligusticum porteri</i> .....	26
<b>Tabla 2.</b> Compuestos fenólicos encontrados por HPLC-DAD en el extracto de la raíz de <i>Ligusticum porteri</i> .....	28
<b>Tabla 3.</b> Contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e hipoglucémica ( $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa) de <i>Pteridium aquilinum</i> . ....	34
<b>Tabla 4.</b> Compuestos fenólicos encontrados por HPLC-DAD en el extracto de <i>Pteridium aquilinum</i> .....	36
<b>Tabla 5.</b> Contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e hipoglucémica ( $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa) de <i>Zornia venosa</i> . ....	39
<b>Tabla 6.</b> Compuestos fenólicos encontrados por HPLC-DAD en el extracto de <i>Zornia venosa</i> .....	41
<b>Tabla 7.</b> Contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e hipoglucémica ( $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa) de <i>Pseugognaphalium obtusifolium</i> .....	45
<b>Tabla 8.</b> Compuestos fenólicos encontrados por HPLC-DAD en el extracto de <i>Pseudognaphalium obtusifolium</i> .....	47

## RESUMEN

El uso de plantas medicinales se remonta a tiempos ancestrales, cuyo conocimiento empírico se ha preservado y transmitido intergeneracionalmente a lo largo de milenios. La medicina tradicional indígena representa un recurso invaluable para las comunidades. Particularmente, en la Sierra Tarahumara diversas plantas medicinales han sido utilizadas con fines curativos, sin embargo, los estudios científicos sobre la composición fitoquímica de las plantas usadas aún son limitados. En este trabajo de investigación se realizó un análisis fitoquímico de cuatro plantas que se utilizan en la medicina tradicional en la Sierra Tarahumara: *Ligusticum porteri*, *Pteridium aquilinum*, *Zornia venosa*, *Pseudognaphalium obtusifolium*. Se realizaron pruebas en donde se empleó el reactivo de Folin-Ciocalteu para la cuantificación de fenoles totales y se analizaron mediante el método en gradiente de cromatografía de alta resolución en conjunto con un detector en arreglo de diodos (HPLC-DAD) con el propósito de cuantificar e identificar los compuestos fenólicos en las especies estudiadas, por otro lado, para la determinación de flavonoides totales se utilizó la técnica de cloruro de aluminio. Para la evaluación de la actividad antioxidante se utilizó el ensayo para medir la capacidad bloqueadora de los radicales libres 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) y el ensayo para ABTS (ácido 2,2'-azino-bis 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) con el fin de evaluar la eficacia de distintos mecanismos de acción antioxidante. Para la evaluación de la actividad hipoglucemiante, se aplicaron métodos basados en la inhibición de las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa, técnicas utilizadas comúnmente para analizar la capacidad de inhibir su capacidad enzimática. Los resultados revelaron los siguientes valores en las técnicas realizadas con *Ligusticum porteri*: fenoles totales 49.05 (mg EAG/g ES) y en su análisis cromatográfico (HPLC-DAD) se detectó 1 ácido fenólico, 1 dihydroflavonoide, 3 flavonoles y 11 flavonas, flavonoides totales 0.95 (mg EQ/g ES), DPPH\* 3.49 mg/mL (EC<sub>50</sub>), ABTS\*+ 0.49 mg/mL (EC<sub>50</sub>), y no se encontró actividad inhibitoria en las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa. Para la especie *Pteridium aquilinum*: fenoles totales 111.43 (mg EAG/g ES), y en su análisis cromatográfico (HPLC-DAD) se detectó 1 ácido fenólico, 10 flavonas, flavonoides totales 14.94 (mg EQ/g ES), DPPH\* 88.13 (%), ABTS\*+ 97.64 (%),  $\alpha$ -amilasa 40.53(% a 10 mg/mL),  $\alpha$ -glucosidasa 46.48 (% a 10 mg/mL). En la especie *Zornia venosa* se encontró en

fenoles totales 25.76 (mg EAG/g ES) y en su análisis cromatográfico (HPLC-DAD) se detectó 14 flavonas y 2 flavonoles, flavonoides totales 9.78 (mg EQ/g ES), DPPH\* 2.92 mg/mL (EC<sub>50</sub>), ABTS\*+ 0.56 mg/mL (EC<sub>50</sub>) y no se encontró actividad inhibitoria en las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa. Para la especie *Pseugognaphalium obtusifolium* se obtuvo un valor en fenoles totales 50.71 (mg EAG/g ES) y en su análisis cromatográfico (HPLC-DAD) se detectó 12 flavonas y 4 flavonoles, flavonoides totales 20.81 (mg EQ/g ES), DPPH\* 1.39 mg/mL (EC<sub>50</sub>), ABTS\*+ 0.42 mg/mL (EC<sub>50</sub>), y solo se encontró actividad inhibitoria con la enzima  $\alpha$ -glucosidasa mostrando un valor de 4.97 mg/mL (EC<sub>50</sub>). Los hallazgos obtenidos en el estudio constituyen la primera fuente de información científica sobre la mayoría de las especies de plantas utilizadas. Además, los resultados no solo se validan desde un enfoque experimental, sino que también fortalece y promueve el reconocimiento de la medicina tradicional y la utilidad que le han conferido principalmente las comunidades indígenas, dado a que es su único recurso para solventar enfermedades, ya que la mayoría de estas comunidades tienen un acceso limitado a los servicios médicos.

## ABSTRACT

The use of medicinal plants dates back to ancient times, and empirical knowledge of these plants has been preserved and transmitted intergenerationally for millennia. Traditional indigenous medicine represents an invaluable resource for communities. In the Sierra Tarahumara, particularly, various medicinal plants have been used for healing purposes; however, scientific studies on the phytochemical composition of the plants used are still limited. In this research, a phytochemical analysis was conducted on four plants used in traditional medicine in the Sierra Tarahumara: *Ligusticum porteri*, *Pteridium aquilinum*, *Zornia venosa*, and *Pseudognaphalium obtusifolium*. Tests were carried out using the Folin-Ciocalteu reagent for the quantification of total phenols and were analyzed by the high-performance gradient chromatography method in conjunction with a diode array detector (HPLC-DAD) in order to quantify and identify the phenolic compounds in the studied species, on the other hand, for the determination of total flavonoids the aluminum chloride technique was used. For the evaluation of the antioxidant activity, the assay to measure the blocking capacity of free radicals 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and the assay for ABTS (2,2'-azino-bis 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) were used in order to evaluate the efficacy of different antioxidant action mechanisms. For the evaluation of hypoglycemic activity, methods based on the inhibition of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase enzymes were applied, techniques commonly used to analyze the ability to inhibit their enzymatic capacity. The results revealed the following values in the techniques performed with *Ligusticum porteri*: Total phenols 49.05 (mg EAG/g ES) and in its chromatographic analysis (HPLC-DAD) 1 phenolic acid, 1 dihydroflavonoid, 3 flavonols and 11 flavones were detected, total flavonoids 0.95 (mg EQ/g ES), DPPH\* 3.49 mg/mL (EC<sub>50</sub>), ABTS\*+ 0.49 mg/mL (EC<sub>50</sub>), and no inhibitory activity was found in  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase enzymes. For the species *Pteridium aquilinum*: total phenols 111.43 (mg EAG/g ES), and in its chromatographic analysis (HPLC-DAD) 1 phenolic acid, 10 flavones, total flavonoids 14.94 (mg EQ/g ES) were detected, DPPH\* 88.13 (%), ABTS\*+ 97.64 (%),  $\alpha$ -amylase 40.53 (% at 10 mg/mL),  $\alpha$ -glucosidase 46.48 (% at 10 mg/mL). In the species *Zornia venosa*, total phenols were found to be 25.76 (mg EAG/g ES) and in its chromatographic analysis (HPLC-DAD), 14 flavones and 2 flavonols were detected, total flavonoids 9.78 (mg EQ/g

ES), DPPH\* 2.92 mg/mL (EC<sub>50</sub>), ABTS\*+ 0.56 mg/mL (EC<sub>50</sub>) and no inhibitory activity was found in the enzymes  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase. For the species *Pseugognaphalium obtusifolium* a value of total phenols 50.71 (mg EAG/g ES) was obtained and in its chromatographic analysis (HPLC-DAD) 12 flavones and 4 flavonols were detected, total flavonoids 20.81 (mg EQ/g ES), DPPH\* 1.39 mg/mL (EC<sub>50</sub>), ABTS\*+ 0.42 mg/mL (EC<sub>50</sub>), and only inhibitory activity was found with the enzyme  $\alpha$ -glucosidase showing a value of 4.97 mg/mL (EC<sub>50</sub>). The findings obtained in the study constitute the first source of scientific information on most of the plant species used. Furthermore, the results are not only validated experimentally, but also strengthen and promote the recognition of traditional medicine and the usefulness it has been accorded, primarily by Indigenous communities, given that it is their only resource for treating illnesses, as most of these communities have limited access to medical services.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el uso de plantas medicinales ha formado un papel de suma importancia en el mantenimiento de la salud de los seres vivos. Su uso terapéutico se ha ido perfeccionando de generación en generación a base de prácticas empíricas, lo cual ha contribuido significativamente en la medicina tradicional (Fagetti, 2011). En las décadas recientes se ha incrementado el uso de la medicina tradicional, dado a que se han percibido como alternativas más seguras. En este contexto, se calcula que aproximadamente el 80% de los habitantes recurren a la medicina tradicional con el fin de atender su salud (Prieto et al., 2004).

Asimismo, los metabolitos secundarios han resultado esenciales en las plantas medicinales, ya que cumplen con funciones clave como en mecanismos de adaptación y defensa. Estos compuestos bioactivos son fundamentales y forman la base terapéutica de numerosas aplicaciones de tratamientos médicos o medicinales (Rojas et al., 2015).

El uso tradicional de las plantas medicinales *Ligusticum porteri*, *Pteridium aquilinum*, *Pseudognaphalium obtusifolium* y *Zornia venosa* es amplio en la sierra Tarahumara, dado a que se le atribuyen varias propiedades terapéuticas las cuales han sido basadas en conocimientos empíricos y se han transmitido de generación en generación. Sin embargo, a pesar de las utilidades que se les han atribuido, existe una deficiencia significativa en investigaciones y estudios científicos que respalden la composición fitoquímica y efectos bioactivos de las especies mencionadas. Por lo tanto, esta deficiencia representa un gran vacío de información, lo que dificulta la aceptación de las especies en la medicina convencional o medicina moderna.

El objetivo de esta investigación busca caracterizar el potencial terapéutico de cuatro especies de vegetales utilizadas en la medicina tradicional Tarahumara: *Ligusticum porteri*, *Pteridium aquilinum*, *Pseudognaphalium obtusifolium* y *Zornia venosa*, mediante un análisis fitoquímico para cuantificar y perfilar los compuestos fenólicos y, por otro lado, realizar una evaluación biofuncional con técnicas para determinar la capacidad antioxidante y la actividad hipoglucémica.

Finalmente, este estudio pretende fundamentar y validar científicamente las propiedades medicinales que se le han atribuido a estas cuatro plantas endémicas de la región de la Sierra Tarahumara. Es fundamental la contribución al conocimiento científico mediante la generación de datos cuantitativos que permitan validar o refutar las propiedades terapéuticas atribuidas a las especies vegetales. Además, este enfoque no solo respaldaría su potencial farmacológico, sino que también reforzaría la importancia de preservar tanto la biodiversidad de esta región montañosa como los saberes ancestrales de las comunidades indígenas Tarahumaras.

## I. ANTECEDENTES

### 1.1 La Medicina tradicional

El aprovechamiento de las plantas para ser utilizadas con fines medicinales se remonta a tiempos ancestrales, evidenciando así la relación simbiótica entre los humanos y el entorno natural, enfocándose en la búsqueda de soluciones para mantener y restaurar la salud. A medida que la inteligencia se desarrollaba en los primeros homínidos, el instinto dio paso a la razón, y es así como la búsqueda de plantas utilizables paso de ser intuitiva a ser un conocimiento empírico en diversas culturas y el tiempo. El entendimiento acerca de las propiedades de las plantas medicinales ha sido transmitido durante miles de generaciones a lo largo del tiempo (Sabini et al., 2019). Este saber ancestral ha sido preservado principalmente a través de la tradición oral, asegurando que la riqueza y el conocimiento acumulado no se pierda con el paso de los años (Fagetti et al., 2011).

Según Chifa (2011) las más de 250,000 especies de plantas conocidas, han sido esenciales para la supervivencia de los seres humanos. Desde tiempos prehistóricos, las plantas no fueron vistas solamente como alimento, sino también como curativas o venenosas, información valiosa que fueron obteniendo y que posteriormente se comenzó a registrar.

Por otro lado, Morón y Jardines (1997) afirmaron que la medicina tradicional es una de las practicas más importantes, ya que está presente en todo el mundo y, además es parte del patrimonio cultural de cada país. Su aceptación ha dependido totalmente de los factores culturales de cada comunidad por lo que ha dificultado la transferencia de saberes entre diferentes culturas.

Desde una perspectiva más general, la Organización Mundial de la Salud (OMS) integra a la medicina tradicional dentro de los sistemas de la salud, dándole así un reconocimiento a su relevancia dentro de esta rama, aunque ha sido subvalorada, en algunos países llamándola medicina no convencional. Además, aunque en algunos lugares la medicina moderna coexiste con la medicina tradicional a esta se le considera como una opción secundaria o complementaria. No obstante, principalmente en las comunidades indígenas, la medicina tradicional

sigue siendo la primera opción para conservar la salud, debido a su accesibilidad y la fuerte conexión cultural (Tácuna et al., 2020).

## **1.2 La medicina tradicional en México**

En 1975 en México, se fundó el Instituto de Plantas Medicinales (IMEPLAN), suceso que marcaría un antes y un después en la importancia del reconocimiento de la medicina tradicional en México como un recurso válido para ser investigado y utilizado dentro del mundo de la ciencia y la medicina convencional. Eventualmente, el instituto buscó promover una industria farmacéutica en México, que se basara principalmente en el conocimiento empírico de las comunidades indígenas, sobre el uso y valor que se les ha atribuido a las plantas medicinales para tratar enfermedades. Para cumplir este objetivo, se trató de integrar los conocimientos tradicionales con un enfoque científico con la finalidad de desarrollar nuevos medicamentos o sus derivados (Sharon y Bussmann, 2014).

Huerta (1997), menciona que en México gran parte del conocimiento tradicional sobre las plantas medicinales se remonta a épocas prehispánicas y actualmente muchos grupos étnicos continúan preservando técnicas y saberes. Asimismo, afirma que desde hace más de tres décadas surgió la necesidad de incorporar la medicina tradicional en el sistema de salud mexicano con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los pacientes.

Uno de los principales enfoques en cuanto a la incorporación de las prácticas medicinales en los tratamientos actuales, ha sido el estudio de especies vegetales y remedios naturales con el objetivo de validar su efectividad. Por otro lado, se promueve el conocimiento intercultural entre estados y países, lo cual conlleva a formar profesionales expertos en lo que es la medicina tradicional. Naciones como Tailandia, la India y China han logrado progresos notables en la integración en los sistemas de salud en donde se combinan ambos enfoques: la medicina moderna y la medicina tradicional. Asimismo, algunos países latinoamericanos como Nicaragua, Brasil y México han adquirido avances significativos con la integración de ambas medicinas (OMS, 2002; Eyzaguirre, 2016).

### 1.3 Medicina tradicional en Chihuahua

En Chihuahua las plantas medicinales forman parte del gran patrimonio cultural de la región, a través de los años la medicina tradicional se ha vuelto sumamente importante primordialmente en las comunidades indígenas y rurales. En una investigación realizada por Royo et al. (2013), se menciona el registro de al menos 288 plantas útiles, de las cuales 77 de ellas son usadas medicinalmente y, en la actualidad el 63% de estas son empleadas con algún fin curativo por los rarámuris (Bye, 1986, Royo et al., 2013). Consecuentemente, en otro estudio de investigación se menciona que dentro del país se identificaron aproximadamente 24,042 especies de plantas de las cuales se registraron 3,000 con potencial medicinal, lo que se aproxima al 12.5% de la diversidad vegetal en México. Así mismo, se le otorga el cuarto lugar al estado de Chihuahua respecto a la riqueza que posee en plantas medicinales, dando relevancia al gran potencial en este ámbito (Meza et al., 2016).

Algunas de las plantas más utilizadas son el Chuchupate (*Ligusticum porteri*), Pata de cuervo (*Pteridium aquilinum*), Hierba de la víbora (*Zornia venosa*) y el Gordolobo (*Pseudognaphalium obtusifolium*). Son utilizadas para tratar diversas enfermedades como: trastornos gastrointestinales, enfermedades respiratorias, fiebre, bronquitis, neumonía, diabetes y asma entre otros.

#### 1.4 *Ligusticum porteri* (Chuchupate)

Dentro de la familia Apiaceae se encuentra el género *Ligusticum*. Este género se distribuye mundialmente con alrededor de 60 especies. Entre las especies más reconocidas medicinalmente se destaca *Ligusticum porteri*, una hierba perenne que se desarrolla mayormente en partes montañosas rocosas, en investigaciones previas se menciona que es encontrada desde el oeste de Estados Unidos hasta el estado de Chihuahua, México (Cegiéla et al., 2005).

Es identificada también con otros nombres comunes en nuestro país, tales como, Osha, hierba del cochino, chuchupate y raíz de cochino (Linares y Bye, 1987). Por otro lado, esta planta se reconoce principalmente por la gran utilidad que se le ha dado a la raíz en la medicina tradicional mexicana para tratar diversos malestares como, trastornos gastrointestinales, reumatismo, enfermedades respiratorias, fiebre y dolores de garganta (Juárez et al., 2014; León et al., 2011). También en estudios previos con la planta, Turi y Murch (2010), descubrieron que la raíz de *Ligusticum porteri*, además de ingerirse al prepararse como infusión, se utiliza externamente en el cuerpo humano para tratar picaduras de escorpiones e infecciones en la piel. Además, *Ligusticum porteri* se destaca como una de las plantas más comercializadas en Estados Unidos y México (Rivero et al., 2012).

El grupo étnico rarámuri representa una de las comunidades indígenas más importantes del Norte del país y están ubicados principalmente en el estado de Chihuahua. Los cuales han utilizado medicinalmente el rizoma de *Ligusticum porteri* para tratar diversas enfermedades, como la tuberculosis, diabetes y dolores estomacales (Velázquez et al., 2015).



Figura 1. Especie *Ligusticum porteri*

### 1.5 *Pteridium aquilinum* (Pata de cuervo)

*Pteridium aquilinum* pertenece a la familia Dennstadiaceae, es llamada comúnmente como helecho, ha sido identificada como una de las malezas más comunes en todo el mundo. Dado que su distribución es bastante extensa y su crecimiento es prospero, se deduce que este helecho es lo suficientemente apto para desarrollarse en varios tipos de suelos (Vetter, 2009). Asimismo, este helecho se destaca por ser altamente tolerable ante perturbaciones humanas ya que es localizada en espacios abiertos después de talas o incendios (Marrs y Watt, 2006).

Fenwick (1989) menciona que además de que esta maleza se expande con facilidad en los suelos, también es causante de enfermedades en animales que la consuman, tales como la hematuria enzoótica bovina, la ceguera brillante y el síndrome hemorrágico agudo. Por otro lado, cabe resaltar que, pese a que existen investigaciones previas en las cuales se indican toxicidad de la planta, el uso de sus rizomas y frondas son utilizadas como alimento en algunos países. Además, estudios realizados en Japón y Brasil han demostrado una relación con la aparición de ciertos cánceres en humanos y el consumo de brotes jóvenes de *Pteridium aquilinum* (Xu et al., 2009).

En particular, recientemente Silva et al. (2023), mencionan que algunos de los componentes tóxicos encontrados en la planta son glucósidos activos,

tiaminasas y ptaquilosido, los cuales son sumamente perjudiciales en animales y, aunque ellos normalmente no eligen el helecho como alimento, suelen consumirlo cuando hay escasez de otros pastos, durante sequias o cuando el helecho se encuentra en conjunto con algunas plantas.

Zhao et al, 2022 mencionan que *Pteridium aquilinum* contiene diversos compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides, saponinas, terpenos, polisacáridos, entre otros y, por otro lado, afirman que también es utilizado por los habitantes de Corea y China tanto en alimento como en medicina. Aunado a esto, Li et al. (2024) argumentan que esta especie posee gran potencial como un nuevo enfoque terapéutico y nutricional para la protección de los riñones y por otra parte prevenir la hiperuricemia y el daño renal.

Además, en otro estudio reciente Huwae y Silahooy (2024), determinaron en *Pteridium aquilinum* propiedades antiinflamatorias al aplicar un gel elaborado a base del extracto de esta especie en heridas de incisión, confirmando su efectividad. También Sharma et al. (2024) reportaron que comer los brotes puede tratar el cáncer, mientras que por decocción puede utilizarse para tratar la tuberculosis. Se describe la planta como rica en compuestos bioactivos que propician beneficios antioxidantes, anticancerígenos, antibacterianos y antiinflamatorios.



Figura 2. Especie *Pteridium aquilinum*

### 1.6 *Zornia venosa* (Hierba de la víbora)

*Zornia venosa* pertenece a la familia Fabaceae, esta especie se distribuye ampliamente en el estado de Chihuahua, Durango, Sonora y Jalisco (Villaseñor, 2016). Utilizada ampliamente como medicina tradicional en China, se reporta que se usa para el tratamiento de enfermedades hepáticas como la hepatitis y la cirrosis (Xie et al., 2021). Además, en un estudio reciente se detectó la presencia de compuestos con efectos antioxidantes, antiinflamatorios.

Inclusive, Arunkumar et al. (2012) investigaron acerca de las especies del género *Zornia* los resultados arrojaron una efectividad en la actividad anticancerígena in vitro e in vivo.



Figura 3. Especie *Zornia venosa*

### 1.7 *Pseudognaphalium obtusifolium* (Gordolobo)

*Pseudognaphalium obtusifolium* es una especie que se encuentra dentro de la familia Asteraceae es una de las familias con especies de plantas con flores más grandes (Gobinath y Yadav, 2024).

*Pseudognaphalium obtusifolium* es una de las especies más relevantes utilizadas en la medicina tradicional por indígenas americanos del este de Norteamérica (Jackson, 2002). En la actualidad se cuenta con estudios previos donde se resalta que los nativos americanos utilizaban esta planta con fines terapéuticos y se le ha reconocido por su nombre común: Gordolobo (Ballentine, 2019).

Además, en un estudio reciente de Elizondo et al. (2022) mencionan que *Pseudognaphalium obtusifolium* es rica en sesquiterpenos, que son compuestos como la cacalona y cacalol los cuales son capaces de regular los niveles de insulina y además cuentan con propiedades antiinflamatorias y antioxidantes.



Figura 4. Especie *Pseudognaphalium obtusifolium*

## 1.8 Metabolitos secundarios

Las plantas llevan a cabo procesos metabólicos que son esenciales para su existencia, principalmente la fotosíntesis y el desarrollo o producción de proteínas. También tienen un metabolismo secundario, el cual es el responsable de generar diversos compuestos químicos, a los cuales se les ha atribuido el nombre de metabolitos secundarios (MS), cuyos compuestos cumplen funciones significativas en roles tanto ecológicos como fisiológicos de las plantas. Sin embargo, aunque los MS son moléculas orgánicas que las plantas sintetizan, no participan directamente en procesos esenciales como el crecimiento o la reproducción, pero si cumplen otras funciones para lograr su supervivencia (Almaraz et al., 2006).

Las plantas, durante su evolución han adquirido diversas estrategias para protegerse y sobrevivir. Estas estrategias se presentan en condiciones adversas, tanto bióticas como abióticas. Suelen defenderse de agentes patógenos biológicos y depredadores a través de cambios en la composición y en la estructura de la pared celular de la planta, la cual se complementa con la presencia de pelos glandulares espigas o espinas para su protección (Jiménez et al., 2003).

Por otro lado, dentro de las estrategias de protección química destaca la producción de metabolitos secundarios (MS), los cuales se sintetizan para conseguir una adaptación ante las perturbaciones ambientales que se presentan, las cuales pueden ser causadas por la presencia de otros seres vivos o por eventos naturales catastróficos (Lustre, 2022).

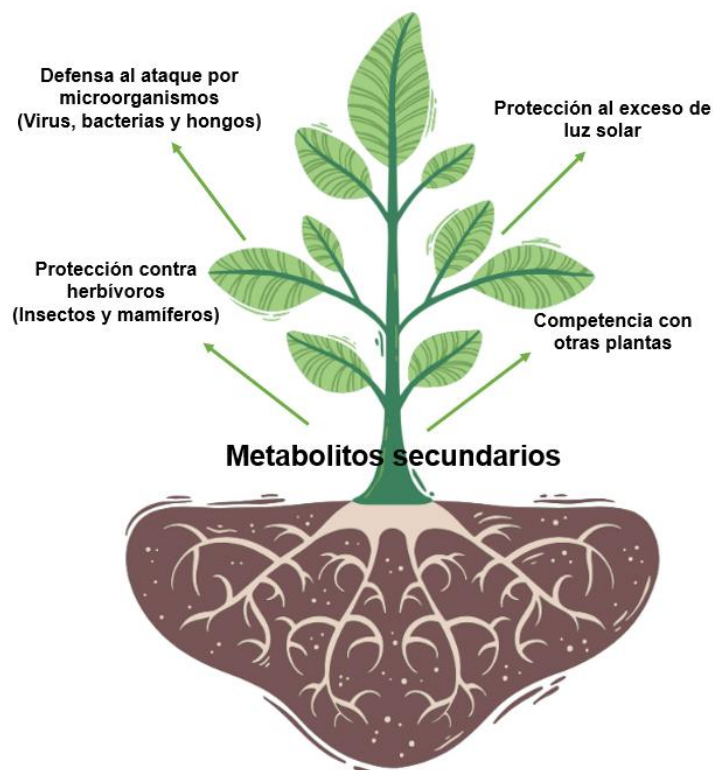


Figura 5. Casos en los que las plantas producen metabolitos secundarios como parte de su respuesta a amenazas

Los metabolitos secundarios se clasifican en tres grupos: alcaloides, compuestos fenólicos y terpenos (Figura 6), cuyos compuestos son desarrollados con el objetivo de proteger a las plantas y, actualmente son la base de pesticidas naturales, aromatizantes, colorantes y hasta medicamentos (Lustre, 2022). Por lo tanto, mientras las plantas producen los metabolitos secundarios con el objetivo de sobrevivir, por otro lado, benefician a los seres humanos en diversos ámbitos (Pérez y Ávalos, 2009).

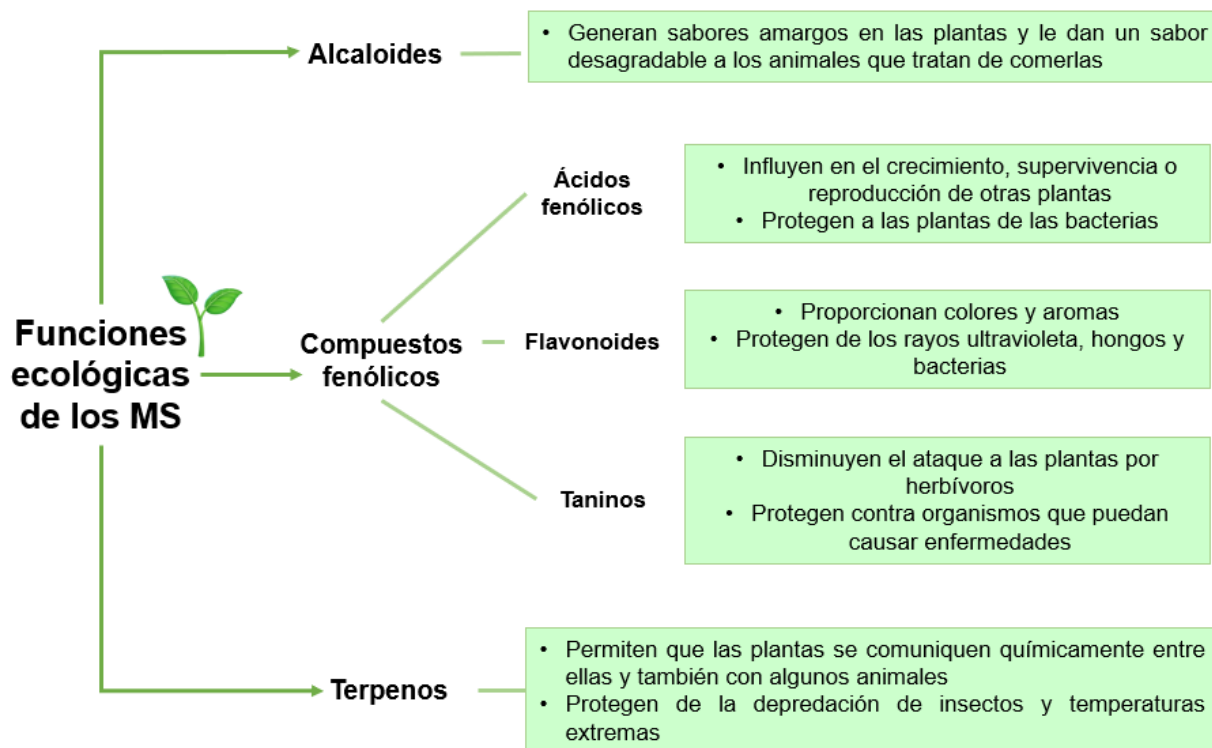


Figura 6. Funciones ecológicas y fisiológicas de los principales metabolitos secundarios.

### 1.8.1 Fenoles

Dentro de los metabolitos secundarios se encuentran los compuestos fenólicos o también identificado como el grupo funcional fenol, cuyos tienen funciones en las rutas metabólicas, tanto en primarias como en secundarias. Son ampliamente conocidos como fenilpropanoides o polifenoles ya que tienen como estructura base el fenol, que se distingue por poseer un anillo aromático en conjunto a un grupo hidroxilo (Figura 7) (Pérez y Avalos, 2009).

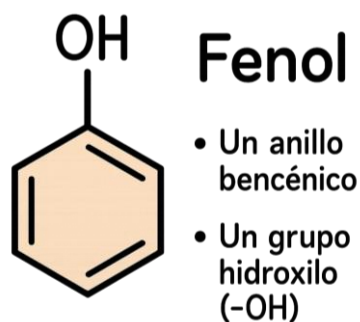


Figura 16. Estructura química del Fenol



### 1.8.2 Flavonoides

Los flavonoides son compuestos pigmentarios que se encuentran principalmente en los vegetales ya que funcionan como protectores en el organismo ante el estrés oxidativo. Además, se encuentran ampliamente distribuidos en las plantas, hortalizas y frutas. Tienen en su estructura química dos anillos fenólicos, denominados A y B, que se unen a través de un anillo compartido que se encuentra en el centro de tipo pirano, al cual se le identifica como anillo C. Esta configuración en su estructura simula un esqueleto básico de difenilpirano (Figura 9), que caracteriza a la mayoría de los compuestos flavonoides (Jiménez et al., 2009).

Estos compuestos poseen en su estructura química de varios grupos hidroxilo fenólicos (Figura 9) y una alta capacidad para captar y neutralizar iones de hierro y otros metales pesados, por lo que hace que los flavonoides adquieran un potencial antioxidante significativo (Martínez et al., 2002).

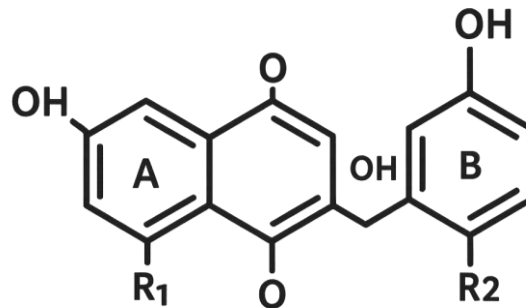


Figura 9. Estructura química de los flavonoides

## 1.9 Actividad antioxidante

Los radicales libres son moléculas químicas inestables que poseen un electrón desapareado en su orbital, por lo que les confiere alta reactividad. Es por ello que esto les permite interactuar con otras moléculas estables y por consecuencia esto genera un proceso de oxidación en cadena. Lo que finalmente afecta progresivamente las estructuras celulares y tejidos (Martínez et al., 2003).

En los últimos años, se han realizado investigaciones exhaustivas de como los radicales libres pueden afectar al organismo y causar enfermedades. No obstante, los hallazgos indican que la oxidación celular está relacionada significativamente con diversos problemas de salud, sin embargo, aún es inconcluso si estas afectaciones son la causa principal o es un efecto secundario que agrava los síntomas (Viada et al., 2017). Es por ello que, desde hace tiempo, se ha indagado sobre los antioxidantes en las plantas y como se pueden incluir en la dieta del ser humano para reducir o prevenir la probabilidad de padecer enfermedades crónicas no infecciosas o asociadas al envejecimiento (Pastene, 2009).

Los antioxidantes son sustancias químicas encargadas de neutralizar o inhibir los procesos de oxidación. Entre ellos se encuentran las isoflavonas y los tocoferoles, cuya función principal es prevenir la generación de los radicales libres y estabilizar los que ya existen, para así impedir una reacción en cadena (Coba et al., 2010).

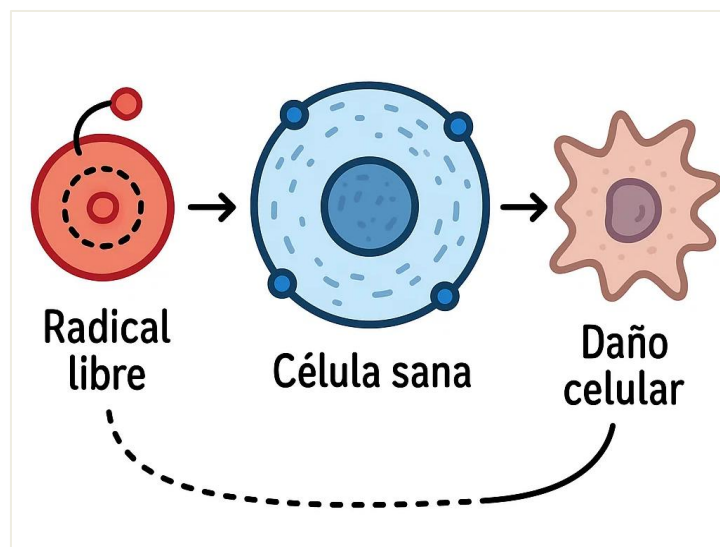


Figura 18. Función de los radicales libres (RL)

### 1.10 Actividad hipoglucémica

La Diabetes Mellitus es considerada una pandemia del siglo XXI, ya que evidencia una gran evolución en términos epidemiológicamente alarmantes a nivel mundial. Según datos internacionales, en la segunda década, cerca de 382 millones de personas padecían esta enfermedad, en donde cuatro de cada cinco casos correspondían a individuos provenientes de países subdesarrollados socioeconómicamente (Agudelo y Dávila, 2015).

Por otro lado, es de suma importancia entender que las estrategias de prevención y los medicamentos involucrados en el control de la glucosa en la sangre, deben de generar efectos secundarios mínimos, para así garantizar la eficacia y seguridad en uso prolongado de los tratamientos y mejorar la calidad de vida del paciente. Asimismo, el uso de las plantas medicinales en el manejo de la diabetes puede ser beneficioso al combinarlo con los tratamientos convencionales, dado que existen especies vegetales con gran potencial hipoglucemiante, que además de ser efectivas, cuentan con bajos o en ocasiones nulos efectos secundarios (Luengo, 2006).

La capacidad inhibidora de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa es relevante para la prevención y tratamiento en el manejo de la Diabetes Mellitus tipo 2, la cual inhibe la actividad de la enzima y por ende hace más lenta la digestión de los carbohidratos y, por lo tanto, esto evita los disparos excesivos de azúcar en la sangre después de ingerir alimentos y así retrasa la adquisición de los niveles de insulina. Esto es sumamente significativo principalmente en individuos con resistencia a la insulina (Van de Laar et al., 2005). Por otro lado, también es importante detectar la capacidad inhibitoria en la enzima  $\alpha$ -amilasa, enzima que se encuentra en grandes cantidades en la saliva y, además, actúa como enzima digestiva clave, cuyo trabajo es catalizar la hidrólisis del enlace alfa-1,4-glucosídico que son encontrados en el almidón y en carbohidratos complejos, comenzando así su degradación mientras los alimentos son masticados, lo que posteriormente facilita la digestión de estos carbohidratos (Tabernilla et al., 2019).

## II. JUSTIFICACIÓN

Las plantas medicinales han sido de gran importancia para la supervivencia de los seres humanos desde tiempos ancestrales. Particularmente en la Sierra Tarahumara la medicina tradicional además de verse como una alternativa terapéutica de fácil acceso para las comunidades indígenas también forma parte de su identidad cultural. Por otro lado, la sierra Tarahumara destaca por su gran diversidad florística y su amplia visión cultural, lo cual ha llevado a poseer un gran conocimiento sobre las plantas medicinales que predominan en su región, sin embargo, todo este conocimiento que ha ido trascendiendo de generación en generación por décadas, sin embargo, ha ido en decadencia en los últimos años, dado a que las comunidades indígenas son cada vez menos y a su vez pierden sus costumbres y tradiciones. Es por ello, por lo que es relevante estudiar plantas que son conocidas por sus usos terapéuticos en esta zona y por ende validar su potencial como proveedor de compuestos activos que nos puedan ayudar en tratamientos en enfermedades emergentes o existentes.

Profundizar en la investigación de plantas medicinales que han sido poco investigadas en nuestro país, no solo tendría un impacto dentro de la investigación y la medicina, sino que también daría paso a la preservación de las tradiciones culturales de las comunidades indígenas de la sierra Tarahumara y por otro lado contribuiría a la conservación de las especies de plantas que han sido explotadas durante años sin concientización ambiental.

### III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el perfil fenólico, capacidad antioxidante y actividad hipoglucémica de cuatro especies de plantas utilizadas en la medicina tradicional en la sierra Tarahumara?

### IV. OBJETIVOS

#### 4.1. Objetivo general

- Evaluar la composición fenólica, actividad antioxidante y actividad hipoglucémica in vitro de los extractos etanólicos de las plantas: *Ligusticum porteri*, *Pteridium aquilinum*, *Zornia venosa*, *Pseudognaphalium obtusifolium*, utilizadas en la medicina tradicional tarahumara.

#### 4.2. Objetivos específicos

1. Determinar el contenido de compuestos fenólicos por el método de Folin-Ciocalteu.
2. Evaluar el contenido de flavonoides a través de reacciones colorimétricas.
3. Caracterizar la composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD.
4. Determinar la actividad antioxidante in vitro mediante los ensayos DPPH\* y ABTS\*+.
5. Evaluar la actividad hipoglucémica mediante la determinación de la capacidad inhibidora de las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Colecta de material vegetal

El municipio de Guachochi se encuentra en el estado de Chihuahua, dentro de la Sierra Madre Occidental. Este territorio se destaca como uno de los más relevantes para las comunidades Tarahumaras debido a su posición geográfica y sus características demográficas, razón por la cual se le ha denominado como Sierra Tarahumara. Situado entre las coordenadas 26° 36' y 27° 42' latitud norte, y 106° 49' y 107° 51' longitud oeste. Guachochi abarca altitudes que varían entre los 400 y los 2800 metros sobre el nivel del mar y la temperatura varía de 8°C a los 26°C es por ello por lo que el clima de la región varía significativamente, desde climas templados en las zonas altas, hasta climas más cálidos en los valles y cañones (INEGI, 2010). Además, el municipio de Guachochi se divide en 27 ejidos, de los cuales en tres de ellos se encuentran las 4 plantas de estudio. En el ejido de Tonachi se encuentran *Zornia venosa* (26°56'52.09"N,107°16'28.20"O) y también *Pseudognaphalium obtusifolium* (26°56'50.65"N, 107°16'30.62"O), por otro lado, en el ejido de Santa Anita se encontró la especie de *Ligusticum porteri* (26°50'49.69"N, 107°21'14.66"O) y por último en el ejido de Rocheachi se localiza *Pteridium aquilinum* (27° 4'33.26"N, 107° 9'11.25"O). De cada uno de los individuos se colectaron tallos y hojas a excepción de *Ligusticum porteri* de la cual se tomó solo su raíz. La colecta se realizó en los meses de julio-agosto del año 2024.

Para la obtención de los extractos de cada una de las especies, se secó el material vegetal en la estufa de secado a 37°C, para posteriormente molerlo y poder obtener un polvo fino y finalmente realizar el proceso de extracción.

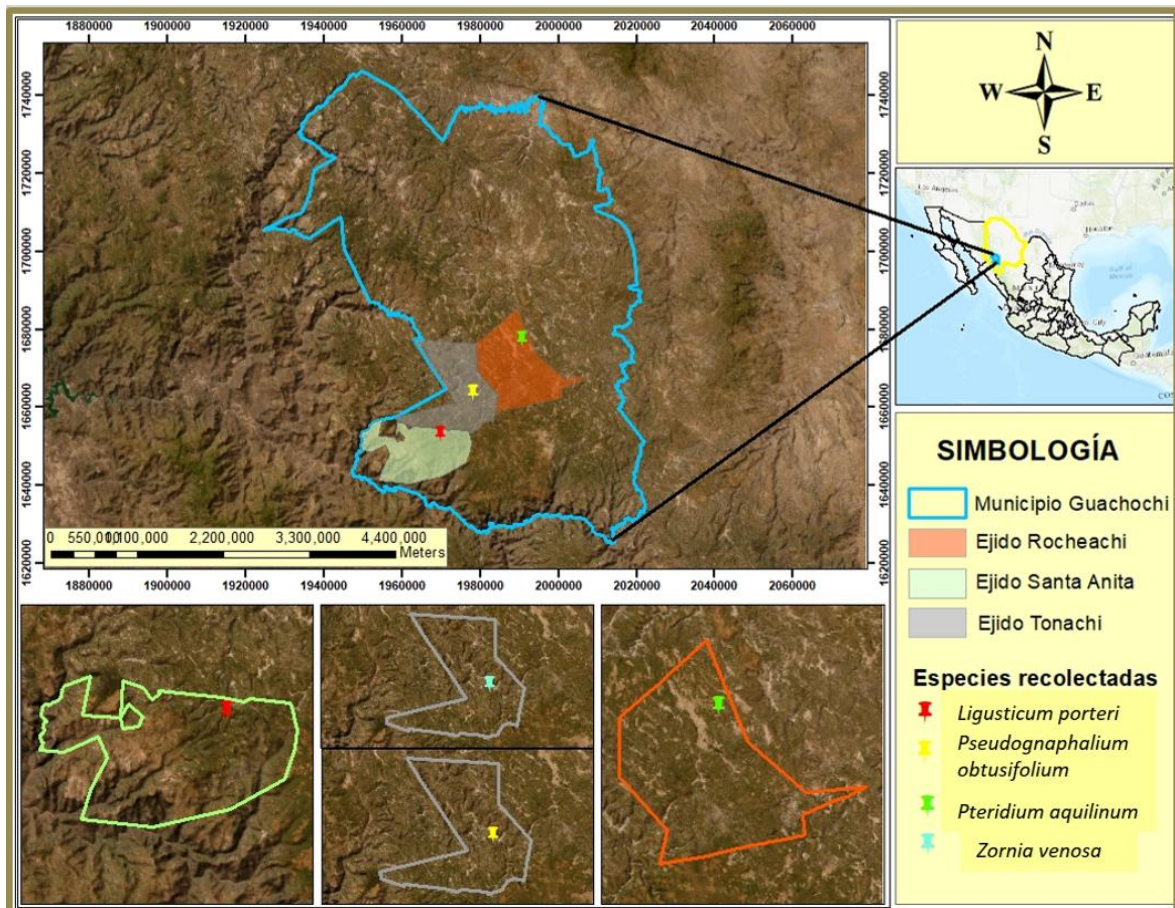


Figura 11. Colecta del material vegetal (Municipio de Guachochi, Chihuahua).

## 5.2 Preparación de los extractos etanólicos

Los extractos etanólicos se prepararon de acuerdo con Kim y Lee (2002). Se pesaron 4 g de muestra en polvo fino y 36 mL de etanol al 80 % (v/v) para obtener una relación 1:10, todo esto por triplicado para cada especie. Posteriormente se colocaron las muestras en el sonicador por una hora y después se agitaron por 24 horas a 100 rpm. Luego, las muestras se llevaron a la centrifuga a 6000 rpm por 10 minutos a 25°C. Luego, el sobrenadante de cada muestra se recuperó y se colocó en vasos de precipitado, los cuales se pusieron en obscuridad total para dejar secar a temperatura ambiente. Se calculó el rendimiento de los extractos, y se preparó a una concentración de 100 mg/mL añadiendo etanol al 80%.

## 5.3 Análisis químico

### 5.3.1 Determinación de fenoles totales

La determinación del contenido total de fenoles se realizó siguiendo la metodología descrita por Singleton y Rossi (1965), con ligeras modificaciones.. Para el análisis se preparó etanol al 80% para utilizarlo como blanco en sustitución de la muestra. Se agregaron 100  $\mu\text{L}$  de la muestra (extracto etanólico preparado a una concentración 1 mg/mL). Se mezclaron con 500  $\mu\text{L}$  de reactivo de Folin relación 1:10. Después se agitó y se esperó 4 minutos para finalmente incorporar 400  $\mu\text{L}$  de solución de carbonato de sodio ( $\text{NaCO}_3$ ) y se agitó nuevamente. Las muestras se dejaron en reposo en total oscuridad durante dos horas para garantizar una buena reacción de color. Para finalizar, la absorbancia se midió a una longitud de onda de 735 nm utilizando el espectrofotómetro (UV-vis Genesys-10s).

Para la cuantificación del contenido fenólico total de las muestras se construyó una curva estándar basada las concentraciones de fenoles totales se determinaron con una curva de calibración de ácido gálico ( $A_{760} = 9.5439 [\text{ácido gálico}] + 0.0046$   $r = 0.9855$ ). Los resultados se expresaron en microgramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco (mg GAE/g ES).

### 5.3.2 Determinación de flavonoides totales

La determinación de flavonoides totales se llevó a cabo siguiendo la técnica descrita por Ordoñez et al. (2006) con ligeras modificaciones. Para su análisis se preparó etanol al 80% para utilizarlo como blanco en sustitución de la muestra. A 500  $\mu\text{L}$  de la muestra (extracto etanólico preparado a una concentración 1 mg/mL) se agregaron 500  $\mu\text{L}$  de la solución de cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ) y proseguimos a agitar. La mezcla se dejó reposar durante una hora en total oscuridad para lograr la reacción química del complejo de flavonoides con el cloruro de aluminio. Finalmente se midió la absorbancia a 420 nm utilizando el espectrofotómetro (UV-vis Genesys-10s).

Para la cuantificación total de flavonoides se realizó una curva estándar se utilizó una curva de calibración de quercetina ( $A_{420} = 30.753 [\text{quercetina}] + 0.0643$

$r = 0.9913$ ) y los resultados se expresaron en microgramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto seco (mg EQ/g ES).

### 5.3.3 Caracterización de la composición fenólica

La determinación de los perfiles fenólicos se realizó por el método en gradiente de HPLC-DAD descrito por Campos y Markham (2007). El equipo que se utilizó fue un HPLC-DAD marca Perkin Elmer Series 200 con una columna analítica Perkin Elmer Brownlee (4.6 x 250 mm, 5  $\mu$ m). El solvente A de la fase móvil fue agua acidificada (con ácido ortofosfórico a un pH de 2.5), el solvente B fue acetonitrilo.

El gradiente fue el siguiente: iniciando con 100% de A, disminuyendo a 91% a los 12 minutos, disminuyendo a 87% a los siguientes 12 minutos, a 67% a los siguientes 12 minutos, y a 57% a los siguientes 10 minutos, manteniéndose esa proporción hasta completar 60 minutos que dura el análisis. El volumen de la inyección fue de 100  $\mu$ L. El flujo fue de 0.8 mL/min. Se registraron los cromatogramas a 260 nm. Los espectros UV de cada compuesto se registró entre 200 y 400 nm, usando un detector de arreglo de diodos (Perkin Elmer Series 200).

La información estructural de cada compuesto resuelto en los cromatogramas se obtuvo por comparación de sus tiempos de retención (TR) y características espectrales ( $\lambda$  max ) con los de los siguientes estándares: ácido clorogénico (TR: 27.76 minutos;  $\lambda$  max : 243sh, 296sh, 326), ácido caféico (TR: 53.13 minutos;  $\lambda$  max : 239sh, 295sh, 318), ácido p-cumárico (TR: 37.2 minutos;  $\lambda$  max : 294sh, 308), quercetina (TR: 47.05 minutos;  $\lambda$  max : 255, 268sh, 299sh, 370), rutina (quercetina-3-O- [ramnosil(1-6)glucósido]; TR: 33.65 minutos;  $\lambda$  max : 256, 265sh, 295sh, 356), quercitrina (quercetina-3-O-ramnósido; TR: 38.54 minutos;  $\lambda$  max : 255, 264sh, 295sh, 348), y naringenina (TR: 52.25 minutos,  $\lambda$  max : 289, 335sh). Además, se obtuvo información estructural de los compuestos tomando en cuenta la teoría UV para flavonoides y ácidos fenólicos desarrollada por Campos y Markham (2007).

## **5.4 Determinación de la actividad antioxidante**

### **5.4.1 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH**

La capacidad bloqueadora del radical libre se analizó mediante el ensayo de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH\*) técnica de acuerdo con Brand-Williams et al. (1995). Se utilizaron cinco concentraciones de extractos etanólicos de 0.10 hasta 2 mg/mL. Para la preparación del reactivo DPPH\* se pesaron 0.0023 g del compuesto, previamente refrigerado para garantizar su estabilidad y se procedió a añadir 100 mL de etanol absoluto para posteriormente llevarlo al sonicador. Después se preparó el blanco con etanol absoluto para leer la absorbancia del reactivo DPPH\* a 515 nm en el espectrofotómetro, buscando obtener una lectura de 0.600 nm.

Se preparó un control con etanol absoluto en lugar de la muestra. Se seleccionaron tubos de 1.5 mL y se agregaron 25 µL de las muestras a concentraciones diferentes, todo por triplicado. Después incorporamos 975 µL del radical DPPH\* luego agitamos suavemente para lograr homogeneidad y dejamos reposar media hora en obscuridad.

Al finalizar, se leyó la absorbancia de las muestras en el espectrofotómetro a 515 nm. Este procedimiento permite estimar la actividad antioxidante de los extractos etanólicos y su capacidad para neutralizar los radicales libres del reactivo DPPH\* a una concentración efectiva media al 50 %.

### **5.4.2 Capacidad bloqueadora del radical ABTS**

La capacidad bloqueadora del radical ABTS\*+ se realizó basándonos en la técnica descrita con Re et al. (1999) con ligeras modificaciones. Se emplearon cinco concentraciones de extractos etanólicos que variaron de 0.10 hasta 2 mg/mL. Por otro lado, para la preparación de las soluciones se pesaron 0.0096 g del reactivo ABTS\*+ y se disolvieron en 2.5 mL de agua destilada. De manera similar para la solución del persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) se pesaron 0.00164 g y se disolvió en 2.5 mL de agua destilada. Posteriormente ambas soluciones se mezclaron y se dejaron reposar en total obscuridad 16 horas. Al transcurrir el tiempo de incubación, el radical ABTS\*+ se diluyó con etanol absoluto para ajustar la concentración y así

leer en el espectrofotómetro a 735 nm con el objetivo de obtener una absorbancia de 0.700 nm del radical.

Como blanco se utilizó etanol absoluto y de manera similar el control se preparó con etanol absoluto en lugar de la muestra. Después en tubos de 1.5 mL se agregaron 50  $\mu\text{L}$  de las muestras a diferentes concentraciones, todo por triplicado. Luego se incorporaron 1000  $\mu\text{L}$  de reactivo ABTS<sup>•+</sup>, se agitó suavemente para lograr homogenizar y dejamos reposar durante 6 minutos en total oscuridad. Finalmente, se midió la absorbancia de las muestras a 735 nm en el espectrofotómetro UV-vis Genesys-10s.

## **5.5 Actividad hipoglucémica**

### **5.5.1 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -glucosidasa**

Para realizar esta técnica se siguió el protocolo de Kim et al., (2010) con ligeras modificaciones. Se utilizó un buffer de Phosphate-buffered saline (PBS) a una concentración 0.1 M a un pH óptimo de 6.8. La enzima por utilizar fue  $\alpha$ -glucosidasa obtenida de *Saccharomyces cerevisiae* 1U/mL. Por otro lado, el sustrato p-Nitrophenyl  $\beta$ -D-glucopyranoside (PNPG) se utilizó a una concentración de 5 mM y carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). La muestra a utilizar fue disuelta en DimetilSulfóxido (DMSO) al 1%.

Se preparó el blanco con etanol absoluto y para cada una de las muestras se agregó 100  $\mu\text{L}$  de la muestra disuelta en DMSO 1%, 100  $\mu\text{L}$  de la enzima y 100  $\mu\text{L}$  de buffer, se agitó y se incubó a 37°C en la estufa durante 15 min. Transcurrido el tiempo de incubación se añadió 100  $\mu\text{L}$  de sustrato PNPG y se agitó e incubó a 37°C en la estufa durante 10 min y finalmente se detuvo la reacción agregando 750  $\mu\text{L}$  de carbonato de Sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y se midió la absorbancia a 405 nm.

### 5.5.2 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -amilasa

Para evaluar la capacidad inhibidora de los extractos sobre la enzima  $\alpha$ -amilasa obtenida de páncreas porcino, se siguió el protocolo de Dong et al., (2012). Se preparó la enzima  $\alpha$ -amilasa a 1U/mL y fue diluida en DMSO al 1%. Consiguientemente se preparó un buffer de fosfato de sodio (NaOH) a 0.02 M con un pH óptimo de 6.9 y se preparó una solución de almidón al 0.5%. Por último, se preparó el reactivo DNS: ácido 3,5-dinitrosalicílico al 1% y de tartrato de potasio al 12% e hidróxido de sodio al 0.4 M a un pH de 6.8.

La reacción se realizó añadiendo 200  $\mu$ L de la enzima  $\alpha$ -amilasa, 40  $\mu$ L la muestra disuelta en DMSO 1% y se incubó a 25°C en la estufa durante 10 min. Posteriormente se agregaron 400  $\mu$ L de solución de almidón y se agitó suavemente para volver a incubar a 37°C durante 20 min. Trascurrido el tiempo la reacción se detuvo con la adición del reactivo DNS y la cual se hirvió durante 5 min, después se dejó enfriar para proseguir a realizar una dilución 1:10 (100  $\mu$ L de reacción en 900  $\mu$ L en agua destilada). Finalmente se centrifugó a 10,000 rpm durante 5 min para leer su absorbancia a 540 nm.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 *Ligusticum porteri*

#### 6.1.1 Contenido de fenoles y flavonoides totales

La determinación de fenoles totales de los extractos etanólicos de la raíz de *Ligusticum porteri* reveló un contenido total de 49.05 mg EAG/g ES (Tabla 1). Cuyos valores se encuentran superiores a los reportados por Quin et al. (2022) para *Ligusticum chuanxiong* Hort, una especie del mismo género, altamente utilizada en la medicina tradicional en China, quienes reportaron  $26.02 \pm 3.41$  expresados en mg EAG/g ES. Sin embargo, también existen estudios como los de Slimani et al. (2022) con *Lavandula angustifolia* (Lavanda) planta medicinal ampliamente utilizada, los cuales en su estudio obtuvieron valores superiores a los nuestros con 67.96 mg EAG/g ES.

En la determinación de flavonoides se obtuvo un total de 0.95 mg EQ/g ES (Tabla 1). Estos resultados indican un contenido inferior de flavonoides en las muestras analizadas en comparación con lo que reportaron Soussi y et al. (2022) en su estudio con *Pimpinella anisum*, especie perteneciente a la misma familia que *Ligusticum porteri* (*Apiaceae*), ya que exhibieron valores superiores a los nuestros con  $2.05 \pm 0.26$  mg EQ/g ES, valores expresados en las mismas unidades y, además, se utilizó en ambas investigaciones una curva de calibración de quercetina. No obstante, los resultados de este estudio resultan inferiores los que reportan Slimani et al. (2022) con *Lavandula angustifolia* (Lavanda) especie que presento 53.5 mg EQ/g ES, especie ampliamente reconocida en la medicina tradicional tanto nacional como internacionalmente.

#### 6.1.2 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH y ABTS

La actividad antioxidante de los extractos etanólicos de la raíz de *Ligusticum porteri* se evaluó mediante la determinación de la concentración efectiva media al 50% para el radical DPPH y ABTS ( $EC_{50}$ ). Para el radical DPPH se obtuvo un valor de 3.46 mg/mL (Tabla 1). Sin embargo, en estudios reportados para el mismo género por Quin et al. (2022) reporta valores de  $EC_{50}$  de 0.018 mg/mL en *Ligusticum chuanxiong*. Dado a que el  $EC_{50}$  más bajo se correlaciona con una mayor actividad

antioxidante se sugiere que la especie de *Ligusticum chuanxiong* posee una mejor actividad antioxidante en comparación con *Ligusticum porteri*. Por otro lado, los resultados de nuestro estudio son superiores a los que mostró Velázquez et al. (2024) en una investigación con *Aloe vera* (Sábila), revelando un IC<sub>50</sub> de 14.832 mg/mL.

Para la evaluación de la capacidad antioxidante mediante el ensayo ABTS se obtuvo un EC<sub>50</sub> de 0.49 mg/mL (Tabla 1). Otros estudios muestran valores semejantes a los nuestros como Quin y colaboradores (2022) quienes reportaron para *Ligusticum chuanxiong*, un EC<sub>50</sub> de 0.310 mg/mL. Asimismo, al comparar nuestros resultados con los exhibidos por Velázquez et al. (2024) se puede observar que nuestros resultados son superiores, ya que, en su estudio con *Aloe vera* (Sábila), una planta medicinal sumamente reconocida se reportó un IC<sub>50</sub> 16.553 mg/mL.

### 6.1.3 Capacidad inhibidora de la enzima α-glucosidasa y α-amilasa

Los resultados obtenidos del ensayo utilizado para medir la capacidad inhibitoria de las enzimas α-glucosidasa y α-amilasa con el extracto de la raíz de *Ligusticum porteri* no mostró actividad, dado a que se evaluó mediante un rango de concentraciones de 0.05 mg/mL hasta 13 mg/mL.

**Tabla 1. Contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e hipoglucémica (α-glucosidasa y α-amilasa) de *Ligusticum porteri*.**

Extracto	Fenoles Totales (mg EAG/g ES)	Flavonoides Totales (mg EQ/g ES)	Actividad antioxidante EC <sub>50</sub>		Actividad hipoglucémica EC <sub>50</sub>	
			DPPH* (mg/mL)	ABTS*+ (mg/mL)	α-glucosidasa (mg/mL)	α-amilasa (mg/mL)
<b><i>Ligusticum porteri</i></b>	49.05 ± 0.02	0.95 ± 0.01	3.49 ±	0.49 ±	-	-

mg EAG/g ES: miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco; mg EQ/g ES: miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto seco; EC<sub>50</sub> DPPH: concentración efectiva al 50% para el radical DPPH; EC<sub>50</sub> ABTS: concentración efectiva al 50% para el radical ABTS; EC<sub>50</sub> α-glucosidasa: concentración efectiva al 50% para la inhibición de la enzima α-glucosidasa; EC<sub>50</sub> α-amilasa: concentración efectiva al 50% para la inhibición de la enzima α-amilasa.

#### 6.1.4 Composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD

El cromatograma obtenido, muestra un perfil con 16 picos bien definidos (Figura 12), por lo que esto sugiere la presencia de al menos 16 compuestos en el extracto de *Ligusticum porteri*. Asimismo, para la identificación de cada pico se obtuvieron los espectros y de acuerdo a la teoría desarrollada por los autores Campos y Markham (2007) y comparando los tiempos de retención (RT) en conjunto la absorbancia máxima ( $\lambda_{\max}$ ) (Figura 13), se detectaron: 1 ácido fenólico (1), 1 dihydroflavonoide (2), 3 flavonoles (13,14,16) y 11 flavonas (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14,16) consiguientemente con sus derivados que se muestran en la Tabla 2. La presencia del compuesto apigenin concuerda con lo que reportó Kozhanova y et al. (2025), con la especie *Aegopodium podagraria* una especie perteneciente a la familia Apiaceae.

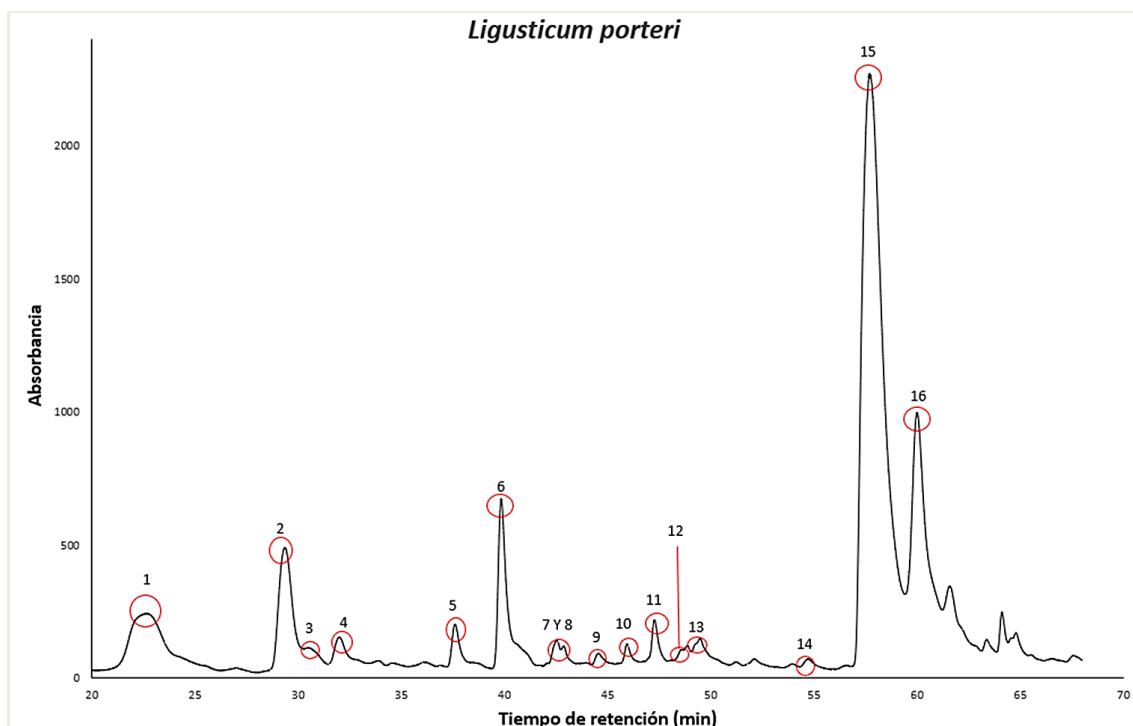


Figura 12. Cromatograma de HPLC-DAD de extractos de la raíz de *Ligusticum porteri*. Los compuestos 1-16 corresponden a los descritos en la Tabla 1.

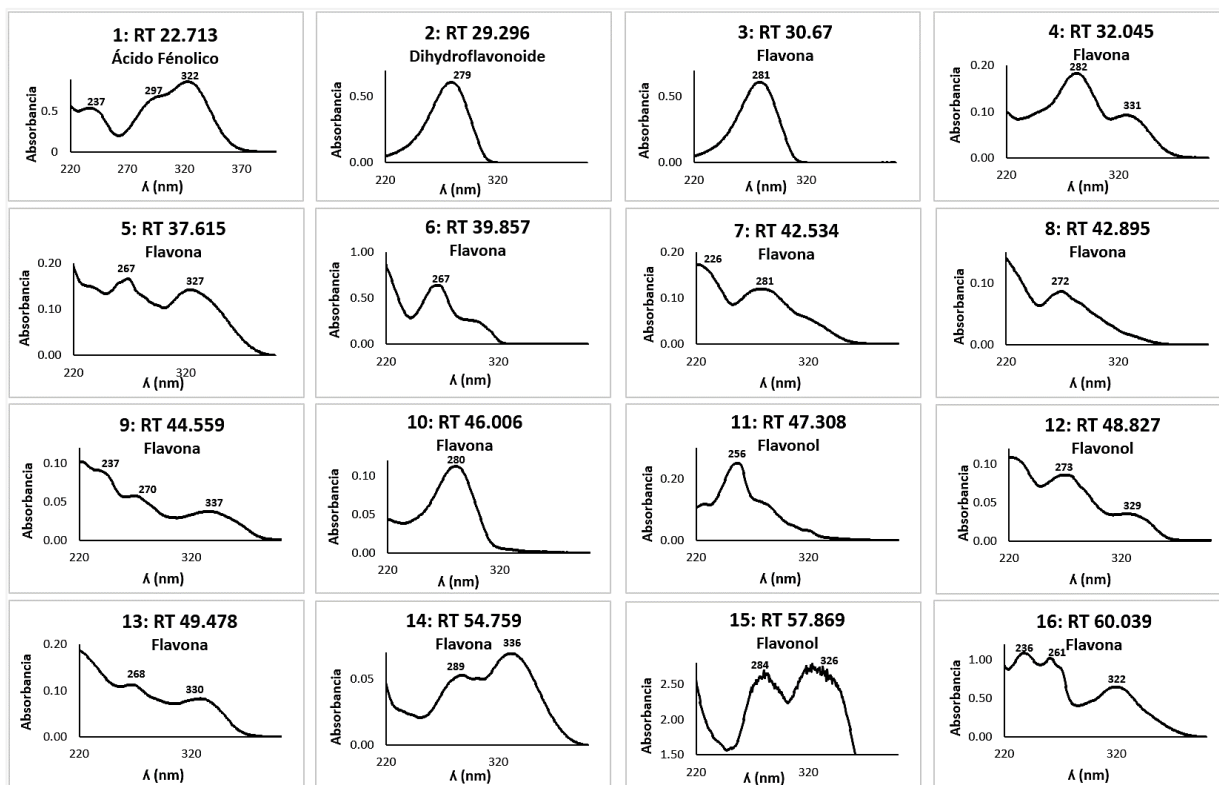


Figura 13. Espectros de los principales compuestos fenólicos encontrados en los extractos de la raíz de *Ligusticum porteri*.

Tabla 2. Compuestos fenólicos encontrados por HPLC-DAD en el extracto de la raíz de *Ligusticum porteri*

Número de compuesto	Tiempo de retención (min)	λ max	Tipo de compuesto fenólico
1	22.71	237, 297sh, 322	Ácido fenólico (Derivado de 2,4 dihydroxybenzoic acid)
2	29.29	279	Dihydroflavonoide (Derivado de Fustin)
3	30.67	281	Flavona (Derivado de Luteolin)
4	32.04	282, 331	Flavona (Derivado de Vitexin)
5	37.61	267, 327	Flavona (Derivado de Acetin)
6	39.85	267,302sh	Flavona (Derivado de Genkwanin)
7	42.53	226 281	Flavona (Derivado de Chrysin)
8	42.89	272, 289sh	Flavona (Derivado de 5-hydroxyflavona)
9	44.55	237, 270, 337	Flavona (Derivado de Apigenin)
10	46	280	Flavona (Derivado de Chrysoeriol)
11	47.3	256, 276sh	Flavonol (Derivado de Isohamnetin)
12	48.82	273, 329	Flavonol (Derivado de Isohamnetin 3-0 rutinoside)
13	49.47	268, 330	Flavona (Derivado de Chrysoeriol)
14	54.75	284,336	Flavona (Derivado de Chrysoeriol)
15	57.87	284, 326	Flavonol (Derivado de Trimetoxiflavonol)
16	60.03	236, 261, 322	Flavona (Derivado de Hidroxi-4-metoxiflavona)

### 6.1.5 Correlación de Pearson

El análisis de la correlación de Pearson realizado con el extracto etanólico de la raíz de la especie *Ligusticum porteri*, exhibió relaciones significativas principalmente entre el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y los ensayos DPPH y ABTS (capacidad antioxidante). Asimismo, los valores que se presentan en la matriz de correlación (Figura 14) interpreta las asociaciones entre las técnicas realizadas.

Se encontró una correlación significativa de  $r= 0.97$  entre fenoles totales y flavonoides totales, esto podría deberse a que los metabolitos secundarios están relacionados en el extracto de *Ligusticum porteri*, y, por lo tanto, muy probablemente las rutas biosintéticas de estos compuestos pueden estar coordinadas.

Se encontraron valores relevantes entre fenoles y los ensayos DPPH con un resultado de  $r= -0.67$  y para ABTS  $-0.48$ , en este caso, los valores negativos nos revelan que una mayor concentración de fenoles se asocia en menos absorbancia en los ensayos de capacidad antioxidante, lo cual se interpreta como benéfico, dado a que una mayor capacidad antioxidante exhibe una mayor decoloración del reactivo y por ende este revela una menor absorbancia. Por otro lado, la correlación más fuerte con el ensayo DPPH infiere que los fenoles pueden ser más eficaces para radicales libres de este radical que los que se derivan del radical ABTS.

Asimismo, de una manera muy similar, exhibieron valores significativos entre flavonoides y el ensayo DPPH con un resultado de  $r= -0.48$  y para ABTS un resultado de  $r= -0.67$ .

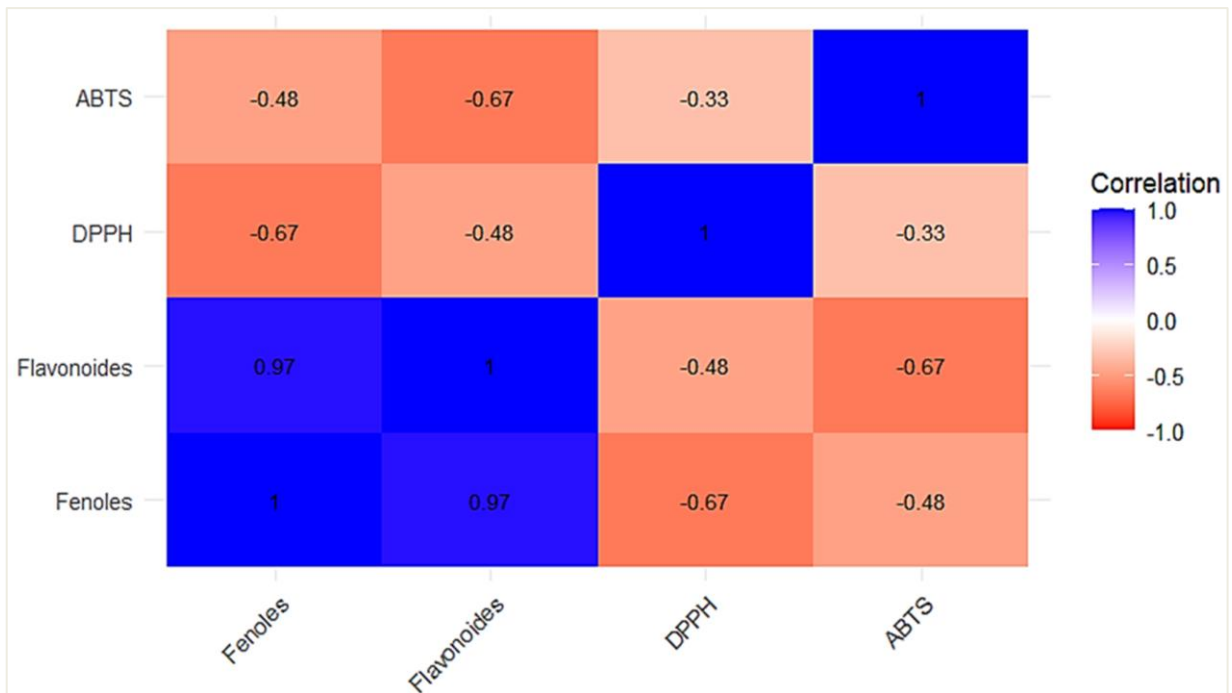


Figura 14. Matriz de correlación de Pearson entre las técnicas realizadas en extractos de *Ligusticum porteri*. Valores de  $r^*$  que aproximan a 1 reflejan una correlación positiva fuerte, valores que se aproximan a -1 reflejan una correlación negativa fuerte entre las variables, mientras que valores aproximados a 0 indican que existe poca o ninguna relación entre ellas.

## 6.2 *Pteridium aquilinum*

### 6.2.1 Contenido de fenoles y flavonoides totales

Se cuantificó el contenido total de fenoles del extracto de *Pteridium aquilinum* utilizando el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, en donde los resultados obtenidos fueron de 111.43 mg EAG/g ES (Tabla 2). Sompila et al. (2021) obtuvieron con la misma especie un total de 75.18 mg EAG/g M. La diferencia entre nuestro valor obtenido y el que reporta Sompila et al. (2021) puede deberse a diferencias en la metodología de extracción y por otro lado a la variación geográfica u estacional al momento de la recolección de la planta. Además, al contrastar nuestros hallazgos con otras investigaciones realizadas con plantas medicinalmente ampliamente utilizadas, específicamente en el estudio de investigación reportado por Martínez-Rocha et al. (2007) sobre *Lippia graveolens Kunth* (Orégano) especie medicinal de relevancia etnobotánica y con amplia distribución. Se encuentra una notable disparidad cuantitativa, ya que la investigación exhibió un contenido de fenoles totales de 211 mg EAG/g ES.

En la determinación del contenido total de flavonoides se obtuvieron los resultados de 14.94 mg EQ/g ES (Tabla 3), valores superiores en comparación de los que reportaron Sompila et al. (2021), para *Pteridium aquilinum*, revelando un valor de 2.58 mg ECa/g ES en el cual se utilizó una curva de calibración con catequina. La disparidad observada en la cuantificación de flavonoides totales entre ambas investigaciones puede atribuirse en gran medida, a la utilización de diferentes estándares para la construcción de las curvas de calibración. Además, Gutiérrez-Velázquez et al. (2025) reportaron valores más altos que los encontrados en nuestro estudio, en plantas utilizadas en la medicina tradicional como *Dichondra argentea* (Oreja de ratón) con valores de 31.56 mg EQ/g ES.

No obstante, los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que el extracto de *Pteridium aquilinum* es una fuente rica en compuestos fenólicos, los cuales son mayormente conocidos por sus diversas propiedades biológicas como antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Vargas et al., 2018).

### 6.2.2 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH y ABTS

En la evaluación del porcentaje de inhibición de los radicales libres DPPH con extracto de la especie de *Pteridium aquilinum* se obtuvo un valor de 88.13% de inhibición a una concentración de 1 mg/mL (Tabla 3). En estudios previos Kardong et al. (2013), reportan para *Pteridium aquilinum* 84%. La similitud entre ambos resultados obtenidos, refuerzan la evidencia de la alta capacidad antioxidante de la especie *Pteridium aquilinum*. Sin embargo, otras plantas sumamente utilizadas nacional como internacionalmente, reportan un porcentaje de inhibición de 60.7% en especies como *Mentha piperita* (Menta) en el estudio de Siddeeg et al. (2018).

La capacidad antioxidante a través del ensayo de inhibición del radical ABTS mostró en su resultado un alto porcentaje de inhibición con 97.64% empleando una concentración de 1 mg/mL (Tabla 3). En consecuencia, estos valores nos indican un alto potencial en cuanto a la neutralización del radical libre ABTS lo que indica que los compuestos bioactivos presentes en el extracto de *Pteridium aquilinum* poseen una amplia capacidad para inactivar estos radicales libres, cuyos mecanismos son esenciales en lo que se refiere a la protección celular contra el estrés oxidativo. En concordancia con estos resultados obtenidos, estudios previos con la misma especie, documentados por los autores Kardong et al. (2013), reportaron un porcentaje de inhibición del 73.33. Asimismo, en una investigación con los tallos de *Grewia carpinifolia* (Crossberry) especie reconocida en la medicina tradicional, exhibió un resultado del 70.25%, valores inferiores a los nuestros (Adebiyi et al., 2017).

### 6.2.3 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa

La evaluación *in vitro* de la capacidad inhibitoria del extracto de *Pteridium aquilinum* ante la enzima  $\alpha$ -glucosidasa de *Saccharomyces cerevisiae*, nos reveló en el estudio realizado, una inhibición del 40.43% de inhibición a una concentración de 10 mg/mL (Tabla 3). Los resultados son presentados en porcentaje, los cuales indican la capacidad que tiene el extracto de *Pteridium aquilinum* para inhibir la enzima  $\alpha$ -glucosidasa. Por otro lado, en un estudio realizado por Ojimekwe et al. (2024), se evaluó el potencial de las fracciones de flavonoides que se extrajeron de *Pteridium aquilinum* para la inhibición de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa, que fue revelado

también en porcentaje de inhibición a diferentes concentraciones de las cuales con fin de comparar los resultados se tomó la concentración a 10 mg/mL en donde revelo un resultado de 52.03%. Los resultados obtenidos en esta investigación, muestra una menor capacidad para inhibir la enzima de  $\alpha$ -glucosidasa de *Saccharomyces cerevisiae* comparación con los valores que reportan Ojimekwe et al. (2024).

Los resultados del porcentaje de inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa que se obtuvo al utilizar el extracto etanólico de *Pteridium aquilinum* fueron calculados a una concentración de 10 mg/mL en donde se reveló un porcentaje de 46.48%. Por otro lado, hasta el momento, la actividad hipoglucemiante derivada de la capacidad de la inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa no ha sido objeto de estudio en investigaciones con esta especie en particular.

Sin embargo, a pesar de que el género *Pteridium* presenta una amplia distribución a nivel mundial (Le Duc et al., 2000) y también se encuentra extensamente en México (Eslava et al., 2020), hasta el momento no se han reportado estudios enfocados en moderar los niveles de glucosa a través de la inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa. Asimismo, esto podría deberse a que, en su mayoría, las investigaciones realizadas de este género y especie se han enfocado en la búsqueda de otras actividades biológicas.

Tabla 3. Contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e hipoglucémica ( $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa) de *Pteridium aquilinum*.

Extracto	Fenoles Totales (mg EAG/g ES)	Flavonoides Totales (mg EQ/g ES)	Actividad antioxidante % de inhibición		Actividad hipoglucémica % de inhibición	
			DPPH* (mg/mL)	ABTS*+ (mg/mL)	$\alpha$ -glucosidasa (10 mg/mL)	$\alpha$ -amilasa (10 mg/mL)
<b><i>Pteridium aquilinum</i></b>	111.43 $\pm$ 0.03	14.94 $\pm$ 0.04	88.13	97.64	40.53	46.48

mg EAG/g ES: miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco; mg EQ/g ES: miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto seco; DPPH: concentración en porcentaje % para inhibir el radical DPPH a la concentración mg/mL; ABTS: concentración en porcentaje % para inhibir el radical ABTS; % Inhibición  $\alpha$ -glucosidasa: concentración para la inhibición de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa a la concentración 10 mg/mL; % Inhibición  $\alpha$ -amilasa: concentración para la inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa a la concentración 10 mg/mL.

#### 6.2.4 Composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD

El extracto etanólico de *Pteridium aquilinum* se analizó cromatográficamente, empleando la técnica de HPLC en conjunto con un detector de arreglo de diodos, con el objetivo de separar, identificar y cuantificar los compuestos fenólicos presentes en la muestra.

El cromatograma mostró un perfil que se compone de 11 picos bien definidos (Figura 15), lo que sugiere que se encuentran al menos 11 compuestos en el extracto de *Pteridium aquilinum*. Para la identificación de cada uno de los espectros (Figura 16), se siguieron los criterios establecidos por Campos y Markham (2007) y se compararon tiempos de retención (RT) y longitudes de onda de absorbancia máxima ( $\lambda_{max}$ ) con la literatura expuesta de estos autores y este estudio. En consecuencia, como resultados, se encontró la presencia de un ácido fenólico (1) y diez flavonas (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11), en la Tabla 4 se detallan sus respectivos derivados.

Es importante resaltar que no se han reportado análisis cromatográficos similares en esta especie, en su género y familia taxonómica (Dennstaedtiaceae), lo que indica que el estudio con la especie *Pteridium aquilinum* es pionero en cuanto a estudios en cromatografía de esta planta y, además, abre un panorama nuevo para

investigaciones futuras enfocados a la exploración del potencial biológico y fitoterapéutico.

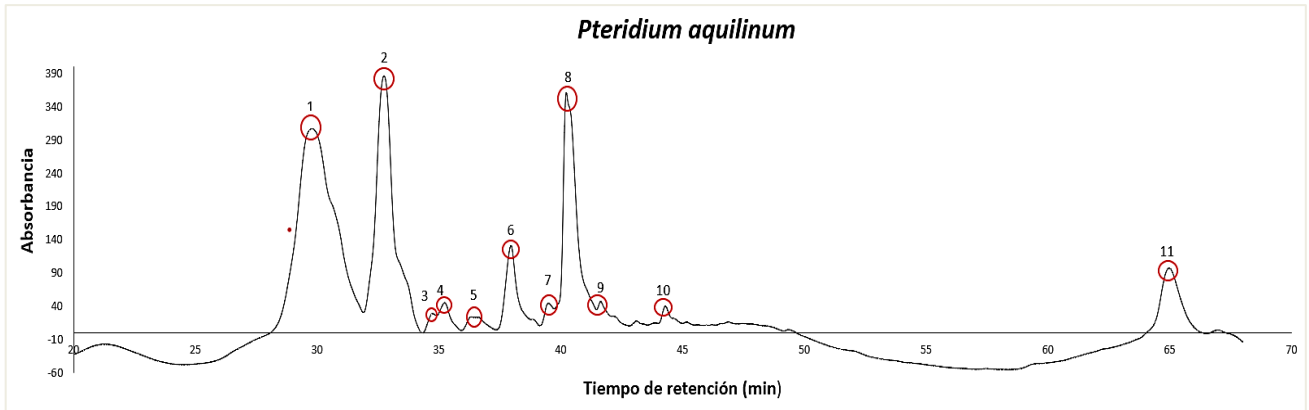


Figura 15. Cromatograma de HPLC-DAD de extractos de *Pteridium aquilinum*. Los compuestos 1-11 corresponden a los descritos en la Tabla 4.

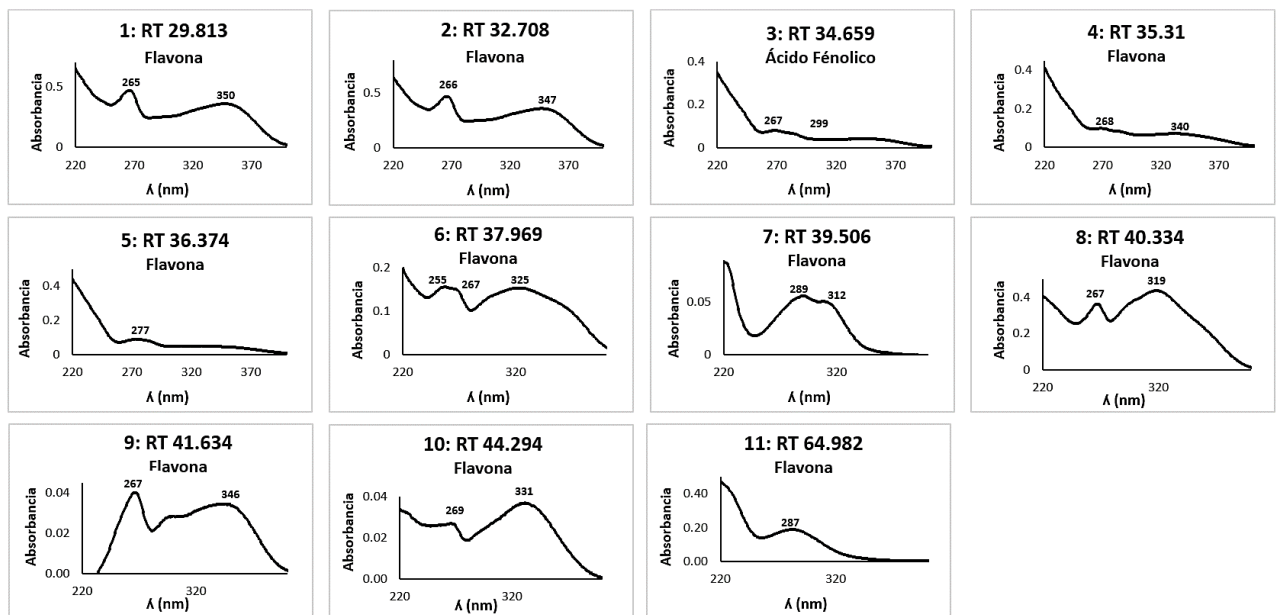


Figura 16. Espectros de los principales compuestos fenólicos encontrados en los extractos de *Pteridium aquilinum*

Tabla 4. Compuestos fenólicos encontrados por HPLC-DAD en el extracto de *Pteridium aquilinum*

Número de compuesto	Tiempo de retención (min)	$\lambda$ max	Tipo de compuesto fenólico
1	29.813	265, 350	Flavona (Derivado de Luteolin)
2	32.708	266, 347	Flavona (Derivado de Luteolin-7-O-rutinoside)
3	34.659	267,299	Ácido Fenólico (Derivado de ácido cafeico)
4	35.31	268, 340	Flavona (Derivado de Luteolin-7-O-glucoside)
5	36.374	277	Flavona (Derivado de Baicalein)
6	37.969	235,325	Flavona (Derivado de Apigenina)
7	39.506	289, 312	Flavona (Derivado de Baicalein)
8	40.334	289, 319	Flavona (Derivado de Apigenin)
9	41.634	267, 346	Flavona (Derivado de Luteolin)
10	44.294	269, 331	Flavona (Derivado de Genkwanin)
11	64.982	287	Flavona (Derivado de Tricetin)

### 6.2.5 Correlación de Pearson

La matriz de correlación de Pearson que se muestra en la Figura 17, en donde se revelan las relaciones entre las variables biológicas y químicas que se analizaron (actividad antioxidante e hipoglucémica y contenido total de fenoles y flavonoides).

Se encontró una correlación altamente significativa entre flavonoides y fenoles totales con una  $r= 0.97$ , lo que es esperado, ya que los flavonoides se encuentran dentro del grupo de compuestos fenólicos. Se observó relación entre los ensayos de determinación antioxidante (DPPH y ABTS), con una  $r= 0.55$ , que, aunque sus resultados son moderadamente positivos, su actividad podría diferir en cuanto a la sensibilidad a compuestos particulares, lo que muy probablemente se deba a las diferencias encontradas en los mecanismos de transferencia de los radicales libres.

Además, en las técnicas hipoglucémicas analizadas se encontró una correlación fuerte específicamente entre la enzima alfa-amilasa y el ensayo para la determinación antioxidante ABTS con una  $r= 0.61$ , lo que indica una asociación significativa entre la actividad inhibitoria de esta enzima y la presencia de los compuestos con capacidad de neutralizar el radical ABTS. También, se observó una correlación entre la enzima alfa-glucosidasa y el ensayo DPPH, aunque el

resultado de esta correlación no es tan fuerte, sigue siendo relevante. La doble función biológica de los compuestos bioactivos, encontrados en el extracto de *P. aquilinum* refuerzan su valor terapéutico, haciendo énfasis principalmente en enfermedades derivadas del estrés oxidativo y enfermedades metabólicas tales como la diabetes.

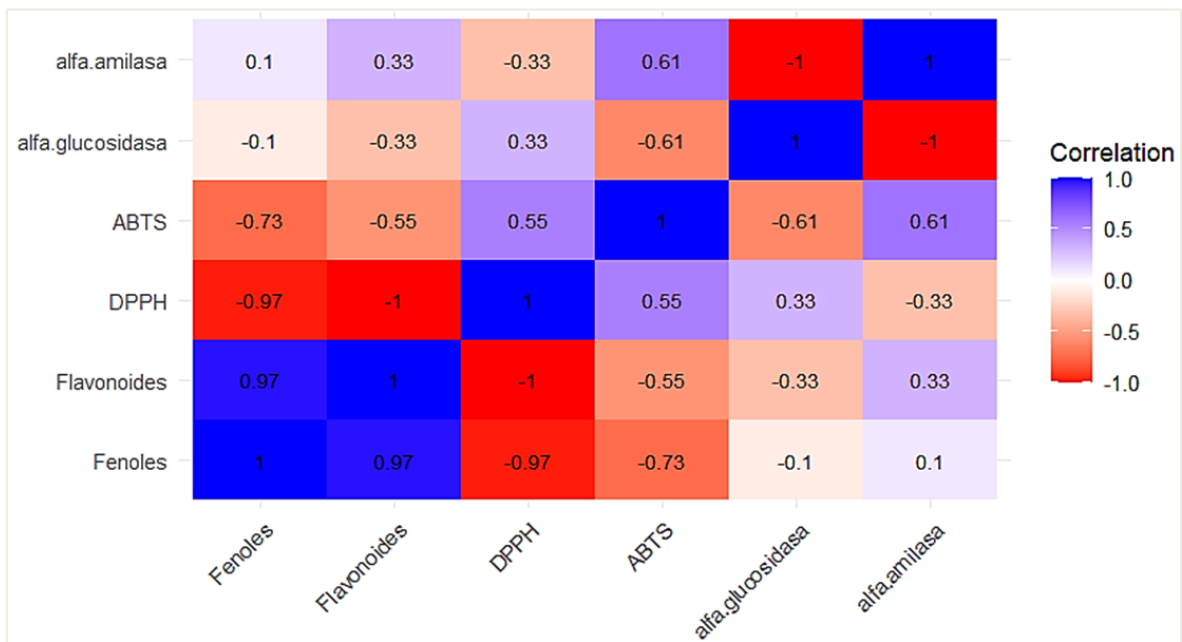


Figura 17. Matriz de correlación de Pearson entre las técnicas realizadas en extractos de *Pteridium aquilinum*. Valores de  $r^*$  que aproximan a 1 reflejan una correlación positiva fuerte, valores que se aproximan a -1 reflejan una correlación negativa fuerte entre las variables, mientras que valores aproximados a 0 indican que existe poca o ninguna relación entre ellas.

### 6.3 *Zornia venosa*

#### 6.3.1 Contenido de fenoles y flavonoides totales

En la presente técnica empleada para la determinación de fenoles totales en el extracto de *Zornia venosa*, se obtuvieron valores significativos de 25.76 mg EAG/g ES (Tabla 5). Al comparar estos resultados con un estudio realizado por Nascimento (2016) con *Zornia brasiliensis* (especie perteneciente a la misma familia botánica que *Zornia Venosa*), se observan diferencias significativas ya que Nascimento exhibió un contenido de fenoles totales mayores en *Zornia brasiliensis* con un total de 42.69 mg EAG/g ES.

Además, al comparar y analizar estos resultados con otra especie utilizada ampliamente en la medicina tradicional como *Rorippa nasturtium* var. *aquaticum* (Berro) se observa que los resultados que exhibe Gutiérrez-Velázquez et al. (2018) con 23.16 mg EQ/g ES son inferiores a los obtenidos en nuestro estudio.

En el contenido total de flavonoides de *Zornia venosa* se obtuvo un valor de 9.78 mg EQ/g ES (Tabla 5), nuestros valores son inferiores en comparación con los reportados por Fátima et al. (2024) en un estudio realizado con *Caesalpinia decapetala* en donde obtuvieron un valor de 29.16 mg RE/g. Pandey y Sharma (2022) reportan para *Rungia pectinata* (Planta seta) valores superiores a los nuestros con 47.87 mg EQ/g ES.

#### 6.3.2 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH y ABTS

Se evaluó la concentración del extracto de la especie *Zornia venosa* necesaria para inhibir en 50% los radicales DPPH y ABTS. Para el ensayo DPPH se obtuvo un valor significativo de 2.92 mg/mL ( $EC_{50}$ ) (Tabla 5). Al comparar estos hallazgos con los resultados que reveló David et al., (2007) en una investigación con *Zornia brasiliensis* un  $EC_{50}$  de 25.1 mg/mL. La importancia de obtener valores en el  $EC_{50}$  más bajos, como el que se presentó en el presente estudio con *Zornia venosa*, indica mayor eficiencia del extracto para lograr la neutralización de los radicales libres y lo que por ende indica una mayor actividad antioxidante. Otras investigaciones como las de Cvetanović et al. (2019), reportan resultados más bajos

obtenidos para *Matricaria chamomilla* (manzanilla) en la cual se muestra un IC<sub>50</sub> de 0.021 mg/mL.

En el ensayo ABTS se obtuvo un resultado de EC<sub>50</sub> de 0.56 mg/mL (Tabla 5), al compararlo con los resultados de Dzoyem et al. (2024) en un estudio con *Xylia torreana*, en donde se obtuvo un valor en el EC<sub>50</sub> de 0.0146 mg / mL, se puede observar una similitud entre sus resultados. Además, al comparar nuestros resultados con los de Galvez-Calla et al. (2021), se observa que el extracto de *Z. venosa* presenta una actividad superior, con un valor de IC<sub>50</sub> menor que el reportado para *Origanum vulgare* (Orégano) (3.687 mg/mL).

### 6.3.3 Capacidad inhibidora de la enzima α-glucosidasa y α-amilasa

En la determinación de la capacidad inhibitoria del extracto de *Zornia venosa* ante las enzimas α-glucosidasa y α-amilasa no se mostró actividad significativa dentro de los rangos de concentraciones desde 0.05 mg/mL hasta 13 mg/mL. Lo que sugiere que, bajo las condiciones empleadas en las técnicas, el extracto de *Zornia venosa* no reveló ninguna inhibición en estas enzimas.

Tabla 5. Contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e hipoglucémica (α-glucosidasa y α-amilasa) de *Zornia Venosa*.

Extracto	Fenoles Totales (mg EAG/g ES)	Flavonoides Totales (mg EQ/g ES)	Actividad antioxidante EC <sub>50</sub>		Actividad hipoglucémica EC <sub>50</sub>	
			DPPH* (mg/mL)	ABTS*+ (mg/mL)	α-glucosidasa (mg/mL)	α-amilasa (mg/mL)
<b><i>Zornia venosa</i></b>	25.76 ± 0.02	9.78 ± 0.04	2.92 ± 0.01	0.56 ± 0.00	-	-

mg EAG/g ES: miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco; mg EQ/g ES: miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto seco; EC<sub>50</sub> DPPH: concentración efectiva al 50% para el radical DPPH; EC<sub>50</sub> ABTS: concentración efectiva al 50% para el radical ABTS; EC<sub>50</sub> α-glucosidasa: concentración efectiva al 50% para la inhibición de la enzima α-glucosidasa; EC<sub>50</sub> α-amilasa: concentración efectiva al 50% para la inhibición de la enzima α-amilasa.

### 6.3.4 Composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD

El extracto etanólico que se obtuvo de la especie *Zornia venosa*, fue analizado cromatográficamente para separar, cuantificar e identificar los compuestos fenólicos. Este análisis cromatográfico mostró un perfil con 16 picos (Figura 18), lo que indica la presencia de al menos 16 compuestos fenólicos distintos en el extracto de *Zornia venosa*. Cada uno de los picos fueron analizados e identificados, correlacionando los tiempos de retención (RT) y las longitudes de onda de absorbancia máxima ( $\lambda_{max}$ ) expuestos en la Figura 19, cada espectro se identificó según la información reportada en la literatura establecida por Campos y Markham (2007). Se reveló la presencia de 14 flavonas (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) y 2 flavonoles (6, 7), junto con sus respectivos derivados las cuales se detallan en la Tabla 6. La identificación de estos compuestos fenólicos, en particular los flavonoles y las flavonas, son muy relevantes dado a que se reconocen por su alto potencial antioxidante y antiinflamatoria (Cartaya & Reynaldo, 2001).

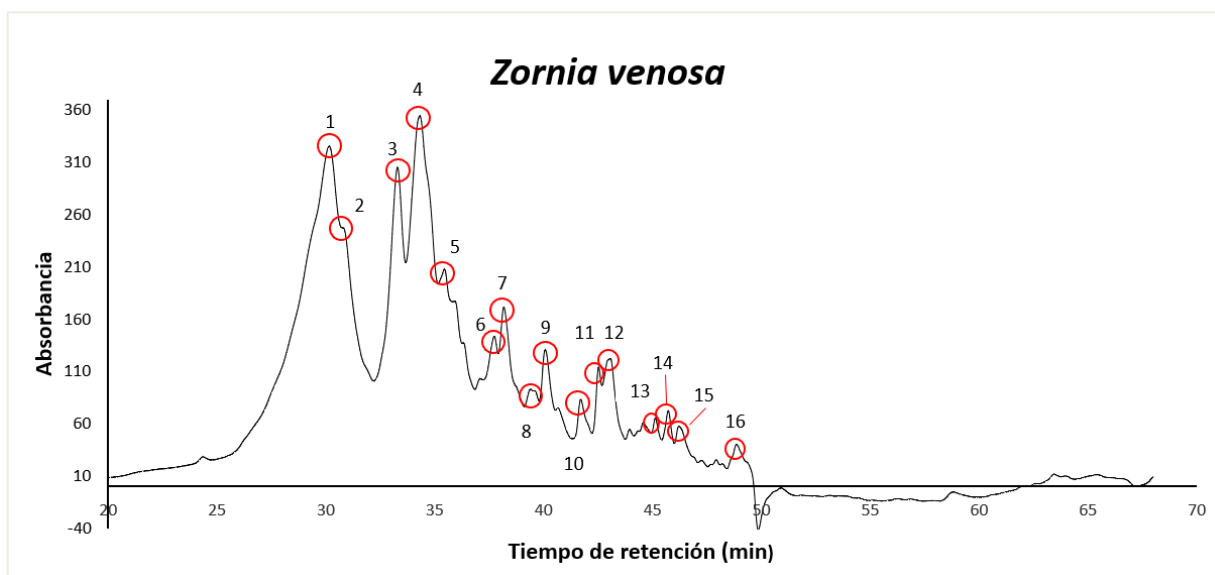


Figura 18. Cromatograma de HPLC-DAD de extractos de *Zornia venosa*. Los compuestos 1-16 corresponden a los descritos en la Tabla 6.

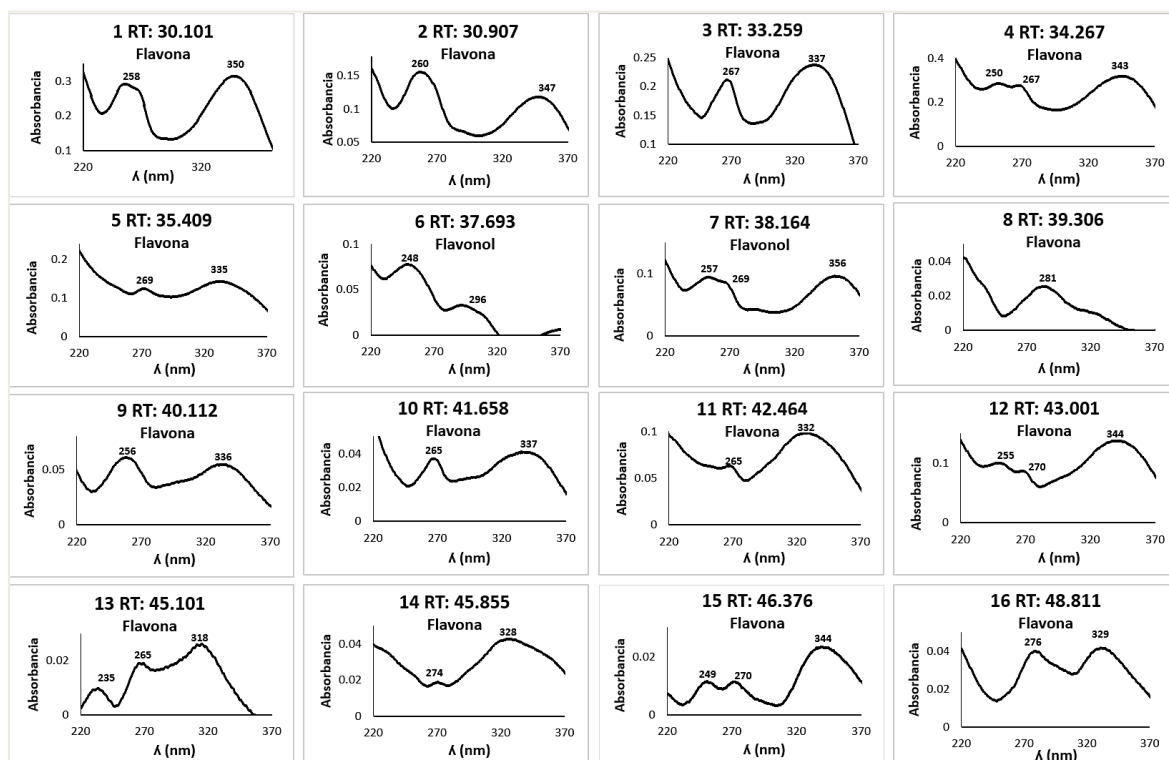


Figura 19. Espectros de los principales compuestos fenólicos encontrados en los extractos de *Zornia venosa*

Tabla 6. Compuestos fenólicos encontrados por HPLC-DAD en el extracto de *Zornia venosa*

Número de compuesto	Tiempo de retención (min)	λ max	Tipo de compuesto fenólico
1	30.101	258, 350	Flavona (Derivado de Luteolin)
2	30.907	260, 347	Flavona (Derivado de Luteolin)
3	33.259	267, 337	Flavona (Derivado de Vitexin)
4	34.267	250, 267sh, 343	Flavona (Derivado de Luteolin-7-O-glucoside)
5	35.409	269, 335	Flavona (Derivado de Apigenin)
6	37.693	248, 296	Flavonol (Derivado de Fiestin)
7	38.164	257, 269sh, 356	Flavonol (Derivado de Quercetina)
8	39.306	281	Flavona (Derivado de Isovitexina)
9	40.112	256, 336	Flavona (Derivado de Luteolina)
10	41.658	265, 337	Flavona (Derivado de Apigenina)
11	42.464	265, 332	Flavona (Derivado de Genkwanin)
12	43.001	255, 270sh, 344	Flavona (Derivado de Luteolina)
13	45.101	265, 318	Flavona (Derivado de Apigenina)
14	45.855	274, 328	Flavona (Derivado de Apigenina)
15	46.376	249, 270, 344	Flavona (Derivado de Chrysoeriol)
16	48.811	276, 329	Flavona (Derivado de 5,7,2'-Trihidroxiflavona)

### 6.3.5 Correlación de Pearson

La matriz de correlación exhibida en la Figura 20, muestra la relación que hay entre las variables analizadas, capacidad antioxidante determinada mediante los ensayos ABTS y DPPH y contenido total de flavonoides y fenoles.

En la matriz se observa una correlación de fuerte a moderada entre el contenido total de fenoles y flavonoides con una  $r = 0.54$ , lo que es esperado, dado a que los flavonoides se encuentran dentro o forman parte de una subclase de los compuestos fenólicos, por lo que se deduce que a medida que aumenta el contenido de flavonoides también aumenta el contenido de fenoles. De igual forma, se revela una correlación fuerte entre el ensayo de capacidad antioxidante entre ABTS y flavonoides con una  $r = 0.88$ , lo que sugiere que los flavonoides tienen una gran influencia en cuanto a la inhibición del radical ABTS, indicando que los flavonoides no solo forman parte de los compuestos fenólicos, sino que a su vez también tienen gran relevancia en la actividad antioxidante. Por otro lado, los resultados encontrados exhiben la complejidad de la interacción de los compuestos bioactivos y el potencial antioxidante, ya que estos hallazgos son fundamentales para el entendimiento de los compuestos fenólicos y como estos pueden contribuir a la neutralización del radical ABTS.

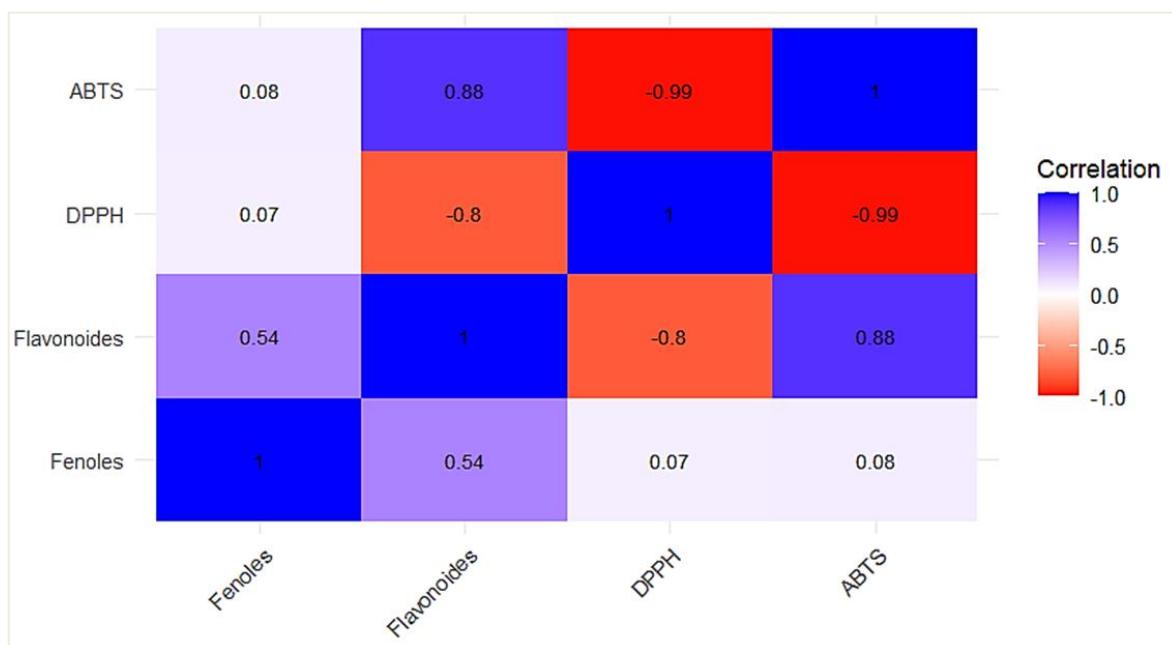


Figura 20. Matriz de correlación de Pearson entre las técnicas realizadas en extractos de *Zornia venosa*. Valores de  $r^2$  que aproximan a 1 reflejan una correlación positiva fuerte, valores que se aproximan a -1 reflejan una correlación negativa fuerte entre las variables, mientras que valores aproximados a 0 indican que existe poca o ninguna relación entre ellas.

## 6.4 *Pseudognaphalium obtusifolium*

### 6.4.1 Contenido de fenoles y flavonoides totales

El contenido total de fenoles totales en extracto de *Pseugognaphalium obtusifolium* se determinó mediante el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, exhibiendo un valor de 50.71 mg EAG/g ES (Tabla 7). Al comparar nuestros hallazgos con los de otros autores como el de Hernández et al. (2018) reportaron un contenido de  $53.06 \pm 2.10$  mg EAG/g ES para la especie *Gnaphalium viscosum*. Se encuentra una ligera diferencia entre nuestros resultados y el de Hernández et al. (2018), lo cual puede atribuirse a diversos factores. Es importante considerar que, aunque se encuentren dentro del mismo género, se trata de especies distintas, lo cual de forma inherente influye en la composición fitoquímica. Además, en contraste con lo reportado por Al-Dabbagh et al. (2019) para la especie *Matricaria recutita* L. (Manzanilla), donde se registró un contenido de 21.4 mg EAG/g ES, nuestros resultados muestran valores superiores para esta especie medicinal.

En la determinación del contenido total de flavonoides obtenido del extracto etanólico de *Pseugognaphalium obtusifolium* se obtuvieron resultados de 20.81 mg EQ/g ES (Tabla 7), valores que en relevancia son inferiores en comparación de los que reportaron Heredia et al. (2022), estudio realizado con *Gnaphalium oxyphyllu*, revelando un valor de 114.30 mg EQ/g ES. Al comparar ambos resultados, se puede observar notablemente que el contenido de flavonoides del extracto de *Gnaphalium oxyphyllu* es superior de lo que se obtuvo en nuestro estudio con *Pseugognaphalium obtusifolium*.

Los hallazgos del presente son más altos que los registrados para *Rorippa nasturtium* var. *aquaticum* (Berro) por Gutiérrez-Velázquez et al. (2018) quienes reportan un contenido de 13.81 mg EQ/g ES.

#### 6.4.2 Capacidad bloqueadora del radical libre DPPH y ABTS

La actividad antioxidante de los extractos etanólicos de *Pseugognaphalium obtusifolium* fue evaluada mediante la determinación de la concentración efectiva al 50 % (EC<sub>50</sub>) para la inhibición del radical DPPH y ABTS. Para el ensayo DPPH se obtuvo un valor de 1.39 mg/mL (Tabla 7). Este resultado indica una capacidad antioxidante inferior en comparación con los resultados que Elizondo et al. (2022) revelaron en un estudio con la misma especie, obteniendo un valor de 0.52 mg/mL que representa un EC<sub>50</sub> significativamente superior que el de nuestro estudio. Dado a que el EC<sub>50</sub> más bajo se correlaciona con una mayor actividad antioxidante se sugiere que el estudio por Elizondo et al. (2022), posee una eficacia superior para la inhibición de los radicales libres en comparación nuestro estudio. Por otro lado, también se encuentran resultados inferiores a los nuestros en estudios previos de García (2019) con *Origanum vulgare* (Orégano) la cual exhibió un IC<sub>50</sub> de 3.0 mg/mL, especie con una amplia distribución mundial de uso medicinal.

En la actividad antioxidante determinada mediante el ensayo ABTS los resultados obtenidos mostraron un EC<sub>50</sub> de 0.42 mg/mL (Tabla 7). Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los que reportó Boyadzhieva et al. (2022) quienes evaluaron la capacidad antioxidante de *Gnaphalium viscosum* y en donde exhibieron valores de un EC<sub>50</sub> de 2.16 mg/mL, se puede inferir que *Pseugognaphalium obtusifolium* presenta una actividad antioxidante considerablemente superior. Asimismo, en otras investigaciones realizadas en el país con plantas medicinales como el de Gutiérrez-Velázquez et al. (2024) con *Rorippa nasturtium* var. *aquaticum* (Berro) revelan un IC<sub>50</sub> de 0.055 mg/mL, resultados que fueron superiores que los obtenidos en este trabajo.

#### 6.4.3 Capacidad inhibidora de la enzima $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa

La evaluación in vitro del extracto de *Pseugognaphalium obtusifolium* frente a la actividad de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa de *Saccharomyces cerevisiae*, nos reveló que el extracto presenta una concentración efectiva al 50% (EC<sub>50</sub>) de 4.97 mg/mL (Tabla 4). Cuyos valores representan la cantidad necesaria del extracto para inhibir la actividad enzimática, lo que por ende sugiere que los compuestos bioactivos presentes en *Pseugognaphalium obtusifolium* pueden inferir con la degradación de

los carbohidratos complejos en azúcares simples. Por otro lado, los resultados obtenidos en esta investigación, revelan que el extracto de *Pseudognaphalium obtusifolium* presenta una capacidad inhibitoria moderada frente a la enzima  $\alpha$ -glucosidasa, siendo inferior a la que reportó Olennikov et al. (2018), en una investigación con *Artemisia serice* en donde exhibió un valor de EC<sub>50</sub> de 0.754 mg/mL. Asimismo, los resultados de *Pseudognaphalium obtusifolium* sugiere que su extracto podría no ser tan eficaz como *Artemisia serice* en la inhibición de la  $\alpha$ -glucosidasa, pero aun así representa una fuente prometedora de compuestos bioactivos naturales que podrían contribuir al desarrollo de terapias alternativas para el control de la diabetes.

El estudio realizado para evaluar la capacidad inhibitoria del extracto de *Pseudognaphalium obtusifolium* ante la enzima  $\alpha$ -amilasa no exhibió actividad significativa en un amplio rango de concentraciones analizado de 0.05 mg/mL hasta mg/mL.

**Tabla 7. Contenido total de fenoles, contenido total de flavonoides y actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e hipoglucémica ( $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa) de *Pseudognaphalium obtusifolium*.**

Extracto	Fenoles Totales (mg EAG / g ES)	Flavonoides Totales (mg EQ / g ES)	Actividad antioxidante EC <sub>50</sub>		Actividad hipoglucémica EC <sub>50</sub>	
			DPPH* (mg/mL)	ABTS*+ (mg/mL)	$\alpha$ -glucosidasa (mg/mL)	$\alpha$ -amilasa (mg/mL)
<b><i>P. obtusifolium</i></b>	50.71 ± 0.03	20.81 ± 0.00	1.39	0.42	4.97	-

mg EAG/g ES: miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco; mg EQ/g ES: miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto seco; EC<sub>50</sub> DPPH: concentración efectiva al 50% para el radical DPPH; EC<sub>50</sub> ABTS: concentración efectiva al 50% para el radical ABTS; EC<sub>50</sub>  $\alpha$ -glucosidasa: concentración efectiva al 50% para la inhibición de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa; EC<sub>50</sub>  $\alpha$ -amilasa: concentración efectiva al 50% para la inhibición de la enzima  $\alpha$ -amilasa.

#### 6.4.4 Composición fenólica de los extractos mediante HPLC-DAD

El análisis cromatográfico exhibió un perfil con 16 picos claramente diferenciados (Figura 21), lo que nos indica que el extracto de esta especie analizada contiene como mínimo 16 compuestos distintos. En la identificación de cada compuesto, se analizó cada espectro y se contrastaron con los tiempos de retención (RT) y la absorbancia máxima ( $\lambda_{\max}$ ) (Figura 22), siguiendo los criterios que se establecieron en la bibliografía por Campos y Markham (2007). Revelando así, un resultado de 4 Flavonoles (**6,7,8,10**) y 12 Flavonas (**1, 2, 3, 4, 5, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16**) en conjunto con sus derivados que se muestran en la Tabla 6.

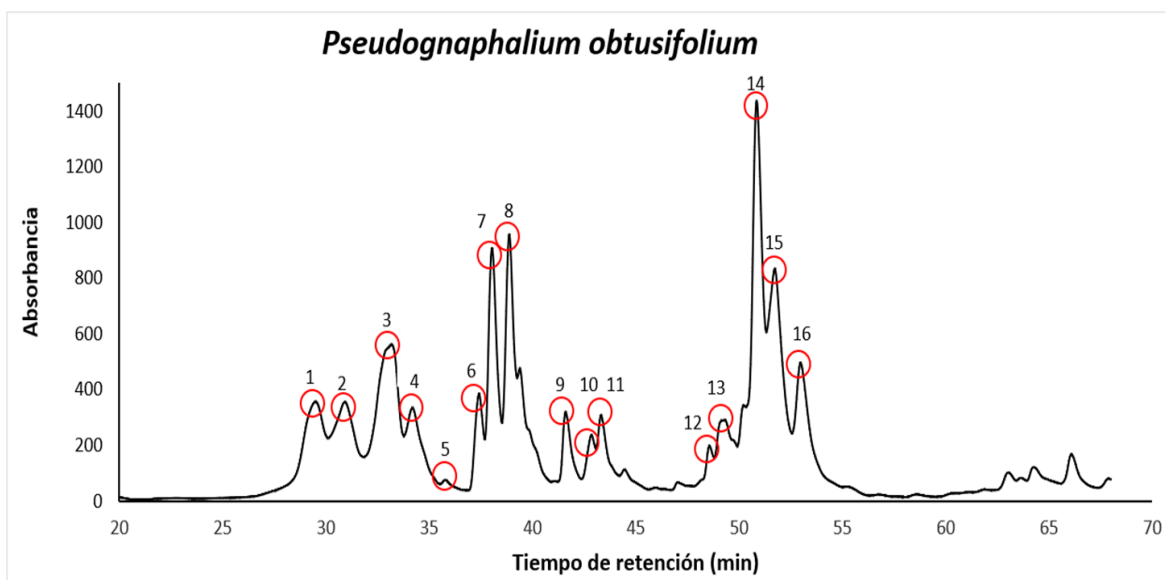


Figura 21. Cromatograma de HPLC-DAD de extractos de *Pseudognaphalium obtusifolium*. Los compuestos 1-16 corresponden a los descritos en la Tabla 8.

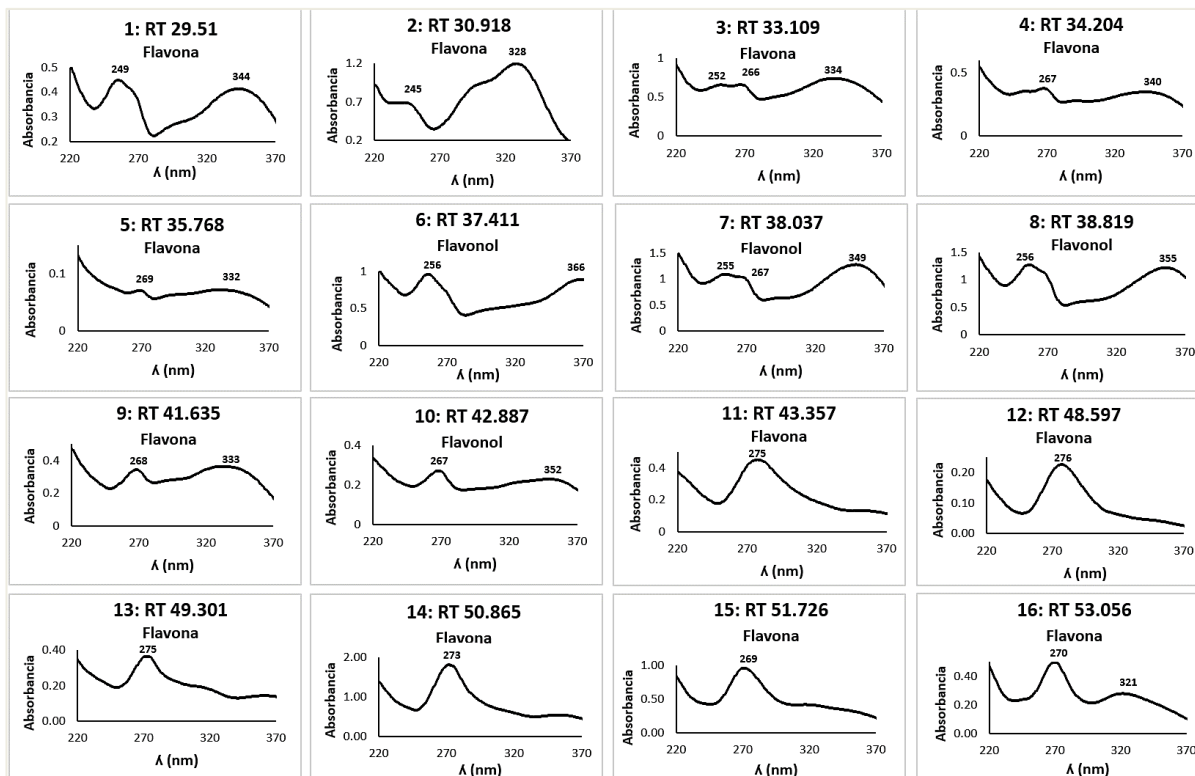


Figura 22. Espectros de los principales compuestos fenólicos encontrados en los extractos de *Pseudognaphalium obtusifolium*

Tabla 8. Compuestos fenólicos encontrados por HPLC-DAD en el extracto de *Pseudognaphalium obtusifolium*

Número de compuesto	Tiempo de retención (min)	λ max	Tipo de compuesto fenólico
1	29.51	249, 344	Flavona (Derivado de Luteolina)
2	30.918	245, 328	Flavona (Derivado de Luteolina)
3	33.109	252, 266sh, 334	Flavona (Derivado de Luteolina)
4	34.204	267, 340	Flavona (Derivado de Luteolina)
5	35.768	269, 332	Flavona (Derivado de Apigenina)
6	37.411	256, 365	Flavonol (Derivado de Quercetina)
7	38.037	255, 267sh, 349	Flavonol (Derivado de Myricetin)
8	38.819	256, 255	Flavonol (Derivado de 8-O-methylherbacetin)
9	41.635	268, 333	Flavona (Derivado de Luteolina)
10	42.887	267, 352	Flavonol (Derivado de Chrysoeriol)
11	43.357	275	Flavona (Derivado de Chrysin)
12	48.597	276	Flavona (Derivado de Tricetin)
13	49.301	275	Flavona (Derivado de Tricetin)
14	50.865	273	Flavona (Derivado de Tricetin)
15	51.786	269	Flavona (Derivado de 5,7-Dihydroxy-2',5'-dimethoxyflavone)
16	53.056	270,321sh	Flavona (Derivado de Baicalein)

### 6.4.5 Correlación de Pearson

En la matriz de correlación se representan las relaciones que hay entre las variables evaluadas en el extracto de *Pseudognaphalium obtusifolium* (Figura 23). Se encontraron valores significativos principalmente entre fenoles y flavonoides totales y, por otro lado, en las pruebas antioxidantes (DPPH\* y ABTS\*+) y la prueba hipoglucémica de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa.

Se reveló una correlación positiva con una  $r= 0.58$  entre fenoles y flavonoides, lo que sugiere que ambos compuestos están relacionados moderadamente en la especie vegetal, aunque no de manera extremadamente dependiente. Además, en las pruebas antioxidantes DPPH\* y ABTS\*+ se muestran correlaciones positivas con la capacidad inhibidora de la enzima alfa-glucosidasa con una  $r= 0.76$  para DPPH\* y una  $r=0.91$  para ABTS\*+, lo que indica que los compuestos causantes de la actividad antioxidante también pueden estar relacionado en lo que respecta a la inhibición de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa, cuya es de suma importancia en cuanto al manejo de la diabetes. Este hallazgo muestra un potencial relevante en el extracto de *Pseudognaphalium obtusifolium*, ya que sugiere una doble actividad biológica, por un lado, su poder inhibidor de esta enzima y, por otro lado, su capacidad antioxidante.

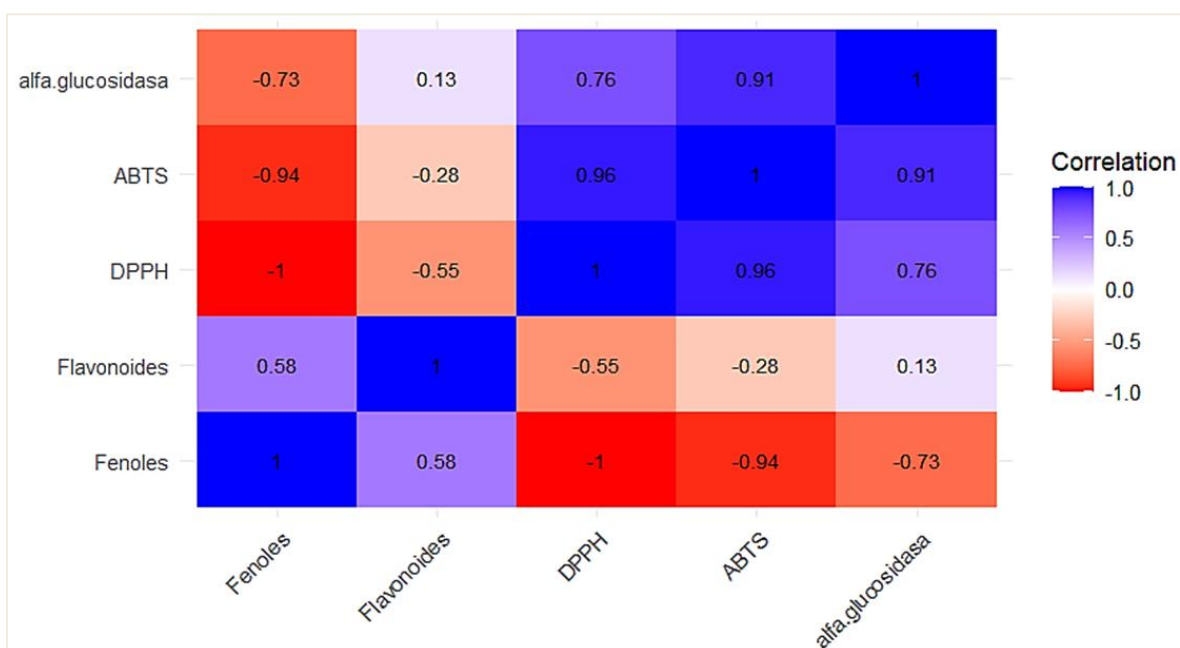


Figura 23. Matriz de correlación de Pearson entre las técnicas realizadas en extractos de *Pseudognaphalium obtusifolium*. Valores de \*r\* que aproximan a 1 reflejan una correlación positiva fuerte, valores que se aproximan a -1 reflejan una correlación negativa fuerte entre las variables, mientras que valores aproximados a 0 indican que existe poca o ninguna relación entre ellas.

## VII. CONCLUSIONES

El análisis realizado en las cuatro especies vegetales: *Ligusticum porteri*, *Pteridium aquilinum*, *Zornia venosa* y *Pseudognaphalium obtusifolium*, que son utilizadas ampliamente en la región de la Sierra Tarahumara, exhibió un perfil químico y diverso, cuya información respalda su uso práctico y le da relevancia a su potencial medicinal. Además, todas las plantas estudiadas presentaron un contenido significativo en flavonoides y fenoles totales, los cuales son compuestos bioactivos asociados a la capacidad antioxidante.

Entre las plantas analizadas *Pteridium aquilinum* y *Pseudognaphalium obtusifolium* mostraron los valores más altos en contenido de fenoles totales. Estos metabolitos secundarios son relevantes ya que se asocian fuertemente con propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas y antioxidantes.

Las especies de *Zornia venosa* y *Pseudognaphalium obtusifolium*, exhibieron los mejores resultados en flavonoides totales, estos compuestos son conocidos por sus efectos contra el estrés oxidativo.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados para la determinación de la capacidad antioxidante (DPPH\* y ABTS\*+), indicaron que *Pteridium aquilinum* y *Pseudognaphalium obtusifolium* poseen el mayor poder antioxidante para la neutralización de los radicales libres.

*Pteridium aquilinum*, de manera extraordinaria, no solo obtuvo los valores más altos en contenido de fenoles totales y en los ensayos de actividad antioxidante, sino que también reveló un efecto inhibitorio ante las enzimas  $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa. Lo que sugiere que esta planta puede ser candidata para el desarrollo de prácticas naturales o fármacos para contrarrestar la diabetes, ya que podría ayudar a regular los niveles de azúcar en la sangre.

Este trabajo es el pionero en la investigación fitoquímica de plantas medicinales utilizadas en la región de la Sierra Tarahumara. Los resultados obtenidos no solo validan la práctica tradicional por las comunidades rarámuris, sino que también promueve la importancia de seguir explorando las especies vegetales aprovechadas medicinalmente en esta región.

## VIII. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

A pesar de que las cuatro especies de plantas medicinales utilizadas en la región de la Sierra Tarahumara, exhibieron actividad antioxidante y actividad hipoglucémica, es de suma importancia mencionar que estas técnicas son apenas unas de las tantas que se realizan para determinar los compuestos medicinales que poseen las plantas. Es por ello que se sugiere la realización de otros estudios que permitan complementar su caracterización sobre el potencial biológico.

Se recomienda llevar a cabo otros ensayos que evalúen y analicen otras actividades biológicas , como antimicrobianas, antiinflamatorias, citotóxicas, analgésicas, neurológicas y además técnicas toxicológicas las cuales permitan garantizar su seguridad para poder ser consumidas por el ser humano.

## IX. LITERATURA CITADA

- Adebiyi, O. E., Olayemi, F. O., Ning-Hua, T., Guang-Zhi, Z. (2017). In vitro antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of ethanol extract of stem and leaf of *Grewia carpinifolia*. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 6(1), 10-14.
- Agudelo-Botero, M., Dávila-Cervantes, C. A. (2015). Carga de la mortalidad por diabetes mellitus en América Latina 2000-2011: los casos de Argentina, Chile, Colombia y México. Gaceta sanitaria, 29(3), 172-177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2015.01.015>.
- Al-Dabbagh, B., Elhaty, I.A., Elhaw, M. (2019). Antioxidant and anticancer activities of chamomile (*Matricaria recutita* L.). BMC Res Notes 12, 3. <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3960-y>
- Almaraz Abarca, N., Ávila Reyes, JA, Delgado Alvarado, EA, Naranjo Jiménez, N., Herrera Corral, J. (2006). El metabolismo secundario de las plantas, un nuevo concepto.
- Arunkumar, R., Nair, SA, y Subramoniam, A. (2012). Inducción de apoptosis celular y protección de ratones contra el cáncer mediante un compuesto esteroide positivo de *Zornia diphylla* (L.). Revista de Farmacología y Farmacoterapéutica , 3 (3), 233-241.
- Ballentine, R. (2019). Chemical Characterization of *Pseudognaphalium obtusifolium* by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) to Assess Potential Therapeutic Phytochemicals and Toxicological Concerns Using Simulated Use Conditions. <https://doi.org/10.25772/FX95-MA11>
- Boyadzhieva, S., Coelho, J. A., Errico, M., Reynel-Avilla, H. E., Yankov, D. S., Bonilla-Petriciolet, A., Stateva, R. P. (2022). Assessment of *Gnaphalium viscosum* (Kunth) valorization prospects: Sustainable recovery of antioxidants by different techniques. Antioxidants, 11(12), 2495. <http://doi.org/10.3390/antiox11122495>.

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28, 25-30
- Bye, R. A. 1986. Medicinal plants of the Sierra Madre comparative study of Tarahumara and mexican market plants. *Economic Botany* 40 (1):103-124.
- Cartaya, O., Reynaldo, I. (2001). Flavonoides: Características químicas y aplicaciones. *Cultivos tropicales*, 22(2), 5-14.
- Campos, M. G., Markham, K. R. (2007). Structure information from HPLC and on-line measured absorption spectra-flavone, flavonoids and phenolic acids. Coimbra University Press. Portugal.
- Cégiéla-Carlio, P., Bessièrre, J. M., David, B., Mariotte, A. M., Gibbons, S., Dijoux-Franca, M. G. (2005). Modulation of multi-drug resistance (MDR) in *Staphylococcus aureus* by Osha (*Ligusticum porteri* L., Apiaceae) essential oil compounds. *Flavour and fragrance journal*, 20(6), 671-675.
- Chifa, C. (2010). La perspectiva social de la medicina tradicional. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9(4), 242-245
- Coba, P., Tivi, L. M., Vidari, G. (2010). Importancia de la actividad antioxidante y evaluación de extractos en etanol del género *Oryctanthus*. *La granja*, 11(1), 22-30.
- Cvetanović, A., Švarc-Gajić, J., Zeković, Z., Jerković, J., Zengin, G., Gašić, U., Đurović, S. (2019). The influence of the extraction temperature on polyphenolic profiles and bioactivity of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) subcritical water extracts. *Food Chemistry*, 271, 328-337.
- David, J. P., Meira, M., David, J. M., Brandão, H. N., Branco, A., de Fátima Agra, M., Giulietti, A. M. (2007). Radical scavenging, antioxidant and cytotoxic activity of Brazilian Caatinga plants. *Fitoterapia*, 78(3), 215-218
- Demydiak, D., Slobodianiuk, L., Gerush, O., Budniak, L., Sydor, V., Skrynchuk, O., Ratynskyi, V. (2023). Análisis HPLC-DAD de flavonoides y ácidos

- hidroxicinámicos en *Aster novi-belgii* L. *Pharmacia*, 70, 745-750. <https://doi.org/10.3897/farmacia.70.e94344>
- Dong, H. Q., Li, M., Zhu, F., Liu, F. L., Huang, J. B. 2012. Inhibitory potential of trilobatin from *Lithocarpus polystachyus* Rehd against  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase linked to type 2 diabetes. *Food Chemistry*, 130, 261-266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.030>
- Dzoyem, J. P., McGaw, L. J., Eloff, J. N. (2014). In vitro antibacterial, antioxidant and cytotoxic activity of acetone leaf extracts of nine under-investigated Fabaceae tree species leads to potentially useful extracts in animal health and productivity. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-147>
- Elizondo H., Gómez, R., Verde, J., Tamez, P., Romo, I., Chávez, A. Quintanilla, R. (2022). In vitro cytotoxic activity of methanol extracts of selected medicinal plants traditionally used in Mexico against human hepatocellular carcinoma. *Plants*, 11(21), 2862. <https://doi.org/10.3390/plantas11212862>
- Eslava-Silva, F. D. J., Jiménez-Durán, K., Jiménez-Estrada, M., Muñiz-Díaz-de-León, M. E. (2020). Morfo-anatomía del ciclo de vida del helecho *Pteridium aquilinum* (Dennstaedtiaceae) en cultivo in vitro. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 12-22. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.36881>
- Eyzaguirre Beltroy, C. F. (2016). El proceso de incorporación de la medicina tradicional y alternativa y complementaria en las políticas oficiales de salud. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/6274>
- Fagetti, A. (2011). Fundamentos de la medicina tradicional mexicana. Saberes colectivos y diálogo de saberes en México, 137-151.
- Fátima, I., Safdar, N., Akhtar, W., Ayaz, A., Ali, S., Elansary, HO., Zaman, W. (2024). Green solvent extraction of three Fabaceae species: A potential antioxidant, antidiabetic and antileishmanial agent. *Heliyon*, 10 (13). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33668>

- Fenwick, G. R. (1989). Bracken (*Pteridium aquilinum*)—toxic effects and toxic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 46(2), 147-173.
- García, D. J. (2019). Composición química y actividad antioxidante de los aceites esenciales de *Mentha longifolia* y *Mentha x piperita*. Trabajo de Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. València: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.
- Galvez-Calla, Luis, Alvarez-Páucar, María A., Alcázar-Aguilar, Omar, Mayta-Tovalino, Frank, Lozano-Castro, Felipe, Cordova-Huayanay, Edwin, & Revoredo-Morote, Roxana. (2021). Actividad antioxidante del gel a base de extracto de *Origanum vulgare* ¿Importante para la salud bucal? Estudio preliminar. *Revista Estomatológica Herediana*, 31(1), 6-16. <https://doi.org/10.20453/reh.v31i1.3921>
- Gobinath, A., Yadav, S. (2024). Comparative Evaluation of the Essential Oil Content of Asteraceae Family Medicinal Plants. *Current Analytical Chemistry*. 20. <https://doi.org/10.2174/0115734110316947240813054000>
- Gutiérrez-Velázquez, MV, Almaraz-Abarca, N., Ávila-Reyes, JA, Delgado-Alvarado, EA, González-Valdez, LS, Torres-Ricario, R., Vasavilbazo-Saucedo, A. (2024). Efecto de la salinidad sobre la metilación del ADN y compuestos fenólicos antioxidantes de berros silvestres (*Rorippa nasturtium Aquaticum*). *Plant Science Today* , 11, 196-205.
- Gutiérrez-Velázquez, MV., Almaraz-Abarca, N., Herrera-Arrieta, Y., Ávila-Reyes, JA., González-Valdez, LS., Torres-Ricario, R., Monreal-García, HM. (2018). Comparison of the phenolic contents and epigenetic and genetic variability of wild and cultivated watercress (*Rorippa nasturtium var. aquaticum* L.). *Electronic Journal of Biotechnology* , 34 , 9-16.
- Gutiérrez-Velázquez, M. V., Torres-Ricario, R., Ávila-Reyes, J. A., Delgado-Alvarado, E. A., Monreal-García, H. M., Pérez-Salinas, S. N., Bujdud-León, A. N. (2025). Evaluación del perfil fenólico, contenido de fenoles y actividad antioxidante de *Dichondra argentea*: Evaluation of the phenolic profile,

phenol content, and antioxidant activity of *Dichondra argentea*. E-CUCBA, (25), 10–15. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi25.383>

Heredia-Castro, P. Y., García-Baldenegro, C. V., Santos-Espinosa, A., Tolano-Villaverde, I. D. J., Manzanarez-Quin, C. G., Valdez-Domínguez, R. D., Sosa-Castañeda, J. (2022). Perfil fitoquímico, actividad antimicrobiana y antioxidante de extractos de *Gnaphalium oxyphyllum* y *Euphorbia maculata* nativas de Sonora, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(4), 928-942. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.6042>

Hernández Gómez, KA. (2018). Análisis fitoquímico y citotóxico de extractos de *Gnaphalium viscosum* (Kunth) sobre líneas celulares humanas malignas de cérvix (SiHa) y mama (Mda).

Huerta, C. (1997). La herbolaria: mito o realidad. *CONABIO. Biodiversitas* 12:1-7

Huwae, L., Silahooy, V. (2024). Anti-Inflammatory Activity of Fern *Pteridium aquilinum* Ethanol Extract Gel on Mice (*Mus musculus*) Incision Wounds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1329. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1329/1/012002>.

INEGI., (2010). Instituto Nacional de estadística y geografía. Compendio de información geográfica municipal 2010. [http://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/08/08/0272.pdf](http://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/08/08/0272.pdf)

Jackson, J. B. (2002). Spirit medicine: Native American uses of common everlasting (*Pseudognaphalium obtusifolium*) in eastern North America. Sam Noble Oklahoma Museum of Natural History.

Jiménez, G. S., Ducoing, H. P., Sosa, M. R. (2003). La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista mexicana de fitopatología*, 21(3), 355-363.

Jiménez, C. I. E., Martínez, E. Y. C., Fonseca, J. G. (2009). Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Rev Fac Med UNAM*, 52(2), 73-5

- Juárez, K., Ángeles, G., Rivero, I., Bye, R., Mata, R. (2014). Antinociceptive activity of *Ligusticum porteri* preparations and compounds. *Pharmaceutical Biology*, 52:1, 14-20. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.805235>
- Kardong, D., Upadhyaya, S., Saikia, L. R. (2013). Screening of phytochemicals, antioxidant and antibacterial activity of crude extract of *Pteridium aquilinum* Kuhn. *Journal of pharmacy research*, 6(1), 179-182. <https://doi.org/10.1016/j.jopr.2012.11.037>
- Kim, D. O., Lee, C. Y. (2002). Extraction and isolation of polyphenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. R.E. Wrolstad. New York, Wiley: 11.2.1-11.2.12.
- Kim, J. S., Kwon, Y. S., Chun, W. J., Kim, T. Y., Sun, J., Yu, C. Y., Kim, M. J. (2010). *Rhus verniciflua* Stokes flavonoid extracts have anti-oxidant, anti-microbial and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory effect. *Food Chemistry*, 120, 539-543. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.051>
- Kozhanova, K., Alimanova, A., Datkhayev, U., Serikbayeva, E., Kayupova, F., Zhumalina, K., Zhakipbekov, K. (2025). Unlocking the potential exploring pharmacological properties from Apiaceae family. *Pharmacia*, 72, 1-14. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.72.e145193>
- León, A., Toscano, R. A., Tortoriello, J., Delgado, G. (2011). Phthalides and other constituents from *Ligusticum porteri*; sedative and spasmolytic activities of some natural products and derivatives. *Natural product research*, 25(13), 1234-1242. <https://doi.org/10.1080/14786419.2010.534735>
- Li, S., Chen, N., Bu, Y., Hao, J., Huang, H., Zheng, S. (2024). Network pharmacology analysis of the renal protective effects of the bracken (*Pteridium aquilinum*) using experimental data obtained in an avian (quail) hyperuricemia model. *International journal of clinical pharmacology and therapeutics*. 62. <https://doi.org/10.5414/CP204515>
- Linares, E., Bye, R. (1987). A study of four medicinal plant complexes of Mexico and adjacent United States. *Journal of Ethnopharmacology*. Volume 19, Issue 2. Pages 153-183. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(87\)90039-0](https://doi.org/10.1016/0378-8741(87)90039-0)

- Luengo, M. T. L. (2006). Plantas medicinales con actividad hipoglucemiante. *Offarm*, 25(5).
- Lustre Sánchez, H. (2022). Los superpoderes de las plantas: los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *Revista digital universitaria*, 23(2).
- Marrs, R. H., Watt, A. S. (2006). Biological flora of the british isles: *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. *Journal of Ecology*. 94(6), 1272-1321. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01177>
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición hospitalaria*, 17(6), 271-278.
- Martínez-Rocha, A., Puga, R., Hernández-Sandoval, L., Loarca-Piña, G. y Mendoza S. (2007). Antioxidant and antimutagenic activities of Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth). *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(1). <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0061-9>
- Martínez, C., Vargas, C., Arancibia, S. (2003). Estrés oxidativo y neurodegeneración. *Rev Fac Med*, 46 (6), 229-235
- Meza, J., Ramos, I., Peña, J., Olvera, J., De la Rosa, N. (2016). Caracterización del comercio de plantas medicinales en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Cultura Científica y Tecnológica*, (57).
- Morón Rodríguez, F. J., Jardines Méndez, J. B. (1997). La medicina tradicional en las universidades médicas. *Revista cubana de plantas medicinales*, 2(1), 35-41.
- Nascimento, Y. M. D. (2016). Estudio fitoquímico y actividades antioxidante de *Zornia brasiliensis*. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/11168>
- Ojimekwe, C., Ajah, O., Unegbu, C. C., Elvis, I. (2024). Evaluation of in-vitro antioxidant and hypoglycemic potential of flavonoids fraction of *Pteridium aquilinum* leaf. <https://doi.org/10.20959/wjpr20244-31371>
- Olennikov, D. N., Chirikova, N. K., Kashchenko, N. I., Nikolaev, V. M., Kim, S. W., Vennos, C. (2018). Bioactive phenolics of the genus *Artemisia* (Asteraceae):

- HPLC-DAD-ESI-TQ-MS/MS profile of the Siberian species and their inhibitory potential against  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase. *Frontiers in pharmacology*, 9, 756. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00756>
- OMS. (2002). Estrategia de la OMS sobre Medicina Tradicional 2002- 2005
- Ordoñez, A. A. L., Gomez, J. D., Vattuone, M. A. (2006). Antioxidant activities of *Sechium edule* (Jacq.) Swartz extracts. *Food Chemistry*, 97, 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.024>
- Pandey, L.K. y Sharma, K. R. (2022). Analysis of Phenolic and Flavonoid Content,  $\alpha$ -Amylase Inhibitory and Free Radical Scavenging Activities of Some Medicinal Plants. *The Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2022/400070>
- Pastene, E. R. (2009). Estado actual de la búsqueda de plantas con actividad antioxidante. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y aromáticas*, 8(6), 449-455.
- Pérez-Urria Carril, E., Ávalos García, A. (2009). Metabolismo secundario de plantas
- Prashant, T., Bimlesh, K., Mandeep, K., Gurpreet, K. and Harleen, K. (2011). Phytochemical Screening and Extraction: a Review. *Internationale Pharmaceutica Scientia*. (1) 1: 98-106.
- Prieto-González, S., Garrido-Garrido, G., González-Lavaut, JA, Molina-Torres, J. (2004). Actualidad de la medicina tradicional herbolaria. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 35 (1), 19-36.
- Qin, Y., Chen, F., Tang, Z., Ren, H., Wang, Q., Shen, N., Huang, L. (2022). *Ligusticum chuanxiong* Hort as a medicinal and edible plant foods: Antioxidant, anti-aging and neuroprotective properties in *Caenorhabditis elegans*. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 1049890. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.1049890>

- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
- Rivero, I., Juárez, K., Zuluaga M., Bye, R., Mata R. (2012). Quantitative HPLC Method for Determining Two of the Major Active Phthalides from *Ligusticum porteri* Roots. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. Volume 95. Pages 84–91. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.11-151>
- Rojas, L., Jaramillo, C., Lemus, M. (2015). Métodos analíticos para la determinación de metabolitos secundarios de plantas. Universidad Machala, Ecuador, 108.
- Royo-Márquez, Mario Humberto., Melgoza-Castillo, Alicia., Sierra-Tristán, J. Santos. (2013). Flora medicinal de Chihuahua. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4(18), 58-69. Recuperado en 14 de julio de 2025, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200711322013000400005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711322013000400005&lng=es&tlng=es).
- Royo, M., Melgoza, A., Sierra-Tristán, J. (2013). Flora medicinal de Chihuahua. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4(18), 58-69.
- Sabini, M., Menis, F., Beoletto, V. (2019). Historia de las plantas medicinales. Ministerio de Ciencia y Tecnología de la provincia de Córdoba; 11-20.
- Sharma, S., Alam, A. (2024). Ethnobotanical importance of families *Apocynaceae*, *Asteraceae*, and *Fabaceae* (Angiosperms) among Rajasthan tribes, India. *Plant Science Today*. <https://doi.org/10.14719/pst.3354>.
- Sharma, S., Dahiya, D. P., Sharma, A., Rana, P., Bharti, S. (2024). Bracken Fern (*Pteridium Aquilinum*)-Toxic And Carcinogenic Effects On Human And Animals. *J. of Pharm. Sci.*, Vol 2, Issue 4, 340-347. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10932874>
- Sharon, D., Bussmann, R. (2014). Medicina tradicional y medicina moderna en México y el Perú: valorización y explotación. Por la mano del hombre Prácticas y creencias sobre chamanismo y curandería en México y Perú.

- Lima: Fondo editorial de la Asamblea Nacional de Rectores. Lima: ANR, 425-458.
- Siddeeg, A., Salih, Z. A., Mukhtar, R. M., & Ali, A. O. (2018). Extraction and characterization of peppermint (*Mentha piperita*) essential oil and its assessment as antioxidant and antibacterial.
- Silva, F., Garcês, A., Magalhães, C., Pires, I. (2023). Diseases in Ruminants Associated with *Pteridium aquilinum* Ingestion. <https://doi.org/10.3390/IECT2023-14800>
- Slimani, C., Sqalli, H., Rais, C., Farah, A. ., Lazraq, A., Ghadraoui, Le ., Belmalha, S., Echchgadda, G. (2022). Composición química y evaluación de efectos biológicos del aceite esencial y extracto acuoso de *Lavandula angustifolia* L. *Notulae Scientia Biologicae* , 14 (1), 11172. <https://doi.org/10.15835/nsb14111172>
- Singleton, V.L., Rossi Jr., J.R. (1965). Colorimetric of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- Sompila, A. W. T., Mabika, A. B. M., Pambou-Tobi, N. P., Gouollaly, T., Moussounga, J. E., N'simba, G. L. B., Matos, L. (2021). Evaluation of Some Secondary Metabolites and Determination of the Antioxidant Potential of Different Extracts from the Plant of *Pteridium aquilinum*. *American Journal of Analytical Chemistry*, 12(12), 506-519. <https://doi.org/10.4236/ajac.2021.1212032>
- Soussi, M., Fadil, M., Yaagoubi, W. A., Benjelloun, M., El Ghadraoui, L. (2022). Simultaneous optimization of phenolic compounds and antioxidant abilities of Moroccan *Pimpinella anisum* extracts using mixture design methodology. *Processes*, 10(12), 2580. <https://doi.org/10.3390/pr10122580>
- Tácuna-Calderón, A., Moncada-Mapelli, E., Lens-Sardón, L., Huaccho-Rojas, J., Gamarra-Castillo, F., Salazar-Granara, A. (2020). Estrategias de la Organización Mundial de la Salud en Medicina Tradicional y Reconocimiento

- de Sistemas de Medicina Tradicional. Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo, 13(1), 101-102.
- Tabernilla, D. P., Tabernilla, R. P., Guerra, O. T., Díaz, Y. G. (2019). Importancia del diagnóstico de la enzima alfa amilasa salival. Revista científica estudiantil 2 de Diciembre, 2(1 (2019)), 73-81.
- Turi C., Murch SJ. (2010). The genus *Ligusticum* in North America: An ethnobotanical review with special emphasis upon species commercially known as 'Osha'. Herbal Gram 89:40–51
- Van de Laar, F. A., Lucassen, P. L. B. J., Akkermans, R. P., Van de Lisdonk, E. H., Rutten, G. E. H. M., Van Weel, C. (2005). Inhibidores de la alfa-glucosidasa para la diabetes mellitus tipo 2. Cochrane Database Syst Rev, 2.
- Vargas, R. A., Petricevich, V. L. (2018). Importancia biológica de los compuestos fenólicos. Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos, 14(34), 33-38. <https://doi.org/10.30973/inventio/2018.14.34/4>
- Velázquez-López, Arturo Alberto, García-Rojas, Vanessa, Tornero-Martínez, Antonio, & Mora-Escobedo, Rosalva. (2024). *Aloe vera*: capacidad antioxidante y uso potencial como agente terapéutico en el tratamiento del Alzheimer mediante evaluación in silico. CienciaUAT, 18(2), 107-121. Epub 16 de agosto de 2024. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v18i2.1803>
- Velázquez, J., Martínez, A., Linares E., Bye R., Mata R., Navarrete, A. (2015). Gastroprotective effect of diligustilide isolated from roots of *Ligusticum porteri* coulter & rose (Apiaceae) on ethanol-induced lesions in rats. Journal of Ethnopharmacology. Volume 174. Pages 403-409. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.08.030>
- Vetter, J. (2009). A biological hazard of our age: Bracken fern [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn]. A Review. AKJournals. 57. 183-196. <https://doi.org/10.1556/avet.57.2009.1.18>
- Viada Pupo, E., Gómez Robles, L., Campaña Marrero, IR (2017). Estrés oxidativo. Correo científico médico, 21 (1), 171-186.

- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. – Revista Mex. Biodivers. 87: 559–902
- Xie, S., Zhai, X., Xi, S., Qiu, Y., Zhang, Y., Kong, X., Li, Y., Zhu, L., Wang, Z., Zhang, S., Huang, S., Lu, D., Wang, Z. (2021). The Protective Effects of *Zornia diphylla* (L.) Pers. Against Acute Liver Injury Induced by Carbon Tetrachloride in Mice. *Frontiers in pharmacology*, 12, 764282 <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.764282>
- Xu, W., Zhang, F., Luo, Y., Ma, L., Kou, X., Huang, K. (2009). Antioxidant activity of a water-soluble polysaccharide purified from *Pteridium aquilinum*. *Carbohydrate research*, 344(2), 217-222
- Zhao, Z. H., Ju, X. Y., Wang, K. W., Chen, X. J., Sun, H. X., Cheng, K. J. (2022). Structure Characterization, Antioxidant and Immunomodulatory Activities of Polysaccharide from *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. *Foods* (Basel, Switzerland), 11(13), 1834. <https://doi.org/10.3390/foods11131834>