



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**

**UNIDAD ACADÉMICA  
FACULTAD DE BIOLOGÍA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**“Evaluación de la actividad biológica y toxicidad de *Equisetum praealtum* Raf.  
(Equisetaceae) en el estado de Sinaloa”**

**Tesis que presenta:  
Biól. María Fernanda Aguilar Valle**

**Para obtener el grado de Maestra en Ciencias Biológicas**

**Directores de tesis:  
Dra. Luz Isela Peinado Guevara  
Dr. Samuel Campista León**

**Asesores de tesis:  
Dr. Julio Montes Ávila  
M.C. Yamel Guadalupe Rubio Rocha  
Dr. José Saturnino Díaz**



**Culiacán, Sinaloa, México, a junio de 2024**



Dirección General de Bibliotecas  
Ciudad Universitaria  
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios  
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.  
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57  
dgbuas@uas.edu.mx

## UAS-Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional Buelna

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial  
Compartir Igual, 4.0 Internacional



# **Dedicatoria**

## **A mi abuelo**

A mi abuelo, quien creyó en mí desde el principio y cuyo apoyo incondicional nunca ha dejado de acompañarme, sé que estaría orgulloso de ver el fruto de mis esfuerzos y aprendizaje, del cual fue parte importante desde el principio de mi formación. Aunque su ausencia física es palpable, su legado de amor y enseñanzas perdurará por siempre en mi corazón.

## **A mis padres**

Luis Alfonso y Judith que han estado conmigo en cada decisión que he tomado en la vida y en mi formación profesional. Brindándome su apoyo y confianza incondicionales, sus palabras de aliento en los momentos difíciles y su ejemplo de perseverancia han sido fundamentales para mi éxito. Cada logro alcanzado es también suyo, porque sé que cada sacrificio que han hecho ha sido para que yo pueda seguir adelante.

## **A mi hermana**

Cada vez que sentí la presión o el estrés de las responsabilidades académicas, tu sonrisa y tu confianza en mí me dieron la fuerza necesaria para seguir adelante. Tu entusiasmo por cada pequeño logro que he alcanzado me ha motivado a dar lo mejor de mí en cada paso del camino.

## Agradecimientos

Al finalizar un trabajo tan arduo como el desarrollo de mi tesis debo de agradecer de manera especial a mis directores de tesis, la Dra. Luz Isela Peinado Guevara y el Dr. Samuel Campista León, quienes no solo me han guiado a lo largo de este arduo proceso académico, sino que también me han inspirado con su dedicación y sabiduría. Su orientación experta y su profundo conocimiento en el campo han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Cada consejo, cada reunión y cada comentario han sido invaluablemente constructivos y me han ayudado a crecer tanto personal como profesionalmente. Les agradezco sobre todo el haberme facilitado los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis, agradezco el hecho de que siempre me apoyaron para continuar con mi formación como científica siempre creyendo en mis capacidades y nunca dudando de mi potencial. Muchas gracias.

De manera muy especial también quiero agradecer a mis asesores M.C. Yamel Guadalupe Rubio Rocha, Dr. Julio Montes Ávila y Dr. José Saturnino Díaz, quienes con sus recomendaciones contribuyeron a la mejora de este manuscrito de tesis.

Un sincero agradecimiento a la M.C Elvia Jazmín Armenta Gutiérrez por compartir su conocimiento conmigo y enseñarme las técnicas necesarias, siempre con toda la disposición y paciencia. Cada conversación y cada momento de colaboración fueron una oportunidad para aprender y crecer tanto académica como personalmente.

De igual manera, quiero agradecer a mis amigos y colegas de laboratorio de Biotecnología y el Laboratorio de Microbiología y Biología Aplicada por apoyarme en todo momento gracias por sus consejos y amistad.

Me gustaría agradecer a mi familia, que siempre está apoyándome, en todos los retos y metas que me planteo, cualquiera que sea la decisión que tome están siempre presentes dándome palabras de aliento y animándome a seguir adelante, por más complicada que se ponga el camino.

Por último, agradezco a CONAHCYT por la beca otorgada con un CVU: 1233111

# Índice General

Índice de Cuadros .....	v
Índice de Figuras .....	vi
Abreviaturas.....	vii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Familia Equisetaceae.....	3
2.2 Género <i>Equisetum</i> .....	3
2.3 Aplicaciones diversas de plantas medicinales: enfoque en <i>Equisetum</i> .....	4
2.4 Actividad biológica de compuestos químicos presentes en el género <i>Equisetum</i> .....	6
2.4.1 Avances en la extracción y análisis de compuestos químicos de <i>Equisetum</i> .....	6
2.4.2 Optimización de métodos de extracción .....	7
2.4.3 Investigación oncológica en cáncer de mama e hígado .....	7
2.4.4 Actividad citotóxica de flavonoides.....	7
2.4.5 Evaluación de aceite esencial.....	7
2.4.6 Estudios sobre alcaloides en <i>Equisetum palustre</i> .....	8
2.4.7 Evaluación de bioactividad versus compuestos marcadores .....	8
2.4.8 Análisis metabolómicos de la diversidad química .....	8
2.5 Actividad antimicrobiana del género <i>Equisetum</i> .....	8
2.5.1 Propiedades antimicrobianas de <i>Equisetum</i> y su aplicación en tratamientos médicos .....	9
2.5.2 Prevención y tratamiento de infecciones urinarias .....	9
2.6 Actividad antioxidante del género <i>Equisetum</i> .....	10
2.6.1 Actividad antioxidante del género <i>Equisetum</i> : implicaciones y aplicaciones diversas .....	11
2.6.2 Efectos en cáncer cervical.....	13
2.7 Actividad antiinflamatoria de los extractos de plantas.....	14
2.7.1 Propiedades antiinflamatorias de <i>Equisetum</i> en diversos modelos clínicos.....	14
2.7.2 Alivio del dolor neuropático .....	15

2.7.3 Cicatrización de heridas y reducción de inflamación .....	15
2.7.4 Uso de plantas medicinales en el tratamiento de la diabetes.....	15
2.7.5 Mitigación de la nefropatía diabética .....	15
2.7.6 Propiedades antidiabéticas de <i>Equisetum</i> en el tratamiento de diabetes y sus complicaciones .....	16
2.7.7 Efecto hipoglicemiante e hipolipemiante de <i>Equisetum giganteum</i> .....	16
2.8 Actividad biológica en plantas.....	17
2.8.1 Aplicaciones clínicas y terapéuticas .....	17
2.8.2 Investigaciones adicionales en aplicaciones médicas.....	18
2.8.3 Potencial anticancerígeno de <i>Equisetum</i> .....	18
2.8.4 Nanotecnología y aplicaciones industriales de extractos de plantas.....	18
2.9 Toxicidad por plantas .....	20
2.9.1 Evaluación de la toxicidad y seguridad de <i>Equisetum</i> y otros productos herbales.....	21
2.9.2 Toxicidad y eficacia de <i>Equisetum arvense</i> .....	21
2.9.3 Identificación de contaminaciones en hierbas medicinales .....	21
2.9.4 Regulación y control de calidad .....	21
2.9.5 Evaluación integral de bioactividad .....	21
2.9.6 Seguridad en tratamientos específicos.....	22
2.9.7 Estudios adicionales sobre seguridad y efectos teratogénicos .....	22
2.10 <i>Equisetum praealtum</i> Raf. ....	22
2.10.1 Usos medicinales de <i>E. praealtum</i> .....	26
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	27
IV. JUSTIFICACIÓN.....	28
V. HIPÓTESIS.....	29
VI. OBJETIVOS .....	30
6.1 General .....	30
6.2 Específicos .....	30
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
7.1 Lugar de obtención de las muestras .....	31
7.2 Tipo de Estudio .....	31

7.3 Material .....	31
7.3.1 Material vegetal .....	31
7.4. Preparación de extracto etanólico.....	31
7.5. Análisis fitoquímico del extracto etanólico de <i>Equisetum praealtum</i> .....	32
7.5.1 Determinación cualitativa de reacción en tubo de metabolitos en extracto etanólico de <i>E. praealtum</i> .....	33
7.5.2. Cromatografía en capa fina del extracto etanólico de <i>E. praealtum</i> .....	35
7.6. Actividad Antioxidante.....	36
7.6.1. Método DPPH .....	36
7.7 Actividad antibacteriana.....	36
7.7.1 Cultivo de cepas .....	36
7.7.2 Determinación de sensibilidad a antibióticos.....	37
7.8 Toxicidad del extracto etanólico .....	40
7.8.1 Toxicidad en <i>Artemia salina</i> .....	40
7.9 Análisis estadístico .....	41
7.10 Lugar de realización.....	41
7.11 Financiamiento.....	42
VIII. RESULTADOS .....	43
8.1 Identificación taxonómica.....	43
8.2 Rendimiento de extracto etanólico de <i>E. praealtum</i> .....	44
8.3 Perfil fitoquímico de <i>E. praealtum</i> .....	44
8.4 Análisis cromatográfico de metabolitos secundarios en <i>E. praealtum</i> .....	48
8.5 Evaluación antioxidante por el método DPPH .....	49
8.6 Evaluación de la sensibilidad y resistencia de cepas <i>Escherichia</i> spp. a diversos antibióticos .....	51
8.7 Sensibilidad y resistencia de cepas <i>Staphylococcus</i> spp. a diversos antibióticos .....	52
8.8 Actividad antibacteriana de los extractos etanólicos de <i>E. praealtum</i> por difusión en agar por sensidiscos .....	53
8.9 Actividad antibacteriana por difusión en agar .....	54
8.10 Análisis de mortalidad de <i>A. salina</i> expuesta al extracto etanólico de <i>E. praealtu</i> .....	55
IX. DISCUSIÓN.....	57
X. CONCLUSIONES .....	61

<b>XI. PERSPECTIVAS</b> .....	<b>62</b>
<b>XII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>64</b>
<b>XIII. ANEXOS</b> .....	<b>84</b>

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Tamizaje fitoquímico del extracto etanólico de la parte aérea de <i>E. praealtum</i> . 49	
<b>Cuadro 2.</b> Cromatografía en capa fina (TLC) de la planta <i>E. praealtum</i> ..... 51	

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Distribución del género <i>Equisetum</i> . .....	06
<b>Figura 2.</b> <i>Equisetum praealtum</i> Raf. syn. <i>Equisetum hyemale</i> L. ....	26
<b>Figura 3.</b> Distribución de <i>E. praealtum</i> . .....	27
<b>Figura 4.</b> Montaje del espécimen de <i>E. praealtum</i> .....	45
<b>Figura 5.</b> Reacciones en tubo de compuestos fenólicos, taninos y flavonoides .....	47
<b>Figura 6.</b> Reacciones en tubo de alcaloides y control.....	48
<b>Figura 7.</b> Reacciones de tubos obtenidos en el análisis fitoquímico del extracto etanólico de <i>E. praealtum</i> . .....	49
<b>Figura 8.</b> Cromatografía en capa fina de extracto etanólico de partes aéreas de <i>E. praealtum</i> . .....	50
<b>Figura 9.</b> Actividad antioxidante del extracto etanólico de partes aéreas de <i>E. praealtum</i> . .....	52
<b>Figura 10.</b> Sensibilidad y resistencia de cepas de <i>E. coli</i> a diferentes antibióticos. ....	53
<b>Figura 11.</b> Distribución de la sensibilidad y resistencia a diferentes antibióticos en cepas de <i>Staphylococcus aureus</i> . .....	54
<b>Figura 12.</b> Cepas resistentes de <i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i> contra el extracto etanólico de partes aéreas de <i>E. praealtum</i> por el método de difusión en agar por sensidiscos.....	55
<b>Figura 13.</b> Cepas resistentes de <i>S. aureus</i> y <i>E. coli</i> contra el extracto etanólico de partes aéreas de <i>E. praealtum</i> por el método de difusión en agar. ....	56
<b>Figura 14.</b> Relación dosis-mortalidad del extracto de <i>E. praealtum</i> (partes aéreas) en <i>Artemia salina</i> . .....	58

## Abreviaturas

**ABTS:** Ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico.

**ADN:** Ácido desoxirribonucleico

**ATCC:** American Type Culture Collection (cepa de referencia).

**CMI:** Concentración mínima inhibitoria.

**CYTED:** Centro Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

**DL<sub>50</sub>:** Dosis letal media.

**EC<sub>50</sub>:** Concentración de antioxidante necesaria para inactivar el 50% del radical DPPH.

**EROs:** Especies reactivas de oxígeno.

**FRAC:** Ferric Reducing Antioxidant Power.

**DPPH:** 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo.

**g:** Gramos.

**µg/mL:** Microgramo sobre mililitro.

**µL:** Microlitros.

**µm:** Micrómetros.

**mg/L:** Miligramos sobre litro.

**mL:** Mililitros.

**mM:** Milimolar.

**ORAC:** Capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno.

**var:** Variedad (subespecie).

**pH:** Potencial de Hidrógeno.

**rpm:** Revoluciones por minuto.

**TEAC:** Equivalentes de Trolox, por sus siglas en inglés, Trolox Equivalent Antioxidant Capacity.

**TLC:** Cromatografía en capa fina.

**TPTZ:** 2,4,6-tripiridiltriazina férrica.

**TSA:** Agar soya tripticaseína.

**UV:** Ultravioleta.

**v/v:** Volumen sobre volumen.

## RESUMEN

**Introducción:** *Equisetum praealtum*, conocido por sus aplicaciones tradicionales en medicina, ha capturado la atención de la comunidad científica debido a su diversa composición fitoquímica y potencial terapéutico. Investigaciones anteriores han señalado su capacidad antioxidante y antimicrobiana, aunque con resultados variados en cuanto a la eficacia de sus extractos.

**Objetivo:** Evaluar la actividad biológica y toxicidad de la planta *E. praealtum* nativa del estado de Sinaloa. **Metodología:** Se empleó un método de extracción etanólico para obtener el extracto

de las partes aéreas de *E. praealtum*. Se realizó un tamizaje fitoquímico para identificar los principales compuestos activos, se evaluó la actividad antioxidante por el método DPPH, la actividad antibacteriana mediante técnicas de difusión en disco y en agar, así como la toxicidad utilizando el ensayo de DL<sub>50</sub>. **Resultados:** El extracto presentó un alto rendimiento del 25.19%, con presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, taninos y terpenos. No se observó actividad antibacteriana contra *S. aureus* ni *E. coli*, pero se demostró una actividad antioxidante moderada.

La toxicidad del extracto fue clasificada como moderada, con una DL<sub>50</sub> de 291 µg/mL.

**Conclusión:** El extracto etanólico de *E. praealtum* mostró actividad antioxidante, aunque la falta de actividad antibacteriana sugiere limitaciones en su potencial antimicrobiano bajo las condiciones de prueba. La moderada toxicidad indica la necesidad de cautela en su uso potencial. Estos hallazgos apoyan la realización de futuras investigaciones para optimizar las condiciones de extracción y ampliar el entendimiento de sus aplicaciones terapéuticas.

**Palabras Clave:** *Equisetum praealtum*, actividad antioxidante, perfil fitoquímico, toxicidad, actividad antibacteriana

## ABSTRACT

**Introduction:** *Equisetum praealtum*, known for its traditional applications in medicine, has captured the attention of the scientific community due to its diverse phytochemical composition and therapeutic potential. Previous research has pointed out its antioxidant and antimicrobial capacity, although with varied results regarding the efficacy of its extracts. **Objective:** To evaluate the biological activity and toxicity of the *E. praealtum* plant native to the state of Sinaloa. **Methodology:** An ethanolic extraction method was used to obtain the extract of the aerial parts of *E. praealtum*. A phytochemical screening was carried out to identify the main active compounds, the antioxidant activity was evaluated by the DPPH method, the antibacterial activity by disk and agar diffusion techniques, as well as the toxicity using the LD<sub>50</sub> test. **Results:** The extract presented a high yield of 25.19%, with the presence of phenolic compounds, flavonoids, tannins and terpenes. No antibacterial activity was observed against *S. aureus* and *E. coli*, but moderate antioxidant activity was demonstrated. The toxicity of the extract was classified as moderate, with an LD<sub>50</sub> of 291 µg/mL. **Conclusion:** The ethanolic extract of *E. praealtum* showed antioxidant and activity, although the lack of antibacterial activity suggests limitations in its antimicrobial potential under the test conditions. The moderate toxicity indicates the need for caution in its potential use. These findings support future research to optimize extraction conditions and broaden the understanding of its therapeutic applications.

**Keywords:** *Equisetum praealtum*, antioxidant activity, phytochemical profile, toxicity, antibacterial activity.

# I. INTRODUCCIÓN

El estudio de las propiedades farmacológicas y la seguridad de los extractos vegetales ha ganado un interés renovado en el campo de la biomedicina, en parte debido al reconocimiento de su potencial terapéutico y a la necesidad de opciones terapéuticas más seguras y naturales. Dentro de este contexto, el género *Equisetum*, conocido por su amplia distribución y variedad de especies, ha sido objeto de numerosas investigaciones centradas en sus capacidades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas. Sin embargo, la especie *Equisetum praealtum* Raf., nativa de ciertas regiones de México, como Sinaloa, ha sido relativamente poco estudiada en comparación con sus congéneres más comunes. Esta investigación se propone evaluar exhaustivamente tanto la actividad biológica como la toxicidad de *E. praealtum*, con el objetivo de descubrir potenciales aplicaciones farmacológicas y validar su uso seguro en la medicina humana.

Investigaciones previas han demostrado que los extractos de *Equisetum* poseen propiedades antioxidantes significativas, que podrían contribuir a mitigar el daño celular y prevenir enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo (Sissi et al., 2023; Song et al., 2021). Estos estudios sugieren que *Equisetum* podría desempeñar un papel crucial en la prevención de trastornos metabólicos y neurodegenerativos, lo cual es especialmente relevante en el contexto del envejecimiento de la población mundial.

Por otro lado, la capacidad de *Equisetum* para inhibir el crecimiento de patógenos bacterianos y fúngicos resalta su potencial como fuente de nuevos antimicrobianos, en un tiempo donde la resistencia a los antibióticos es una creciente preocupación global (Rogozhin et al., 2020; Dos Santos Alves et al., 2023). Además, estudios recientes indican que ciertas especies de *Equisetum*

exhiben propiedades anticancerígenas, ofreciendo perspectivas prometedoras para el desarrollo de terapias anticancerígenas más efectivas y menos tóxicas (Wang et al., 2023).

Este proyecto se centra específicamente en *E. praealtum* y se estructura alrededor de una metodología que combina técnicas de extracción avanzadas con análisis fitoquímico y bioensayos para evaluar tanto la actividad biológica como la toxicidad de los extractos obtenidos. La finalidad es proporcionar una base científica sólida para el uso potencial de esta especie en el tratamiento y prevención de enfermedades, así como asegurar su uso seguro en aplicaciones clínicas. Además, este estudio busca contribuir a la valoración y conservación de la biodiversidad de Sinaloa, proponiendo usos sostenibles y responsables de sus recursos naturales.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Familia Equisetaceae

La familia Equisetaceae está compuesta por plantas paludícolas o terrestres, perennes, que poseen rizomas provistos de numerosas raíces adventicias que nacen en los nodos y tallos aéreos. Estos tallos son monopódicos, metamerizados con nudos y entrenudos bien marcados, con costillas longitudinales en los entrenudos y hojas uninervias que forman una vaina con dientes apicales. Los tejidos vasculares se organizan en paquetes que se alternan en los sucesivos entrenudos, y cada paquete vascular presenta un canal carinal. Los esporangios se agrupan en la parte ventral de una bráctea estéril, formando un estróbilo de forma elíptica a subcilíndrica. Las esporas son esféricas, con un esporodermo muy delgado consistente de exosporio y perisporio, y presentan dos eláteres espatulados dispuestos en cruz (Grajales y Tejero, 2017).

### 2.2 Género *Equisetum*

El género *Equisetum*, compuesto por 18 especies y 23 híbridos, de distribución casi cosmopolita, aunque la mayoría de ellas se encuentra en regiones de clima templado (**Figura 1**) (POWO, 2024). Este género, conocido comúnmente como cola de caballo, se clasifica en dos subgéneros: *Equisetum* e *Hippochaete*. El subgénero *Equisetum* incluye ocho especies del hemisferio boreal, caracterizadas por presentar tallos vegetativos y reproductores dimórficos, estacionalmente deciduos y altamente ramificados, con estomas en la superficie de los tallos. Por otro lado, el subgénero *Hippochaete*, al cual pertenece *Equisetum praealtum*, engloba siete especies con distribución en ambos hemisferios, que se distinguen por tallos monomórficos, perennes (con duración de al menos un año), verdes, con o sin ramificaciones en los nudos, y estomas hundidas. En América, se registran 13 especies de este género, incluyendo cinco en la región intertropical.

Específicamente en México, existen tres especies y tres híbridos, todos pertenecientes al subgénero *Hippochaete*, incluido *Equisetum praealtum*, todos con usos medicinales documentados (Christenhusz et al., 2019; Grajales y Tejero, 2017).



**Figura 1.** Distribución del género *Equisetum*. Imagen obtenida del portal Plants of the World Online.

### **2.3 Aplicaciones diversas de plantas medicinales: enfoque en *Equisetum***

La integración de conocimientos tradicionales y científicos ha llevado a la exploración y aplicación extensiva de plantas medicinales, como *Equisetum*, en diversos campos de la salud y la industria. Carmona y Pereira (2022) destacan esta sinergia en "Farmacia da Natureza" en Brasil, resaltando la importancia de la biodiversidad local en la preparación de medicamentos herbales. Del mismo modo, la medicina tradicional argelina emplea *Equisetum arvense* L. eficazmente para tratar enfermedades urinarias (Taïbi et al., 2021).

En estudios más específicos, Ahmadianfar et al. (2021, 2023) han analizado el impacto de varios extractos de plantas, incluyendo *E. arvense*, en las pruebas de coagulación y control de hemorragias en modelos animales, encontrando efectos significativos en la regulación de estos procesos vitales. A su vez, Carneiro et al. (2022) compararon un extracto de *E. arvense* con la hidroclorotiazida en pacientes hipertensos, observando efectos comparables en la reducción de la presión arterial, mientras que Carmignan et al. (2020) documentaron mejoras en la cicatrización de heridas con un hidrogel de *E. pyramidale* Goldm., atribuidas a su riqueza en flavonoides como la pinocembrina.

Fajri et al. (2020, 2021) destacaron las mejoras en la calidad del espermatozoides y la fertilización *in vitro* tras la administración de extracto metanólico de *E. arvense* en ratones diabéticos, sugiriendo beneficios en la salud reproductiva. Paralelamente, el extracto etanólico de *E. arvense* ha mostrado ser efectivo contra la araña roja *Tetranychus merganser*, lo que indica un potencial agroquímico que requiere investigación adicional (Treviño et al., 2021).

En el ámbito de la salud gastrointestinal, Mushtaq et al. (2021) observaron una reducción de las lesiones gástricas con el uso de extracto de *Equisetum hyemale* L., mientras que en el campo dermatológico y cosmecéutico, Thammarat et al. (2023) exploraron extractos de *Equisetum debile* Roxb. por su actividad antitirosinasa y anti-colagenasa. Adicionalmente, extractos de *E. arvense* han mostrado eficacia en el tratamiento de la urolitiasis (Tsubanova et al., 2019) y en la reducción de agua extracelular y masa grasa (Perna et al., 2020).

Las investigaciones también han abordado el uso de *Equisetum* en la mejora de la salud bucal, como los dentífricos a base de cáscara de granada y *E. arvense* que han demostrado reducir los túbulos dentinarios abiertos (Peyro Mousavi et al., 2022). Esquivel Rojas et al. (2020) evaluaron

su eficacia como inhibidor natural de la corrosión en cobre, y Wulf et al. (2023) confirmaron su utilidad en la protección fitosanitaria de rosas cortadas.

La diversidad de aplicaciones de *Equisetum* en medicina, agricultura y otras industrias refleja su potencial significativo y la necesidad de una regulación y evaluación rigurosa para maximizar sus beneficios y garantizar la seguridad.

#### **2.4 Actividad biológica de compuestos químicos presentes en el género *Equisetum***

La actividad biológica se define como el efecto que un compuesto específico ejerce sobre las células. La evaluación de estas propiedades biológicas, junto con el análisis de perfiles toxicológicos, constituye un pilar fundamental en el descubrimiento y desarrollo de nuevos fármacos. Comprender estas interacciones a nivel celular es crucial para la identificación de potenciales aplicaciones terapéuticas de dichos compuestos. Según Granchi (2022), la actividad biológica de compuestos tanto naturales como sintéticos es crucial para identificar nuevas oportunidades en el desarrollo de tratamientos más efectivos y seguros. Además, Egorov et al. (2021) exploran la acción biológica de los análogos y derivados de poliaminas biogénicas, demostrando la complejidad y el impacto significativo de estas interacciones moleculares en las células.

##### **2.4.1 Avances en la extracción y análisis de compuestos químicos de *Equisetum***

La investigación reciente ha proporcionado avances significativos en la comprensión de los compuestos químicos en diversas especies de *Equisetum*, explorando métodos de extracción innovadores y analizando la bioactividad de estos compuestos.

#### **2.4.2 Optimización de métodos de extracción**

Saeed Abadi et al. (2024) investigaron el impacto de la sonicación en el contenido fenólico y la actividad antioxidante de *E. arvense*, encontrando condiciones óptimas que maximizan estos atributos. Adicionalmente, exploraron el efecto de diferentes disolventes en la extracción de compuestos fenólicos y flavonoides, concluyendo que el metanol es el disolvente más efectivo para tales compuestos en la cola de caballo.

#### **2.4.3 Investigación oncológica en cáncer de mama e hígado**

Ahmed et al. (2019) exploraron los efectos de los alcaloides de *E. arvense* en líneas celulares de cáncer de mama y de hígado, encontrando que estos compuestos exhiben una potente actividad antioxidante y citotóxica dosis-dependiente, además de inducir la apoptosis en células cancerosas. Este estudio proporciona una base para futuras investigaciones sobre la utilidad de los alcaloides de *Equisetum* como agentes anticancerígenos, destacando su potencial para activar mecanismos de muerte celular en tipos de cáncer agresivos.

#### **2.4.4 Actividad citotóxica de flavonoides**

Gurgul et al. (2022) realizaron un análisis fitoquímico de *E. arvense* y evaluaron su actividad citotóxica en células de melanoma humano y cáncer de ovario. Los resultados indicaron que los flavonoides presentes en *Equisetum* podrían ser efectivos para el desarrollo de fármacos anticancerígenos, aprovechando su capacidad para atacar selectivamente las células cancerosas.

#### **2.4.5 Evaluación de aceite esencial**

Gu et al. (2022) investigaron la composición química y la actividad anticancerígena del aceite esencial de *E. arvense* en células de cáncer de próstata, descubriendo una potente inhibición del crecimiento tumoral. Este hallazgo sugiere que los componentes del aceite esencial pueden ser clave en el desarrollo de tratamientos más eficaces contra el cáncer de próstata.

#### **2.4.6 Estudios sobre alcaloides en *Equisetum palustre***

Müller et al. (2020) analizaron los niveles de alcaloides en *Equisetum palustre* L. durante diferentes etapas de desarrollo, proporcionando información crucial para prevenir riesgos de contaminación en su uso. Nowak et al. (2022) desarrollaron un método de cromatografía líquida para detectar estos alcaloides en productos comerciales, verificando su presencia y su transferencia a infusiones de té.

#### **2.4.7 Evaluación de bioactividad versus compuestos marcadores**

Schreiner et al. (2021) propusieron un cambio paradigmático hacia la evaluación de bioactividad en lugar de simplemente identificar compuestos marcadores. Identificaron más de 60 compuestos bioactivos en extractos de plantas, incluyendo *E. arvense*. Este enfoque sugiere una transición hacia una evaluación más integral de la bioactividad para el control de calidad de alimentos y medicinas vegetales.

#### **2.4.8 Análisis metabolómicos de la diversidad química**

Parrish et al. (2022) examinaron la diversidad química de tres especies de *Equisetum* mediante análisis metabolómicos de extractos de brotes aéreos y rizomas subterráneos. Este estudio reveló patrones específicos de acumulación de metabolitos para cada especie y órgano, proporcionando un entendimiento más profundo de la variabilidad química dentro del género.

### **2.5 Actividad antimicrobiana del género *Equisetum***

El proceso de desarrollo de nuevos fármacos comienza con la identificación de principios activos y continúa con una serie de ensayos biológicos para evaluar su potencial antimicrobiano. Estos ensayos, fundamentales para determinar la concentración mínima inhibitoria o

bactericida, son esenciales para entender la efectividad de los compuestos bajo estudio (Ncube et al., 2008).

Es fundamental reconocer que los resultados de las pruebas de susceptibilidad microbiana pueden variar según diversos factores, como la selección de plantas, el método de extracción empleado, la elección de bioensayos adecuados y detalles operativos como la cantidad de inóculo y la técnica utilizada para determinar la actividad antimicrobiana. Los métodos para evaluar estas actividades se dividen en tres categorías principales: difusión, dilución y métodos bioautográficos.

### **2.5.1 Propiedades antimicrobianas de *Equisetum* y su aplicación en tratamientos médicos**

Las investigaciones sobre las propiedades antimicrobianas de diferentes especies de *Equisetum* han demostrado su potencial para combatir diversas infecciones bacterianas y fúngicas, así como para mejorar los tratamientos médicos existentes. Estos estudios destacan la utilidad de *Equisetum* en varias aplicaciones clínicas, desde tratamientos dermatológicos hasta el manejo de enfermedades periodontales y urinarias.

### **2.5.2 Prevención y tratamiento de infecciones urinarias**

Mo y Hensel (2023) demostraron que un extracto seco de *E. arvense* puede reducir la adhesión de *Escherichia coli* uropatógena a células de vejiga humana, indicando un posible beneficio terapéutico en el tratamiento de infecciones urinarias no complicadas. Este hallazgo se complementa con investigaciones previas de Mo et al. (2022), que mostraron cómo el extracto aumenta la secreción de la proteína Tamm-Horsfall, potencialmente reduciendo la formación de cálculos renales y mejorando la respuesta del cuerpo a infecciones urinarias.

### **2.5.3 Eficacia contra patógenos específicos**

Rogozhin et al. (2020) descubrieron que los extractos peptídicos de *E. arvense* son efectivos contra *Phytophthora infestans*, evidenciando la presencia de péptidos cortos con propiedades antimicrobianas. De forma similar, Dos Santos Alves et al. (2023) evaluaron *E. hyemale* contra *Pseudomonas aeruginosa*, destacando su potencial como agente antibiofilm. Estos hallazgos sugieren aplicaciones significativas de *Equisetum* en el tratamiento de infecciones complejas.

### **2.6 Actividad antioxidante del género *Equisetum***

La noción de antioxidantes abarca diversas definiciones, pero se refiere principalmente a compuestos que actúan como inhibidores de la peroxidación lipídica, interrumpiendo la cadena de reacciones adversas, como es el caso de la vitamina E. Halliwell (1990) propone una definición funcional de los antioxidantes como "cualquier sustancia que, presente en concentraciones bajas en comparación con las de un sustrato susceptible a la oxidación, retarda o previene significativamente la oxidación de dicho sustrato".

Los antioxidantes pueden ejercer su acción de dos maneras distintas: como antioxidantes primarios, que capturan radicales libres, o mediante mecanismos no relacionados con la captación de radicales libres, denominados antioxidantes secundarios (Naranjo et al., 2011). El organismo humano se protege del estrés oxidativo mediante una variedad de sustancias antioxidantes que desempeñan diferentes funciones, ayudando a mitigar los efectos nocivos de los radicales libres. Estos últimos, debido a su alta reactividad, pueden inducir estrés oxidativo al incrementar la producción de especies reactivas de oxígeno (EROs), lo que puede resultar en peroxidación lipídica, daño en las membranas celulares, ruptura del ADN y degradación de proteínas (Pérez Gastell y Pérez de Alejo, 2000).

Las células de los organismos vivos se autoprotegen mediante sustancias antioxidantes con el fin de neutralizar o mitigar los efectos de los radicales libres. Existen teorías que sugieren que los radicales libres son una de las principales causas de cáncer en humanos y que un consumo elevado de antioxidantes a través de la dieta puede reducir significativamente el riesgo de enfermedades relacionadas (Naranjo et al., 2011). De hecho, se ha acumulado evidencia que sugiere que los compuestos con actividad antioxidante están vinculados a la inhibición del crecimiento de células tumorales y cancerígenas (Bonofiglio et al., 2016; Caselli et al., 2016; Formagio et al., 2015; Jahanban et al., 2015; Salim et al., 2015).

### **2.6.1 Actividad antioxidante del género *Equisetum*: implicaciones y aplicaciones diversas**

La investigación en torno a los extractos de diversas especies de *Equisetum* ha revelado propiedades antioxidantes notables que tienen un impacto significativo en múltiples aplicaciones, desde la medicina hasta la industria textil. Estos estudios resaltan el potencial de *Equisetum* para ser utilizado en tratamientos naturales y en el desarrollo de nuevos productos con beneficios para la salud y la longevidad.

*E. arvense* L., una de las especies más estudiadas dentro de este género, ha demostrado poseer una amplia gama de propiedades biológicas. Estas incluyen actividades antioxidantes, antitumorales, antimicrobianas, relajantes del músculo liso, anticonvulsivantes, sedantes, ansiolíticas, antinociceptivas, antiinflamatorias, antidiabéticas, diuréticas, inhibidoras de la agregación plaquetaria, promotoras de la respuesta osteoblástica y antileishmania (Boeing et al., 2021).

Song et al. (2021) destacaron que los extractos de *E. arvense* son capaces de reducir efectivamente los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que puede tener implicaciones directas en la prolongación de la longevidad y en la prevención de diversas

enfermedades asociadas al estrés oxidativo. Esta capacidad antioxidante se extiende a otras especies del género, como *Equisetum ramosissimum* Desf., que además de sus propiedades antioxidantes, ha demostrado tener efectos analgésicos y antiinflamatorios, atribuidos a sus compuestos fenólicos y flavonoides (Sissi et al., 2023).

En la industria textil, Park y Park (2020) investigaron la aplicación de extractos de *E. arvense* como colorantes naturales, aprovechando sus propiedades antioxidantes para ofrecer alternativas más saludables y sostenibles para el teñido de textiles. Estos extractos no solo mejoran la calidad de los productos textiles, sino que también incorporan beneficios antioxidantes en los materiales.

Adicionalmente, estudios fitoquímicos realizados en *Equisetum giganteum* L. han identificado la presencia de derivados flavonoides, principalmente quercetina y kaempferol. Estos compuestos han mostrado importantes actividades antiinflamatorias, antioxidantes y antiproliferativas, subrayando la relevancia de estos extractos en el desarrollo de aplicaciones terapéuticas (Olazarán et al., 2021).

Por otro lado, la investigación realizada por Wang et al. (2023) encontró que *E. giganteum* posee una alta capacidad antioxidante con un potencial anticancerígeno prometedor, especialmente efectivo contra el cáncer colorrectal humano, sin inducir toxicidad en células normales. Este hallazgo subraya el potencial terapéutico de los extractos de *Equisetum* en el campo de la oncología.

Además, Yin et al. (2023) desarrollaron un método eficiente y novedoso utilizando la celulosa para extraer flavonoides antioxidantes de *E. arvense*, destacando la potencia de los extractos obtenidos en aplicaciones nutricionales y terapéuticas. Este enfoque innovador no solo mejora

la eficacia de la extracción, sino que también maximiza los beneficios saludables de los extractos.

Žitek et al. (2020) investigaron las condiciones óptimas para la extracción de compuestos antioxidantes de *E. arvense* entre otras plantas medicinales, encontrando una correlación directa entre el contenido de antioxidantes y la reducción de la actividad metabólica en células cancerosas de la piel. Este estudio enfatiza la importancia de las condiciones de extracción para maximizar la efectividad terapéutica de los antioxidantes naturales.

En un contexto más amplio, investigaciones como las realizadas por Woloszyn et al. (2022), Batir et al. (2021) y Batir et al. (2021) han demostrado que tanto *E. giganteum* como *E. pratense*, *Equisetum sylvaticum* L., y *Equisetum telmateia* Ehrh. exhiben notables actividades antioxidantes con aplicaciones adicionales en neuroprotección y antimicrobianos. Además, *E. telmateia* ha mostrado propiedades antiureasa y anticolinesterasa, sugiriendo su utilidad en la prevención de cálculos renales (Taşkın et al., 2020).

Finalmente, Giordani et al. (2022) exploraron las propiedades antioxidantes, citotóxicas y antifúngicas de extractos hidroalcohólicos de plantas nativas del sur de Brasil, incluyendo *E. hyemale*. Estos estudios han revelado que los extractos poseen baja citotoxicidad y alta actividad antioxidante, reforzando su potencial uso en aplicaciones antifúngicas.

Este amplio espectro de investigaciones subraya el valor de *Equisetum* como una fuente rica y versátil de antioxidantes naturales, con un potencial considerable para futuras aplicaciones terapéuticas y comerciales.

### **2.6.2 Efectos en cáncer cervical**

Olazarán et al. (2021) estudiaron el *Equisetum myriochaetum* Schldl. & Cham. y su efecto *in vitro* contra células de cáncer cervical (SiHa), observando no solo una actividad antioxidante,

sino también antiproliferativa significativa. Estos resultados resaltan la capacidad de *Equisetum* para interferir en la progresión del cáncer a nivel celular, potencialmente reduciendo la proliferación de células cancerosas.

## **2.7 Actividad antiinflamatoria de los extractos de plantas**

La inflamación es una respuesta fisiológica esencial del organismo frente a estímulos nocivos como quemaduras, patógenos y células dañadas. Esta compleja respuesta involucra mediadores que pueden clasificarse como proinflamatorios y antiinflamatorios. Algunos mediadores, como las interleucinas, pueden tener propiedades tanto proinflamatorias como antiinflamatorias, dependiendo de su papel en la respuesta inmune (Nathan, 2002; Rainsford, 2007).

El estudio de la actividad antiinflamatoria ha avanzado significativamente, enfocándose tanto en extractos completos como en metabolitos secundarios aislados de fuentes naturales. Estos estudios utilizan una variedad de modelos farmacológicos, tanto *in vivo* como *in vitro*, para evaluar la eficacia de estos compuestos (Settu y Arunachalam, 2023).

Entre los compuestos examinados, los flavonoides y terpenos se destacan por su amplia distribución en la naturaleza y su variedad de efectos biológicos significativos, especialmente por su actividad antiinflamatoria. Estos estudios subrayan su potencial terapéutico en el tratamiento de enfermedades inflamatorias (Jordamović et al., 2023).

### **2.7.1 Propiedades antiinflamatorias de *Equisetum* en diversos modelos clínicos**

La investigación sobre *Equisetum* ha demostrado su potencial en el tratamiento de diversas condiciones inflamatorias, abordando desde el dolor neuropático hasta enfermedades degenerativas y la cicatrización de heridas.

### **2.7.2 Alivio del dolor neuropático**

Ruga et al. (2023) evaluaron la efectividad de una combinación de palmitoiletanolamida y *E. arvense* en el manejo del dolor neuropático. Sus hallazgos indicaron que esta combinación tiene el potencial para atravesar la barrera intestinal y proporcionar alivio significativo del dolor en modelos de tejido nervioso. Este estudio subraya la capacidad de *E. arvense* para contribuir en tratamientos efectivos contra el dolor crónico y las neuropatías.

### **2.7.3 Cicatrización de heridas y reducción de inflamación**

Aguayo Morales et al. (2023) describieron los efectos de un extracto etanólico al 40% de *E. hyemale* en la cicatrización de heridas. El extracto demostró reducir la viabilidad de las células inflamatorias y promover la proliferación de fibroblastos, facilitando la reparación del tejido. Además, mostró actividad antibacteriana, lo que puede contribuir a prevenir infecciones en heridas abiertas.

### **2.7.4 Uso de plantas medicinales en el tratamiento de la diabetes**

Belhaj et al. (2021) llevaron a cabo un estudio en el Alto Atlas Central que evaluó el uso de plantas medicinales, incluyendo especies de *Equisetum*, en el tratamiento de la diabetes. Este estudio proporcionó información valiosa sobre la toxicología y el uso efectivo de plantas endémicas, destacando la importancia de las terapias basadas en plantas en las comunidades locales y su potencial para ser integradas en regímenes de tratamiento más amplios.

### **2.7.5 Mitigación de la nefropatía diabética**

Abdullah et al. (2024) exploraron el impacto de los extractos metanólicos y etanólicos de *E. ramosissimum* en ratas, con un enfoque en la diabetes y la nefropatía diabética. Los hallazgos revelaron que estos extractos no solo reducen los niveles de glucosa en sangre, sino que también

mejoran la función renal. Estos beneficios se atribuyen al alto contenido de fenoles y flavonoides en los extractos, lo que sugiere que *E. ramosissimum* puede ser particularmente útil en la protección renal y el manejo general de la diabetes.

### **2.7.6 Propiedades antidiabéticas de *Equisetum* en el tratamiento de diabetes y sus complicaciones**

La investigación sobre *Equisetum* ha demostrado efectos prometedores en el manejo de la diabetes y sus complicaciones asociadas, enfocándose en las propiedades hipoglicemiantes y protectoras de diversas especies de esta planta.

### **2.7.7 Efecto hipoglicemiante e hipolipemiante de *Equisetum giganteum***

Vieira et al. (2020) investigaron específicamente el *E. giganteum* y su potencial antidiabético e hipolipemiante en conejos diabéticos. Los resultados mostraron una reducción significativa en los niveles de glucosa, colesterol y triacilglicerol en la sangre, además de prevenir complicaciones hepáticas. Este estudio subraya la eficacia de *E. giganteum* en la reducción de biomarcadores críticos asociados con la diabetes y el estrés metabólico.

### **2.7.8 Tratamiento de la osteosarcopenia**

Salvadori et al. (2024) investigaron los efectos del extracto de *E. arvense* en modelos de atrofia muscular y osteoclastogénesis. Sus resultados sugieren que *E. arvense* puede ser útil en el tratamiento de la osteosarcopenia, una condición que combina la pérdida de masa muscular y ósea, ofreciendo nuevas alternativas para abordar estas enfermedades relacionadas con la edad.

### **2.7.9 Prevención de la destrucción ósea en periodontitis**

Shiba et al. (2021, 2022) examinaron cómo el extracto de *E. arvense* puede influir en los genes y proteínas asociados con la destrucción ósea alveolar en modelos de periodontitis en ratas. Los

estudios revelaron que *E. arvense* reduce la inflamación periodontal y regula la expresión génica, proporcionando evidencia de su eficacia como tratamiento complementario en la periodontitis.

## **2.8 Actividad biológica en plantas**

En el reino vegetal, la actividad biológica es impulsada principalmente por metabolitos secundarios. Estos compuestos, sintetizados por las plantas, desempeñan roles clave en la defensa, adaptación al medio y en los procesos de pigmentación. Entre estos metabolitos, los compuestos fenólicos y los flavonoides son particularmente notables por su función como antioxidantes naturales. Estos actúan eficazmente captando radicales libres, quelando metales y como inhibidores de la peroxidación lipídica. La presencia de estas moléculas y estructuras químicas en plantas está asociada a una amplia gama de propiedades, incluyendo actividades antimicrobianas, antioxidantes, antifúngicas, antivirales, antiinflamatorias y antitumorales, entre otras. Woloszyn et al. (2022) destacan cómo estas características bioactivas son fundamentales para el aprovechamiento de extractos vegetales en aplicaciones médicas y biotecnológicas.

### **2.8.1 Aplicaciones clínicas y terapéuticas**

Sarri et al. (2020) utilizaron suplementos fitoterapéuticos incluyendo *Equisetum* en el tratamiento de la periodontitis, observando una mejoría clínica significativa en los pacientes, lo que subraya la utilidad de la fitoterapia en regímenes de tratamiento periodontal. Por otro lado, Giordani et al. (2022) investigaron la actividad antibacteriana de *E. hyemale* junto con otras plantas, notando su efectividad contra cepas bacterianas aisladas de animales y destacando compuestos activos como el galato de etilo y la quercetina.

## **2.8.2 Investigaciones adicionales en aplicaciones médicas**

Abed Savaya et al. (2020) exploraron las propiedades antioxidantes y antibacterianas de *E. ramosissimum*, confirmando su eficacia contra *Propionibacterium acnes* y su potencial en tratamientos dermatológicos. Adicionalmente, Schloss et al. (2019, 2021) investigaron una combinación de hierbas, incluyendo *Equisetum*, en el tratamiento de la enuresis nocturna en niños, donde se observó una reducción significativa en la frecuencia y urgencia de la enuresis. Estos estudios consolidan la posición de *Equisetum* como un componente valioso en la fitoterapia, destacando su amplio espectro de actividad antimicrobiana y su potencial para mejorar los tratamientos médicos convencionales y alternativos.

## **2.8.3 Potencial anticancerígeno de *Equisetum***

La investigación sobre las propiedades anticancerígenas de *Equisetum* ha revelado resultados prometedores en diversas líneas celulares cancerígenas, subrayando el potencial de estos compuestos naturales en la oncología.

## **2.8.4 Nanotecnología y aplicaciones industriales de extractos de plantas**

La aplicación de nanotecnología y métodos industriales en el uso de extractos de plantas, especialmente *E. arvense*, ha avanzado significativamente, ofreciendo soluciones innovadoras en diversos campos desde la medicina hasta la agricultura.

### **2.8.4.1 Síntesis de nanopartículas**

- **Nanopartículas de plata:** Bravo de Luciano et al. (2022) y Sedaghat y Omid (2019) exploraron el uso de extractos de plantas y biopolímeros, incluyendo *E. arvense*, en la síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs), destacando sus aplicaciones en dispositivos como condensadores y sus propiedades antibacterianas contra patógenos

como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Akar et al. (2024) también destacaron la efectividad de AgNPs obtenidas de *Equisetum arvense* en la inhibición de cepas bacterianas y enzimas, sugiriendo su aplicación en el tratamiento de enfermedades.

#### **2.8.4.2 Aplicaciones médicas y de salud**

- **Hidrogeles para curación de heridas:** Głąb et al. (2021) desarrollaron hidrogeles a base de quitosano modificado con extracto de *E. arvense*, que mostraron propiedades prometedoras para aplicaciones de apósito, gracias a su capacidad para adaptarse mecánicamente y liberar sustancias activas de manera controlada.
- **Prevención de lesiones dentales:** Setvaji y Subramanian (2024) propusieron el uso de nanopartículas de fluorapatita de estroncio sintetizadas con extractos de *E. arvense* para prevenir lesiones de manchas blancas en el esmalte dental.

#### **2.8.4.3 Uso agrícola y control de fitopatógenos**

- **Bioestimulantes y protección vegetal:** Godlewska et al. (2020) resaltaron el potencial de los extractos de *E. arvense* como bioestimulantes para el crecimiento vegetal, mejorando la fotosíntesis y la actividad antioxidante. Sánchez et al. (2022) desarrollaron nanotransportadores cargados con extractos de *Equisetum* spp., efectivos en el control de fitopatógenos en la madera, con alta eficacia demostrada en ensayos de campo.

#### **2.8.4.4 Otros avances tecnológicos:**

- **Mejora de la biodisponibilidad del silicio:** Boqué et al. (2021) evaluaron la absorción de silicio en diferentes formulaciones, incluyendo combinaciones con *E. arvense*, encontrando que tanto presentaciones en polvo como líquidas ofrecen similar biodisponibilidad, destacando su importancia para la suplementación nutricional.

Estos estudios demuestran la capacidad de la nanotecnología para ampliar y potenciar el uso de extractos de plantas en aplicaciones que cruzan los límites entre la salud, la industria y la tecnología, subrayando la versatilidad y el potencial de *Equisetum* y otras plantas medicinales en la innovación tecnológica y la mejora de productos y procesos industriales.

## **2.9 Toxicidad por plantas**

Aunque la mayoría de las plantas no poseen propiedades tóxicas demostradas, algunas especies comunes en la naturaleza han sido objeto de estudios toxicológicos significativos. La ingestión de plantas representa entre el 1 y el 2% de todos los casos de intoxicación reportados internacionalmente, con la mayoría de estos incidentes siendo accidentales y de vía oral. Además, se ha observado que los hombres son más propensos a sufrir este tipo de intoxicaciones (Macías Peacock et al., 2009).

El diagnóstico de intoxicaciones por plantas puede ser complicado, ya que frecuentemente las personas no mencionan la ingestión de preparaciones vegetales. Este problema se agrava por la falta de información toxicológica disponible sobre muchas especies vegetales y la limitada comprensión de la botánica por parte del personal médico, lo que dificulta la identificación precisa de la planta involucrada, la evaluación de su potencial tóxico y la aplicación de un tratamiento específico (Macías Peacock et al., 2009).

Ante la elevada incidencia de intoxicaciones agudas por plantas, organizaciones como la Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud han subrayado la necesidad de mejorar los servicios de información toxicológica. Esto incluye la implementación y el desarrollo de recursos accesibles para profesionales de la salud y la población en general, buscando así mejorar la calidad de vida y proporcionar respuestas eficaces frente a estas situaciones (Macías Peacock et al., 2009).

### **2.9.1 Evaluación de la toxicidad y seguridad de *Equisetum* y otros productos herbales**

El uso de productos herbales como *Equisetum* y otros extractos vegetales ha generado un interés creciente debido a sus potenciales beneficios terapéuticos. Sin embargo, la evaluación de su toxicidad y seguridad es esencial para su aplicación clínica.

### **2.9.2 Toxicidad y eficacia de *Equisetum arvense***

Bhat et al. (2020) evaluaron la citotoxicidad de *E. arvense* en células de carcinoma pancreático, destacando su potencial como agente anticancerígeno sin reportar efectos adversos significativos. Esta investigación subraya la importancia de continuar explorando las propiedades anticancerígenas de *Equisetum* con un enfoque en su seguridad.

### **2.9.3 Identificación de contaminaciones en hierbas medicinales**

Schlappack et al. (2022) desarrollaron un método sensible utilizando espectrometría de masas para diferenciar entre *Equiseti herba* y *E. palustre*. Este método permite identificar y cuantificar precisamente contaminaciones, mejorando la seguridad en el uso de hierbas medicinales.

### **2.9.4 Regulación y control de calidad**

Başaran et al. (2022) discuten los desafíos en la regulación de productos herbales, resaltando la necesidad de estudios más rigurosos sobre su eficacia y toxicidad para asegurar que sean seguros y efectivos. Belhaj et al. (2021) realizaron un estudio exhaustivo sobre el uso y toxicidad de plantas medicinales en el tratamiento de la diabetes, proporcionando datos valiosos para la regulación y el uso seguro de estas terapias.

### **2.9.5 Evaluación integral de bioactividad**

Schreiner et al. (2021) propusieron un cambio hacia una evaluación más integral de la bioactividad en lugar de centrarse únicamente en compuestos marcadores. Identificaron más de

60 compuestos bioactivos en extractos de plantas, incluyendo *E. arvense*, sugiriendo un enfoque más holístico en el control de calidad de alimentos y medicinas vegetales.

### **2.9.6 Seguridad en tratamientos específicos**

Gažová et al. (2019) evaluaron CELcomplex®, que incluye extractos de *E. arvense*, en mujeres con incontinencia urinaria de esfuerzo, observando mejoras significativas en los síntomas con mínimos efectos secundarios. Esta evaluación resalta la importancia de verificar la seguridad y la eficacia de los productos herbales en aplicaciones clínicas específicas.

### **2.9.7 Estudios adicionales sobre seguridad y efectos teratogénicos**

Vieira et al. (2021) investigaron los efectos teratogénicos de *Equisetum* en peces cebra, encontrando cambios en parámetros bioquímicos y comportamentales, lo que sugiere la necesidad de más estudios sobre su seguridad. Además, Waterstradt et al. (2022) demostraron que el té de *E. giganteum* aumenta la concentración sérica de silicio sin efectos inmunosupresores, ofreciendo evidencia de su seguridad y eficacia.

### **2.10 *Equisetum praealtum* Raf.**

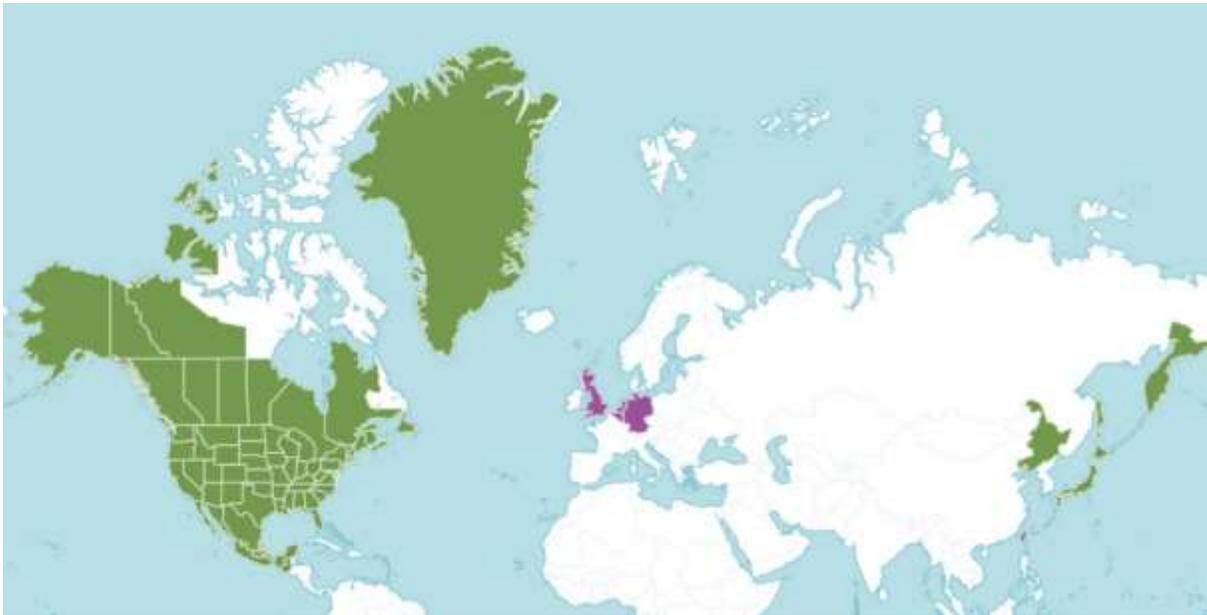
*Equisetum praealtum* Raf. syn. *Equisetum hyemale* L., es una especie polimorfa conocida en Eurasia y Norteamérica (POWO, 2024). Su tallo es erecto, esbelto y generalmente no ramificado, a menos que haya sufrido daños. Los tallos pueden medir de 0.40 a 1.5 m de largo y de 1 a 10 mm de ancho, con costillas que varían de 10 a 40 y crestas tuberculadas. Las vainas son casi tan largas como anchas, en proporción de 1:1, dispuestas en dirección basiscópica. A medida que maduran, se forman anillos apicales acloróticos, con al menos uno inferior oscuro y otro(s) apical(es) de color café a gris cenizo. Los estomas se distribuyen en una sola línea, con una en cada lado del surco. Los estróbilos, estructuras reproductivas terminales en el tallo,

pueden alcanzar hasta 42 mm de largo y 3.5 mm de ancho, y son apiculados, con un mucrón negro (**Figura 2**) (Grajales-Tam y Tejero-Díez, 2017).



**Figura 2.** *Equisetum praealtum* Raf. syn. *Equisetum hyemale* L. Imagen obtenida del portal  
Plants of the World Online

*E. praealtum* es una planta medicinal ampliamente distribuida en casi todas partes del mundo tanto en ambientes fríos como templados de Asia y Norteamérica, así como en regiones de clima tropical de Centro y Sudamérica (**Figura 3**). Ha sido estudiada y utilizada por sus propiedades antibacterianas, antifúngicas y su eficacia como diurético en el tratamiento de enfermedades inflamatorias, hipertensión, accidentes cerebrovasculares y cáncer. Se han identificado diversos compuestos relacionados con estas acciones terapéuticas (De Queiroz et al., 2015).



**Figura 3.** Distribución de *E. praealtum*. Imagen obtenida del portal Plants of the World Online.

### **2.10.1 Usos medicinales de *E. praealtum***

Se conoce con nombres como "Caña de los Ángeles" en Chiapas, "cañuela" en el Valle de México, "canutillo" o "carricillo" en el Estado de México, y más ampliamente como "cola de caballo" (Argueta et al., 2017).

Esta planta se utiliza principalmente en el tratamiento de enfermedades renal-urinarias mediante remedios de administración oral y en afecciones cutáneas mediante aplicaciones tópicas. Para aliviar problemas renales, se prepara una decocción a partir de aproximadamente 20 cm del tallo en un litro de agua, durante el tratamiento se recomienda evitar el consumo de alimentos picantes. Además, se emplea como diurético, agregando un "manojito" de cola de caballo en un litro de agua, que se consume como agua de uso.

En casos de cálculos renales y vejiga inflamada, se hierva la planta y se toma el té tres veces al día (Argueta et al., 2017).

Esta versátil planta también se utiliza para tratar problemas como el ardor de pies, dolor de espalda, y ácido úrico. Se prepara un concentrado de cola de caballo junto con otras plantas, y se agrega al agua antes de beberla. Además, se consume diariamente como té antes de dormir. En forma de cataplasma, se aplica para evitar la caída del cabello y tratar diversas afecciones cutáneas, como abscesos, heridas, quebraduras, sabañones, úlceras, tumores, callosidades, urticaria, eczema y raspones. La raíz de esta planta también se emplea en la dentición de los bebés, y para problemas digestivos, se bebe su cocimiento. Asimismo, se combina con ruda para tratar afecciones biliares, recomendándose su consumo en ayunas (Argueta et al., 2017).

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Anualmente se reportan más de 150 millones de personas afectadas por infecciones del tracto urinario (ITU) en el mundo. En México, el padecimiento ocupa el tercer lugar entre las enfermedades infecciosas solo superado por las infecciones respiratorias agudas y las gastrointestinales (Ahumada et al. 2022).

Sin embargo, el uso indiscriminado de los medicamentos produce efectos secundarios al organismo, por lo cual se ha convertido en un problema para la población. Una estrategia que ha resurgido es la utilización de extractos de plantas, los cuales se han utilizado desde la antigüedad para tratar varios padecimientos.

La especie *Equisetum praealtum* se utiliza comúnmente para preparar infusiones destinadas a combatir enfermedades infecciosas del riñón o del tracto urinario, y que también presenta efectos diuréticos. Además, existen informes que sugieren que *E. praealtum* posee otras propiedades beneficiosas, como actividades antimicrobianas, hepatoprotectoras, antioxidantes y antiinflamatorias, según el conocimiento empírico transmitido de generación en generación entre tribus y la población mexicana.

No obstante, existe una percepción común de que, al ser de origen natural en lugar de sintético, las plantas medicinales no causan efectos secundarios ni daños al organismo. Sin embargo, esta percepción es inexacta, ya que en algunas plantas se han identificado compuestos altamente tóxicos, especialmente cuando se consumen en dosis elevadas o de manera prolongada.

Por lo cual surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la actividad biológica y el grado de toxicidad de *Equisetum praealtum* del estado de Sinaloa?

## IV. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de explorar y validar el potencial terapéutico de *Equisetum praealtum* Raf. (Equisetaceae), una planta nativa de Sinaloa justifica plenamente este estudio. A pesar de su uso tradicional en medicina local, existe una escasez de información científica detallada sobre sus propiedades biológicas y su seguridad. Al investigar estas áreas, se pretende develar los compuestos activos de la planta, que podrían tener aplicaciones significativas en el tratamiento de enfermedades crónicas debido a sus posibles efectos antioxidantes y antiinflamatorios.

Además, evaluar la toxicidad de los extractos de *E. praealtum* es esencial para garantizar su uso seguro en aplicaciones médicas. La investigación sobre la toxicidad ayudará a establecer dosificaciones seguras y eficaces, minimizando los riesgos de efectos adversos y maximizando los beneficios terapéuticos.

En conjunto, este enfoque no solo busca llenar un vacío en la investigación farmacológica, sino que también integra elementos de desarrollo económico, subrayando la relevancia de los enfoques multidisciplinarios en la investigación moderna.

Este trabajo cumple con el apartado de salud en los Programas Nacionales Estratégicos del Conahcyt (Pronaces), dentro Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (PRONAI), en el apartado de medicina tradicional herbolaria.

## V. HIPÓTESIS

"El extracto etanólico de *Equisetum praealtum* exhibe propiedades biológicas significativas, incluyendo actividades antioxidantes y antibacterianas, sin presentar toxicidad adversa significativa en dosis terapéuticas."

## VI. OBJETIVOS

### 6.1 General

Evaluar la actividad biológica y toxicidad de la planta *Equisetum praealtum* nativa del estado de Sinaloa.

### 6.2 Específicos

- 1.- Identificar la presencia de metabolitos secundarios del extracto etanólico de *E. praealtum*.
- 2.-Determinar la capacidad antioxidante *in vitro* del extracto etanólico de *E. praealtum*.
- 3.-Evaluar la actividad antibacteriana del extracto etanólico de *E. praealtum*.
- 4.-Determinar el grado de toxicidad *in vitro* del extracto etanólico de *E. praealtum*.

## **VII. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **7.1 Lugar de obtención de las muestras**

Las muestras fueron recolectadas en Surutato, Badiraguato, Sinaloa, México, ubicadas en las coordenadas geográficas 107°33'59"O.

### **7.2 Tipo de Estudio**

Este estudio se clasifica como experimental y descriptivo, enfocado en identificar las familias de metabolitos secundarios, evaluar las propiedades biológicas y la toxicidad de una especie vegetal seleccionada.

### **7.3 Material**

#### **7.3.1 Material vegetal**

Se recogieron ejemplares completos de la planta, cuidando de seleccionar aquellos en óptimas condiciones y libres de plagas o enfermedades. Se descartaron plantas afectadas por insectos u otras anomalías y raíces que no cumplieran con los estándares de calidad establecidos. Los especímenes seleccionados fueron transportados al Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Una vez en el laboratorio, las plantas fueron lavadas y secadas para eliminar el exceso de humedad a temperatura ambiente, bajo condiciones de sombra a 25 °C. El uso del material vegetal utilizando partes aéreas se justifica debido a la documentación existente sobre su relevancia para el tratamiento de infecciones del tracto urinario y la reducción de inflamación.

#### **7.4. Preparación de extracto etanólico**

El material vegetal recolectado fue inicialmente sometido a un proceso de secado y luego triturado hasta obtener una harina fina. Dicha harina fue tamizada a través de una malla de tamaño 40 (425 µm) para garantizar la uniformidad del material.

Se pesaron exactamente 100 g del polvo tamizado y se maceró en 500 mL de etanol de grado analítico y destilado. La mezcla se mantuvo en agitación constante durante un período de 24 h. Finalizado este tiempo, se filtró la suspensión para recuperar el sobrenadante en matraces de 500 mL. El residuo sólido restante fue sometido a una segunda extracción utilizando otros 500 mL de etanol; este procedimiento se repitió durante dos días adicionales para maximizar la extracción de los compuestos de interés.

Los diferentes sobrenadantes obtenidos a lo largo del proceso fueron combinados y el solvente fue eliminado mediante un rotavapor. Este proceso de concentración continuó hasta la eliminación completa del etanol, asegurando la obtención de un extracto puro.

El rendimiento del proceso de extracción se calculó utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Rendimiento} = (\text{g de extracto obtenido} / 100 \text{ g de harina inicial}) \times 100\%$$

Esta metodología está diseñada para asegurar la obtención de extractos etanólicos de alta calidad y pureza, facilitando así análisis detallados de sus propiedades químicas y biológicas.

#### **7.5. Análisis fitoquímico del extracto etanólico de *E. praealtum***

Posterior a la concentración del extracto de partes aéreas de *E. praealtum*, se realizaron diferentes ensayos con reacciones fitoquímicas en tubo y en capa fina (TLC en placas de aluminio con diferentes fases móviles) para identificar metabolitos secundarios (Harbone, 1973). Se determinaron alcaloides, compuestos fenólicos, flavonoides, taninos, triterpenos y/o esteroides y saponinas. La detección se llevó cabo utilizando agentes reveladores (cambios de coloración o formación de precipitados) y mediante observación de las placas TLC por medio de luz UV (onda larga y corta). Los resultados se expresaron como la presencia relativa de los metabolitos, considerando los siguientes símbolos: presencia baja (+), moderada (++), abundante (+++) y ausencia (-) (Contreras-Angulo et al., 2022).

## **7.5.1 Determinación cualitativa de reacción en tubo de metabolitos en extracto etanólico de *E. praealtum***

### **7.5.1.1 Compuestos Fenólicos**

La identificación de compuestos fenólicos se llevó a cabo mediante la prueba del cloruro férrico. Se agregó en 1 mL del extracto etanólico, con gotas de una solución acuosa de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) al 10%. La aparición de una coloración verde azulada o negra señala la presencia de fenoles y taninos condensados (Akinduti et al., 2022; Bulugahapitiya, 2013).

### **7.5.1.2 Taninos**

Se utilizaron los reactivos Gelatina y Sal para confirmar presencia de los compuestos fenólicos llamados taninos. En 1 mL de extracto etanólico se agregaron 5 gotas de los reactivos Gelatina y Sal, una reacción de precipitación blanca indicó su presencia en el extracto.

### **7.5.1.3 Flavonoides**

Se disolvió 1 mg de extracto de la planta en 1 mL de etanol precalentado a 50 °C. A esta solución, se introdujeron virutas de magnesio y se añadieron 5 gotas de ácido clorhídrico (HCl) concentrado. La aparición de un cambio de color hacia tonalidades naranjas indicó la presencia de flavonoides. Este fenómeno se corresponde con la bien conocida reacción de Shinoda (Contreras-Angulo et al., 2022).

### **7.5.1.4 Saponinas**

Para realizar la prueba de saponinas, se tomó 1 mL de extracto vegetal y se añadió 2 mL de agua destilada caliente, se agitó vigorosamente y se dejó reposar.

La evaluación de la presencia de saponinas se basó en la persistencia de espuma. Si la espuma generada por la mezcla persistió durante más de 15 minutos, se tomó como un indicativo de la presencia de saponinas en el extracto vegetal analizado (Jaramillo-Hernandez, 2016).

## **7.5.1.5 Terpenos**

### **7.5.1.5.1 Prueba de Liebermann-Burchard**

Para detectar triterpenos y compuestos esteroidales, se utilizó la prueba de Liebermann-Burchard. En esta técnica, 1.5 mg de muestra se disolvió en cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), y luego se agregaron unas gotas de reactivo. La observación de cambios en la coloración indicó la presencia de triterpenos. El reactivo se preparó mezclando una gota de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con una mezcla de 1 mL de anhídrido acético ( $\text{CH}_3\text{CO}$ )<sub>2</sub>O y 1 mL de cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ) (Huacuja-González, 1995; Akinduti et al., 2022).

### **7.5.1.5.2 Prueba de Salkowski**

En este caso, se colocó 1 mg de muestra en 1 mL de cloroformo, que luego se mezcló con 1 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado al 98%. Los cambios en densidad y de color a tonos amarillos o rojizos indicó la presencia de estos compuestos (Huacuja-González, 1995).

## **7.5.1.6 Alcaloides**

En el presente estudio, se llevaron a cabo tres pruebas distintas para determinar la presencia o ausencia de alcaloides:

### **7.5.1.6.1 Prueba de Dragendorff**

Se disolvió 1 mg de extracto seco en 6 gotas de HCl al 2%. La solución se dividió en 3 alícuotas: a la primera, que se utilizó como referencia, se le añadieron 2 mL de agua destilada. Al segundo y tercer tubo de ensayo se agregaron 2 gotas del reactivo de Dragendorff, una mezcla de nitrato dibásico de bismuto ( $\text{NO}_3\text{Bi}(\text{OH})_2$ ) y yoduro de potasio (KI). La formación de un precipitado indicó la presencia de alcaloides (Kasolo et al., 2010).

El reactivo de Dragendorff se preparó mezclando una solución de 0.85 g de subnitrato de bismuto ( $4\text{BiNO}_3(\text{OH})_2 \cdot \text{BiO}(\text{OH})$ ) en 10 mL de ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ) y 40 mL de

agua destilada, con una solución de 8 g de yoduro de potasio (KI) en 20 mL de agua destilada. Esta mezcla se diluyó antes de su uso con 2.3 volúmenes de una mezcla de 20 mL de ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ) y 100 mL de agua destilada (Kasolo, 2010; Farnsworth, 1966; Raffauf, 1962).

#### **7.5.1.6.2 Prueba de Mayer**

El reactivo de Mayer se preparó mezclando 5.0 g de yoduro de potasio (KI) con 0.355 g de cloruro de mercurio ( $\text{HgCl}_2$ ), los cuales se disolvieron en 100 mL de agua destilada (Bulugahapitiya, 2013).

Se agregó 1 mL del extracto y se añadieron unas gotas del reactivo de Mayer. La aparición de turbidez o precipitado de color blanco-beige indicó la presencia de alcaloides.

#### **7.5.1.6.3 Prueba de Wagner**

El reactivo de Wagner, una solución acuosa compuesta por yoduro de potasio (KI) y yodo ( $\text{I}_2$ ), se preparó disolviendo 2.0 g de KI en 5 mL de agua destilada, a la que se añadió 1.27 g de  $\text{I}_2$ . Luego, esta solución se diluyó hasta 100 mL con agua destilada en un matraz aforado de 100 mL. La formación de un precipitado marrón o rojizo al aplicar el reactivo de Wagner indicó la presencia de alcaloides (Zhang et al., 2021; Bulugahapitiya, 2013).

#### **7.5.2. Cromatografía en capa fina del extracto etanólico de *E. praealtum***

Se realizó la cromatografía en capa fina, usando como fase estacionaria sílica gel 60 GF254 y como fase móvil el solvente cloroformo-acetato de etilo para confirmar la presencia de los metabolitos secundarios alcaloides y flavonoides. Se aplicó la siembra de los extractos etanólicos, previamente reconstituido en etanol usando capilares nuevos. Los reveladores que se utilizaron son: Dragendorff para alcaloides y Polietilenglicol 4000 (5% en metanol) para

flavonoides; las placas cromatográficas se observaron a luz UV de 365 y 254 nm antes y después del revelado (Rengifo-Zevallos, 2018).

## **7.6. Actividad Antioxidante**

### **7.6.1. Método DPPH**

Este método colorimétrico fue propuesto originalmente por Brand–Williams et al. (1995). El DPPH es uno de los pocos radicales orgánicos estables, el cual presenta una fuerte coloración morada. Este método se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para inactivar el radical, se ha propuesto que la inactivación del radical DPPH transcurre principalmente mediante un mecanismo de transporte de electrones con un aporte marginal de transporte de átomos de hidrógeno (Huang, 2012).

Se evaluaron las concentraciones de 31.25, 62.5, 125, 250 y 500 µg/mL del extracto de partes aéreas, para Trolox se evaluaron las concentraciones de 6.25, 12.5, 25, 50 y 75 µg/mL, el ensayo se realizó por triplicado. La concentración del radical fue de 150 mM.

Se calculó el % de inhibición:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{(\text{abs. del blanco}) - (\text{abs. de la muestra})}{(\text{abs. del blanco})} \times 100$$

Los resultados se expresaron como equivalentes de Trolox y EC<sub>50</sub>, es decir, la concentración de antioxidante necesaria para inactivar un 50% del DPPH.

## **7.7 Actividad antibacteriana**

### **7.7.1 Cultivo de cepas**

Se reactivaron un total de 28 cepas de *S. aureus* y *E. coli* (14 cepas de cada una) pertenecientes al cepario del Laboratorio de Microbiología y Biología Aplicada de la Facultad de Biología de la UAS, así como la ATCC 25923 y ATCC 25922 (*S. aureus* y *E. coli* respectivamente), en placas de agar soya tripticaseína (TSA) e incubaron a 37 °C durante 24 h.

### 7.7.2 Determinación de sensibilidad a antibióticos

A las cepas aisladas de *S. aureus* y *E. coli* se les evaluó su resistencia a fármacos antibacterianos mediante el método de difusión por disco, de acuerdo con los criterios del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2020).

Cada muestra fue cultivada en placas de agar nutritivo durante 24 h a 37 °C. Posteriormente, 5 colonias aisladas fueron tomadas del cultivo en agar y colocadas en tubos de 7 mL de caldo Soya-Trypticaseina (MCD LAB S.A DE C.V., México) incubándose 2 h a 35-37 °C. Un mL de cultivo fue centrifugado a  $16,000 \times g$  durante 30s, se decantó el sobrenadante y se añadió un mL de solución salina estéril, se resuspendió el pellet mediante vortex y 100  $\mu$ L de suspensión, fueron diluidos en 1,900  $\mu$ L de solución salina (1:20). Posteriormente, se realizó la cuantificación del inóculo a través del espectrofotómetro VE-5600UV (Velab S.A. de C.V., México), donde, lecturas con valores de 0.08-1.0 de absorbancia ( $\lambda=625$  nm) fueron consideradas equivalentes al 0.5 de la escala de McFarland con una concentración de  $10^8$  UCF/mL (Rahman et al., 2004).

Dicho lo anterior, se inocularon placas de agar Muller-Hinton (Cat. #7134; MCD LAB S.A. DE C.V., México), mediante la técnica de sembrado en césped con hisopos humedecidos con la solución cuantificada. Posteriormente, se usaron multidiscos combinados +/- IDLAB (Cat. #MD-PT-36) con 12 antibióticos: Amikacina (30  $\mu$ g), Ampicilina (30  $\mu$ g), Cefalotina (30  $\mu$ g), Cefotaxima (30  $\mu$ g), Dicloxacilina (1  $\mu$ g), Ceftriaxona (30  $\mu$ g), Cloranfenicol (30  $\mu$ g), Gentamicina (10  $\mu$ g), Netilmicina (30  $\mu$ g), Nitrofurantoína (300  $\mu$ g), Penicilina (10 U), Trimetoprima con sulfametoxazol (1.25/23.75  $\mu$ g). Después fueron incubadas durante 18 h a 37 °C. Los halos de inhibición fueron medidos e interpretados de acuerdo con el manual de la CLSI

M100 (CLSI, 2020 y 2012). Por último, como control de calidad se utilizaron las cepas *S. aureus* subsp. *aureus* (ATCC® 25923™) y *E. coli* (ATCC® 25922™).

#### **7.7.2.1 Ensayo antibacteriano por difusión en agar por sensidiscos**

Para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI) del extracto etanólico de la planta, se prepararon placas de agar Müller-Hinton, las cuales se utilizaron para medir cuatro concentraciones del extracto (1,600, 800, 400, 200 µg/mL).

Para determinar la sensibilidad a través de ensayos de dilución en agar por pozos, las bacterias aisladas se cultivaron inicialmente en placas de agar soya tripticaseína a 37 °C durante 24 h. Para cada cultivo se tomaron 5 colonias y se cultivaron en tubos con 7 mL de caldo soya tripticaseína a 37 °C durante 2 h.

Posteriormente, se tomó 1 mL del cultivo y centrifugó a  $16,000 \times g$  durante 2 min, el botón bacteriano fue resuspendido con un mL de solución salina estéril aplicando vortex. Se realizó una dilución 1:20 que fue leída a una longitud de onda de 625 nm en un lector de placas de microtitulación EL × 800™ (BioTek Instruments, Inc.; EUA). La diferencia de los valores de absorbancia 0.08-0.1 contra el control blanco se consideraron equivalentes al 0.5 de la escala de McFarland para una concentración de  $10^8$  UCF/mL (Rahman et al., 2004). Se tomó un hisopo estéril para proceder al sembrado en césped para cada cepa bacteriana, posterior a esto se dividió la placa en cuatro secciones y se colocaron los discos impregnados con 5 µL de cada concentración, agregando el control de tween en el centro de cada placa.

Transcurridas 18 h se procedió a leer los resultados obtenidos (Balouri et al., 2016).

#### **7.7.2.2 Ensayo antibacteriano por difusión en agar**

El extracto fue solubilizado en agua destilada y tween al 5%, dicha solución fue añadida al agar posterior a su esterilización en autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Se añadió Agar Noble

(Difco/Beckton-Dickinson; Cat. #214230) a una concentración del 0.75% para incrementar la solidez y difusión del extracto en el medio. Las placas fueron vertidas a 55 °C y se dejaron solidificar a temperatura ambiente. Se realizó una placa con Tetraciclina a una concentración de 100 µg/mL que se utilizó como control de inhibición. Una placa de 15 mL de Agar Mueller-Hinton fue utilizada como control de crecimiento.

Para determinar la sensibilidad a través de ensayos de dilución en agar, las bacterias aisladas se cultivaron inicialmente en placas de agar soya tripticaseína a 37 °C durante 24 h. Para cada cultivo se tomaron 5 colonias y se cultivaron en tubos con 7 mL de caldo soya tripticaseína a 37 °C durante 2 h.

Posteriormente, se tomó 1 mL del cultivo y centrifugó a  $16,000 \times g$  durante 2 min, el botón bacteriano fue resuspendido con un mL de solución salina estéril aplicando vortex. Se realizó una dilución 1:20 que fue leída a una longitud de onda de 625 nm en un lector de placas de microtitulación EL × 800™ (BioTek Instruments, Inc.; EUA). La diferencia de los valores 0.08-0.1 A contra el control blanco se consideraron equivalentes al 0.5 de la escala de McFarland para una concentración de  $10^8$  UCF/mL (Rahman et al., 2004).

Las placas fueron inhibidas en 15 secciones, cada sección correspondió a una cepa bacteriana identificada por un código numérico. Se colocó 1 µL del cuantificado de cada cepa en su sección correspondiente ( $\approx 100,000$  UFCs). Finalizado el llenado de las placas se dejaron en reposo hasta la difusión superficial completa de las gotas en el agar. Finalmente fueron cultivadas a 37 °C durante 18 h. Se comparó las placas con las concentraciones de extracto contra los controles de crecimiento de inhibición. Se definió la concentración mínima inhibitoria como la concentración mínima en la que no se observó crecimiento tras el proceso de incubación similar al control de inhibición con tetraciclina.

## 7.8 Toxicidad del extracto etanólico

### 7.8.1 Toxicidad en *Artemia salina*

Este ensayo se utilizó inicialmente para la preevaluación de extractos vegetales con compuestos antitumorales y se determinó una correlación positiva entre la mortalidad de las larvas de *Artemia* y la citotoxicidad frente a las células.

*A. salina* son crustáceos diminutos de cuerpo blando, comúnmente comercializados como quistes en tiendas de mascotas como alimento para peces, por lo tanto, ofrece ventajas tales como: disponibilidad, bajo costo, facilidad de almacenamiento, los ensayos pueden realizarse prácticamente en cualquier momento y los requerimientos para este ensayo son mínimos.

La toxicidad de los extractos etanólicos de *E. praealtum* se determinó por medio del bioensayo de letalidad sobre nauplios de *A. salina*, éste es aplicable a compuestos con estructuras y modos de actividad diversos, lo que le otorga la característica de ser de amplio espectro, ya que el ensayo se realizó con un organismo biológico fácil de cultivar y manipular en laboratorio. El nauplio es sensible a una gran variedad de tóxicos y genera resultados confiables en cuanto alternativa poco costosa, sencilla y rápida, de ahí que sea usado como método de análisis para detectar residuos de pesticidas, micotoxinas, anestésicos y compuestos de tipo morfinico, entre otros. Por lo cual puede ser usada de manera rutinaria en la investigación fitoquímica y permite crear una base de compuestos no tóxicos y tóxicos para posteriores estudios.

Se determinó el porcentaje de mortalidad (% M):

$$\% M = (LMP/LTP) * 100$$

LMP = Larvas muertas por pozo

LTP = Larvas totales por pozo

El grado de toxicidad del extracto se definió en función del rango en que se encontraron los valores de concentración letal media (CL<sub>50</sub>) tomando como referencia las recomendaciones del CYTED (Pinzón y Sánchez, 1995).

Clasificación toxicidad según CYTED:

Extremadamente tóxico (1-10 µg/mL)

Altamente tóxico (10-100 µg/mL)

Moderadamente tóxico (100-500 µg/mL)

Ligeramente tóxico (500-1,000 µg/mL).

Prácticamente no tóxico (1,000-1,500 µg/mL)

Relativamente inocuo (>1,500 µg/mL)

## **7.9 Análisis estadístico**

La actividad antioxidante se determinó por un análisis de regresión lineal con un intervalo de confianza del 95%.

Los resultados obtenidos por la actividad antibacteriana se expresaron en gráficas, media y desviación estándar (media ± SD).

La evaluación de toxicidad se determinó mediante la DL<sub>50</sub> de los extractos etanólicos de las plantas, y se analizaron por medio del paquete estadístico SPSS a través de un análisis de regresión tipo Probit.

## **7.10 Lugar de realización**

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Biotecnología y el Laboratorio de Microbiología y Biología Aplicada, de la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa

### **7.11 Financiamiento**

El proyecto fue financiado por los directores de esta tesis, la Dra. Luz Isela Peinado Guevara y Dr. Samuel Campista León, ambos pertenecientes al Cuerpo Académico Ecología Molecular y Biotecnología (UAS-CA-298). El alumno recibió una beca CONAHCYT con el número de identificación 1233111.

## VIII. RESULTADOS

### 8.1 Identificación taxonómica

Se realizó una donación del espécimen colectado al herbario de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, obteniendo el número de registro **026079**, con esto corroborando la identificación de la especie *E. praealtum*. El montaje del ejemplar se ilustra en la **Figura 4**.



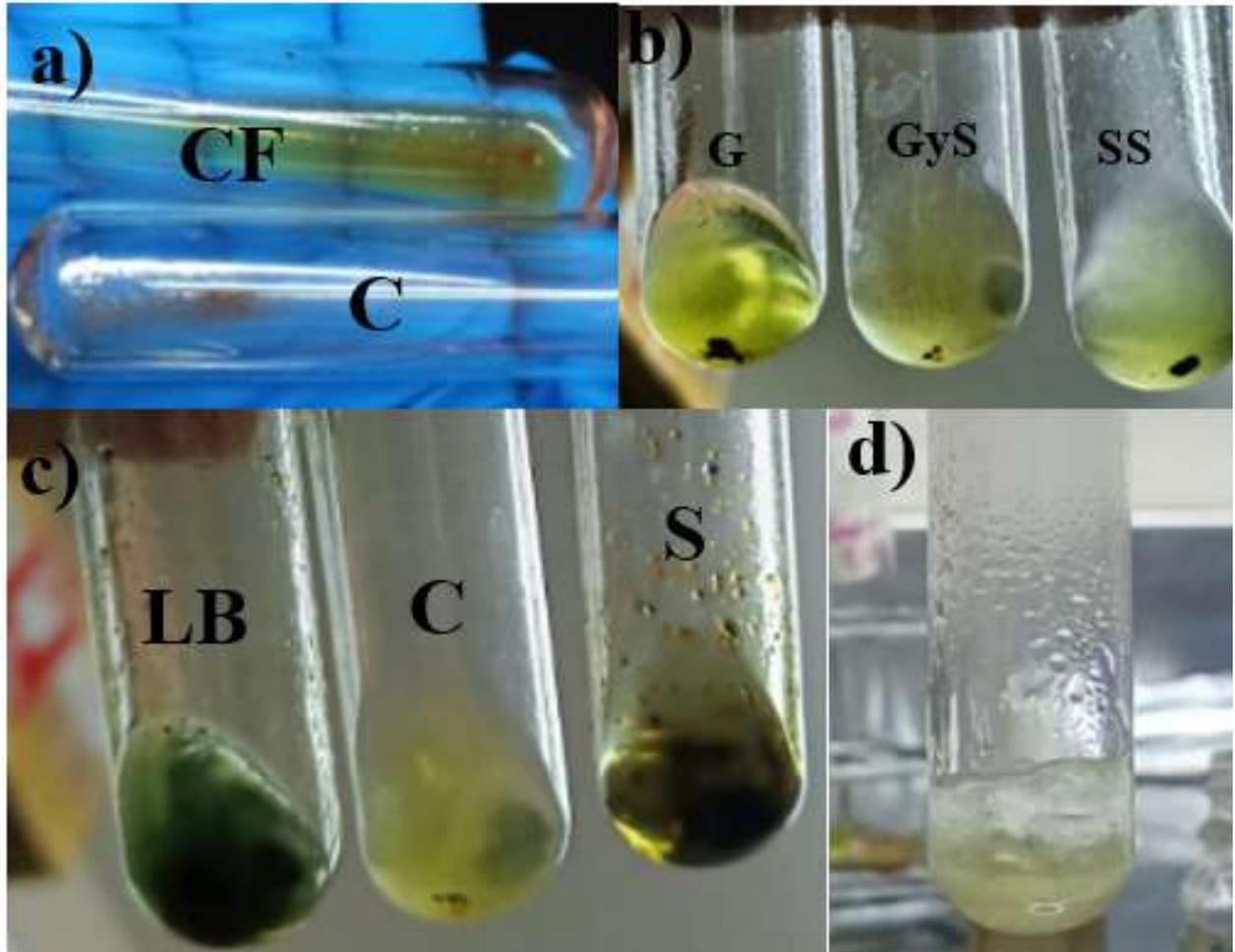
**Figura 4.** Montaje del espécimen de *E. praealtum*

## **8.2 Rendimiento de extracto etanólico de *E. praealtum***

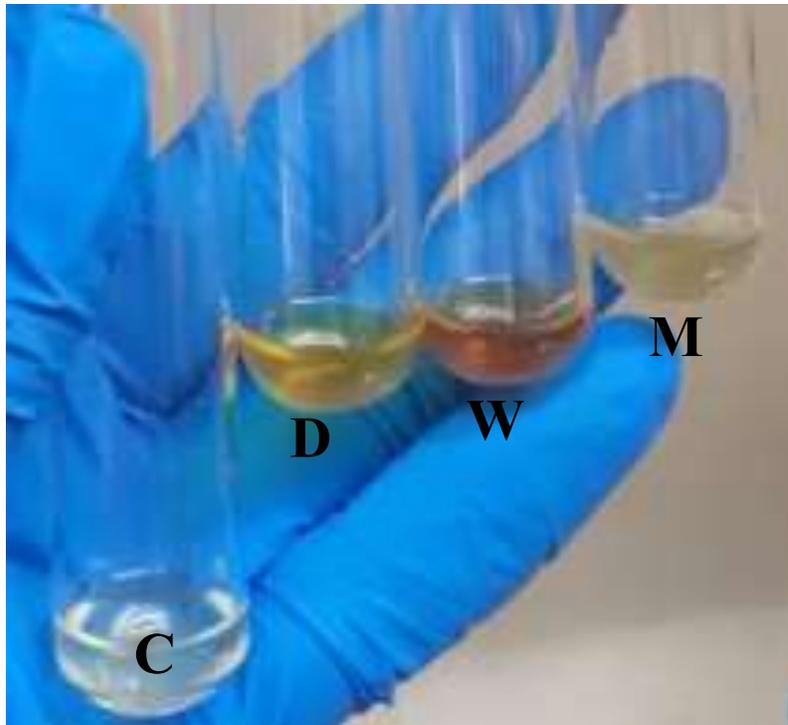
El rendimiento se define como la cantidad de extracto obtenida en relación con la cantidad inicial de material vegetal. El rendimiento de extracto etanólico de partes aéreas de la especie fue del 25.19%, obtenido con un peso de 100 g de harina inicial.

## **8.3 Perfil fitoquímico de *E. praealtum***

El estudio fitoquímico realizado en el extracto etanólico de las partes aéreas de *E. praealtum* reveló la presencia de varios metabolitos secundarios. En el extracto mencionado anteriormente se identificaron los compuestos fenólicos como presentes, al igual que los taninos y flavonoides, mientras que se presentó una presencia moderada de terpenos (**Figura 5**). Por el contrario, las saponinas y los alcaloides (**Figura 6**) no tuvieron presencia alguna en el extracto etanólico de partes aéreas de *E. praealtum*. En la **Figura 7** se muestran todas las reacciones en tubo realizadas en el análisis fitoquímico de *E. praealtum*. Los resultados obtenidos se muestran en el **Cuadro 1**.



**Figura 5.** Reacciones en tubo de compuestos fenólicos, taninos y flavonoides; a) Presencia de compuestos fenólicos; cambio de coloración a verde en prueba de cloruro férrico; b) Presencia de taninos; precipitado blanco en al menos dos reacciones incluida la solución salina; c) Presencia de terpenos y/o esteroides; coloración verde jade en al menos una reacción; d) Presencia de flavonoides; generación de burbujas y calor una vez agregadas las virutas de magnesio al ácido clorhídrico concentrado. **C:** Control; **CF:** Cloruro férrico; **G:** Gelatina; **GyS:** Gelatina y sal; **SS:** Solución salina; **LB:** Liberman-Buchner; **S:** Salkowski.



**Figura 6.** Reacciones en tubo de alcaloides y control; Ausencia de alcaloides en las reacciones de Draggendorf, Wagner y Mayer; no se observa un cambio de color característico. **C:** Control; **D:** Draggendorf; **W:** Wagner; **M:** Mayer.



**Figura 7.** Reacciones de tubos obtenidos en el análisis fitoquímico del extracto etanólico de *E. praealtum*.

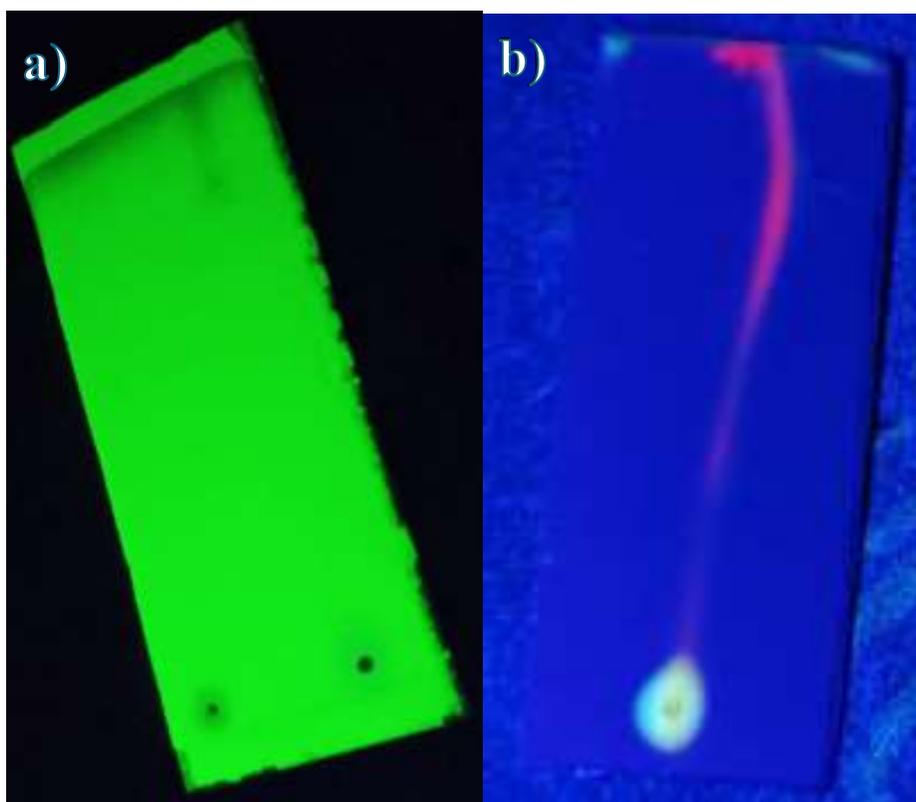
**Cuadro 1.** Tamizaje fitoquímico del extracto etanólico de la parte aérea de *E. praealtum*.

Familia de compuesto	Reacción	Respuesta
Alcaloides	Dragendorff, Mayer, Wagner	-
Compuestos fenólicos	Cloruro férrico	+
Taninos	Gelatina y sal	+
Flavonoides	Shinoda	+
Terpenos	Libermann Burchard, Salkowski	++
Saponinas	Generación de espuma	-

Simbología: (+) presencia baja, (++) moderada, (+++) abundante, (-) ausente.

#### 8.4 Análisis cromatográfico de metabolitos secundarios en *E. praealtum*

Se llevó a cabo una cromatografía en capa fina (TLC) para confirmar la presencia de alcaloides y flavonoides en extracto etanólico de partes aéreas de *E. praealtum* (**Figura 8**). Los resultados indican una ausencia de alcaloides mientras que los flavonoides obtuvieron una presencia moderada. Estos resultados se muestran en el **Cuadro 2**.



**Figura 8.** Cromatografía en capa fina de extracto etanólico de partes aéreas de *E. praealtum* confirmando la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides; **a)** luz UV a 254 nm; **b)** luz UV a 365nm.

**Cuadro 2.** Cromatografía en capa fina (TLC) de la planta *E. praealtum*

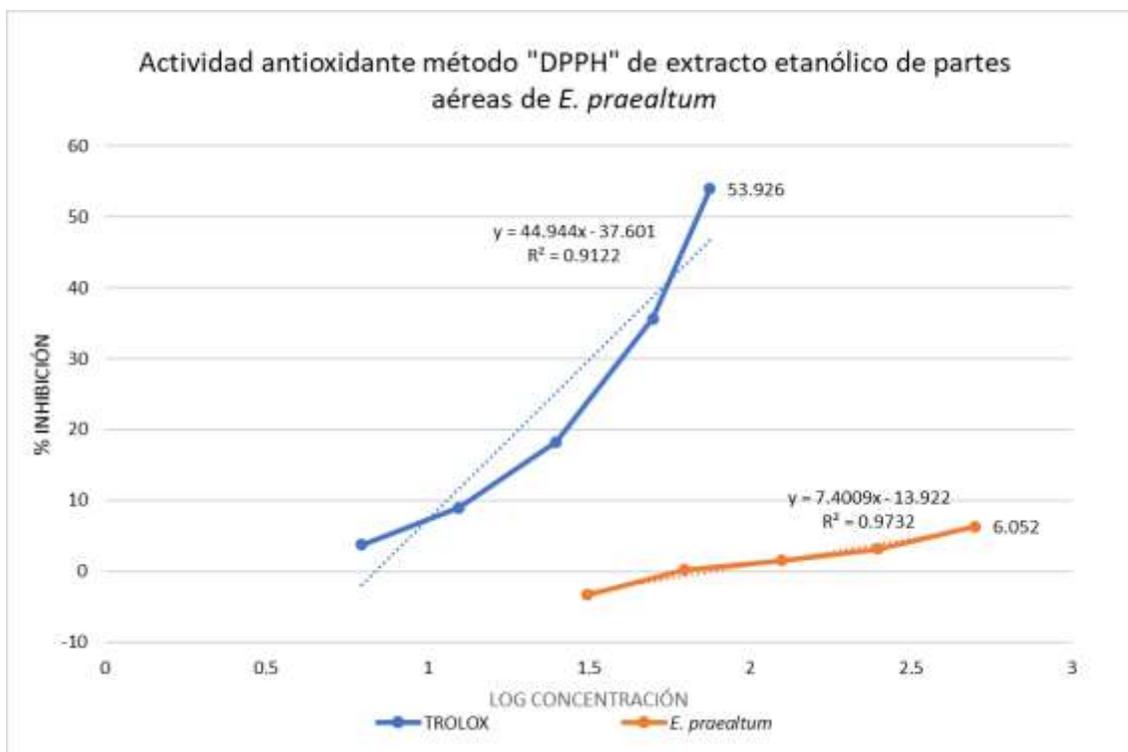
<b>COMATOGRAFÍA EN CAPA FINA DE <i>Equisetum praealtum</i></b>		
<b>Metabolitos secundarios</b>	<b>Revelador</b>	<b>Presencia o ausencia</b>
<b>Flavonoides</b>	<b>Flavonoides</b>	++
<b>Alcaloides</b>	<b>Dragendorff</b>	-

Simbología: (+) presencia baja, (++) moderada, (+++) abundante, (-) ausente.

### **8.5 Evaluación antioxidante por el método DPPH**

Los resultados de la evaluación antioxidante del extracto etanólico de partes aéreas de *E. praealtum* arrojaron un 6.052% de inhibición con valor de  $p < 0.05$  ( $p = 0.002$ ), por lo tanto, los datos muestran diferencia estadísticamente significativa (**Figura 9**) al ser sometido contra el radical DPPH en una concentración del extracto de 500  $\mu\text{g/mL}$ , demostrando que presenta capacidad antioxidante contra el radical.

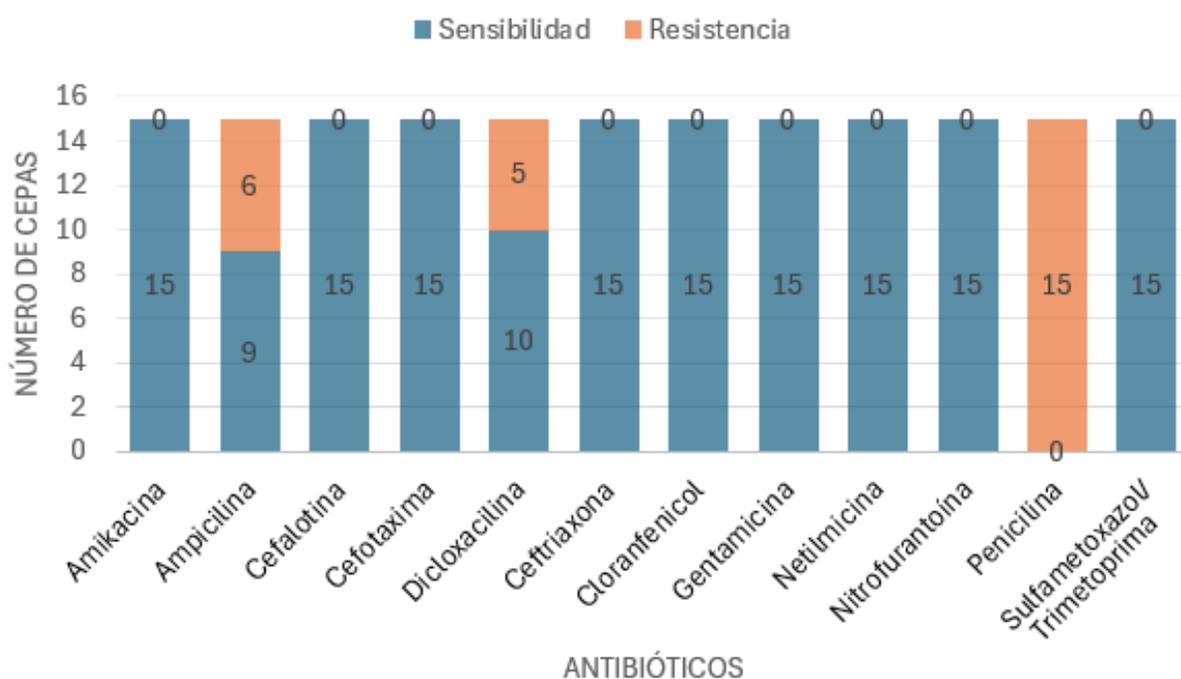
El cálculo de la equivalencia se obtuvo mediante la ecuación de la pendiente  $y = mx + b$  ( $y = 7.4009x - 13.922$ ) con un valor de  $R^2 = 0.973$ , obteniendo como resultado la **EC<sub>50</sub> de 187.06** mg ET (equivalentes de Trolox) por g de extracto de la especie, con una desviación estándar ( $SD \pm$ ) de 0.067.



**Figura 9.** Actividad antioxidante del extracto etanólico de partes aéreas de *E. praealtum*.

## 8.6 Evaluación de la sensibilidad y resistencia de cepas *Escherichia* spp. a diversos antibióticos

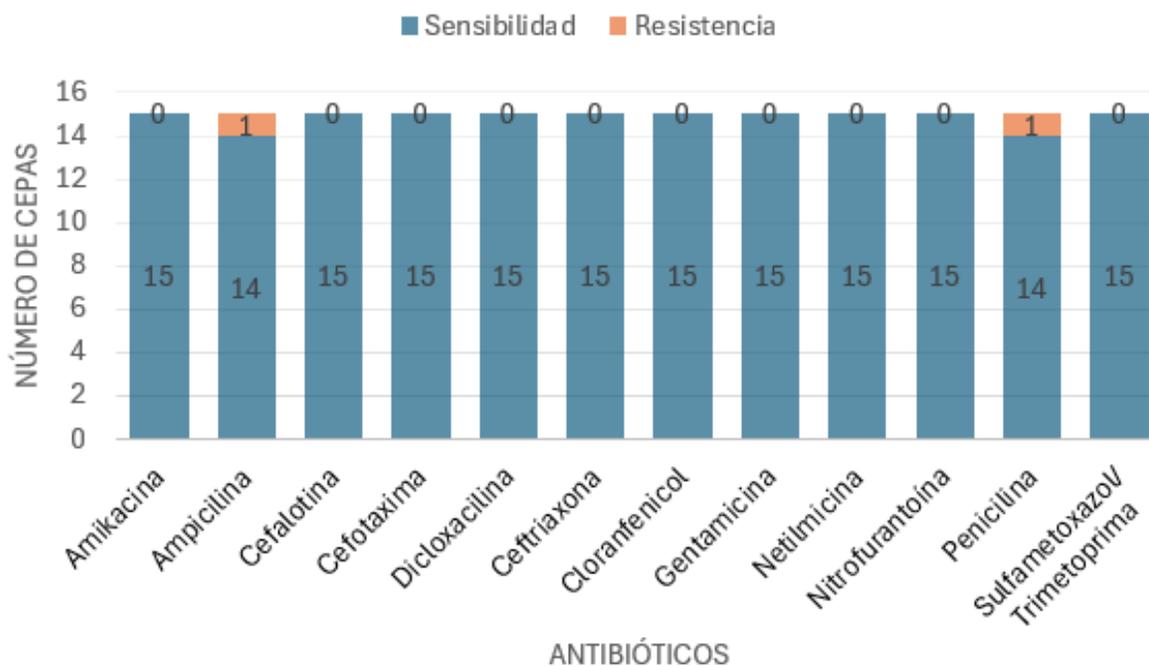
En el presente estudio, se evaluó la sensibilidad de 15 cepas de *Escherichia* spp. (incluyendo una cepa tipo ATCC) a una serie de antibióticos comúnmente utilizados en la práctica clínica. Los resultados indicaron una completa sensibilidad (100%) a los antibióticos Amikacina, Cefalotina, Cefotaxima, Ceftriaxona, Cloranfenicol, Gentamicina, Netilmicina, Nitrofurantoína y Sulfametoxazol/Trimetoprima. Esto sugiere una efectividad sustancial de estos agentes contra las cepas probadas. En contraste, se observó una resistencia significativa a la Penicilina, con todas las cepas (100%) mostrando resistencia. La Ampicilina y la Dicloxacilina mostraron una resistencia del 40% y 33.3% respectivamente, indicando una resistencia moderada lo cual se observa en la **Figura 10**.



**Figura 10.** Sensibilidad y resistencia de cepas de *E. coli* a diferentes antibióticos.

### 8.7 Sensibilidad y resistencia de cepas *Staphylococcus* spp. a diversos antibióticos

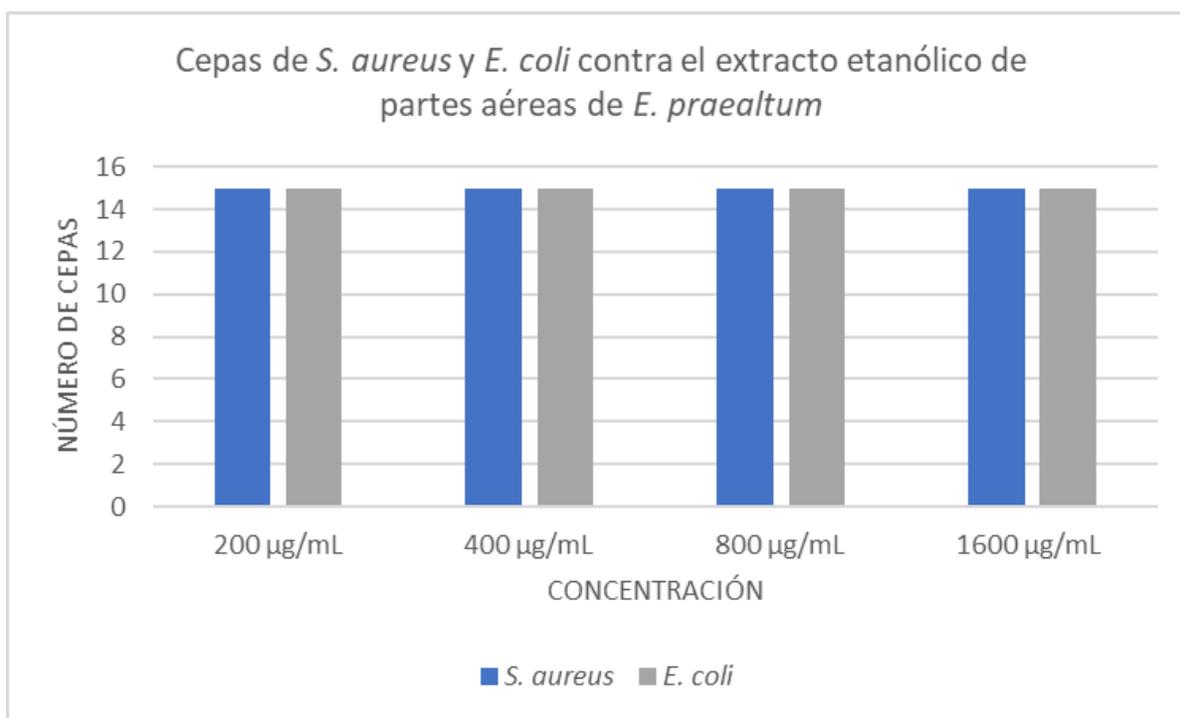
En este estudio, se evaluó la sensibilidad de 15 cepas de *Staphylococcus* spp. (incluyendo la cepa tipo ATCC) a una serie de antibióticos. Los resultados revelaron una alta sensibilidad a la mayoría de los antibióticos probados. Los antibióticos Amikacina, Cefalotina, Cefotaxima, Dicloxacilina, Ceftriaxona, Cloranfenicol, Gentamicina, Netilmicina, Nitrofurantoína y Sulfametoxazol/Trimetoprima mostraron una sensibilidad del 100% (15/15 cepas sensibles). Solo la Ampicilina y la Penicilina presentaron una cepa resistente cada uno, lo que corresponde a una sensibilidad del 93.3% (14/15 cepas sensibles) lo cual puede ser observado en la **Figura 11**.



**Figura 11.** Distribución de la sensibilidad y resistencia a diferentes antibióticos en cepas de *Staphylococcus aureus*.

### 8.8 Actividad antibacteriana de los extractos etanólicos de *E. praealtum* por difusión en agar por sensidiscos

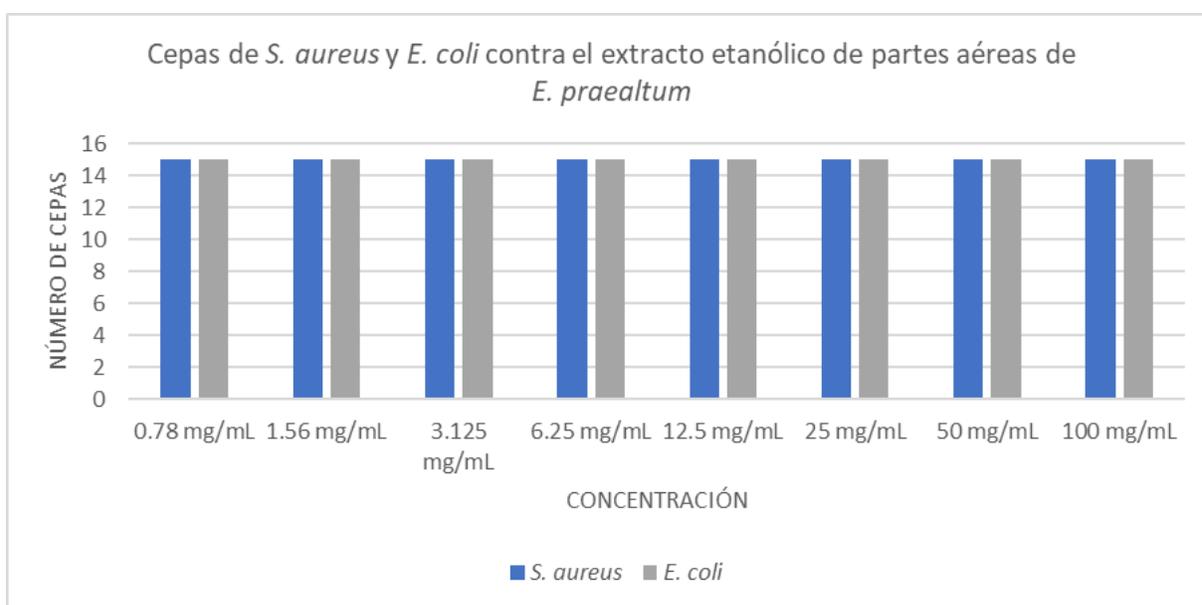
Los resultados obtenidos muestran que las concentraciones de 1,600, 800, 400 y 200  $\mu\text{g/mL}$  del extracto etanólico de las partes aéreas de *E. praealtum*, contra las cepas de *S. aureus* y *E. coli* no presentan ninguna actividad antibacteriana, por el método de difusión en disco (**Figura 12**).



**Figura 12.** Cepas resistentes de *S. aureus* y *E. coli* contra el extracto etanólico de partes aéreas de *E. praealtum* por el método de difusión en agar por sensidiscos.

### 8.9 Actividad antibacteriana por difusión en agar

Los resultados mostraron una proliferación excesiva en las diferentes concentraciones del extracto, las cuales fueron 0.78, 1.56, 3.125, 6.25, 12.5, 25, 50 y 100 mg/mL, tanto en las cepas de *S. aureus* y *E. coli*, no solo en donde se vertió la gota de cada cepa sino también en toda la caja de Petri. Por lo tanto, no se mostró una inhibición de bacterias en ninguna concentración evaluada (**Figura 13**).

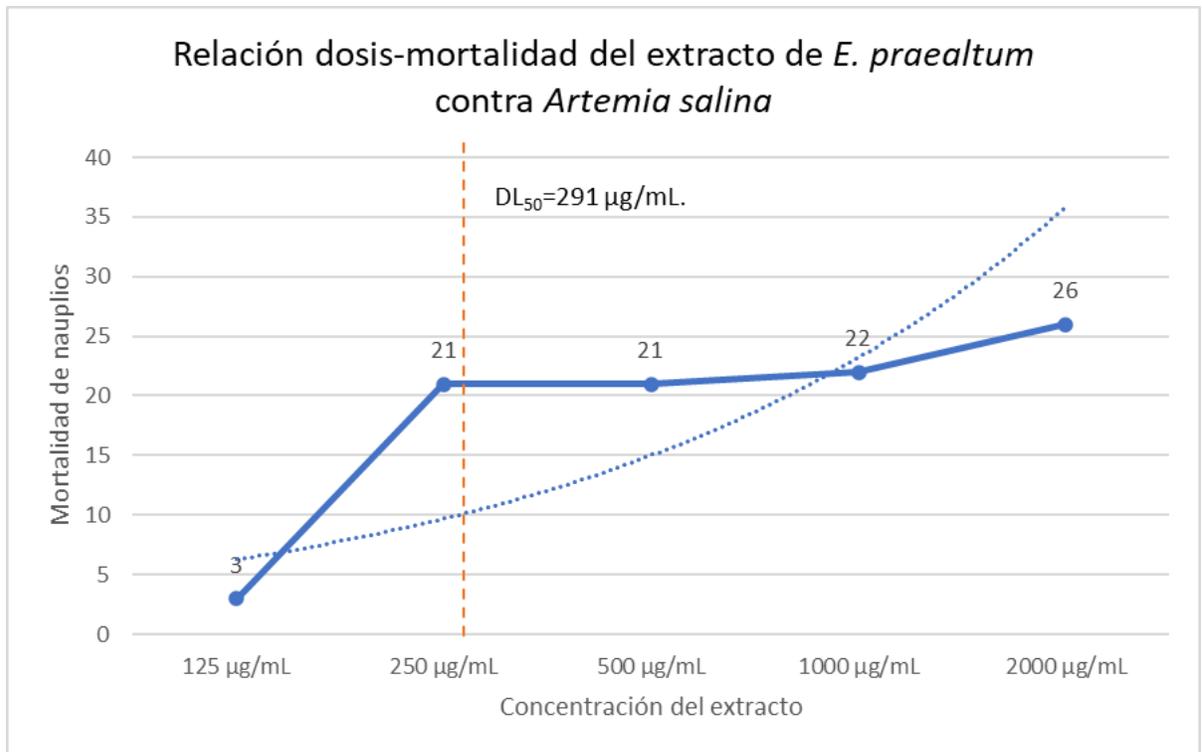


**Figura 13.** Cepas resistentes de *S. aureus* y *E. coli* contra el extracto etanólico de partes aéreas de *E. praealtum* por el método de difusión en agar.

### 8.10 Análisis de mortalidad de *Artemia salina* expuesta al extracto etanólico de *E. praealtum*

El análisis estadístico de los datos revela una clara correlación entre la concentración del extracto etanólico de partes aéreas de *E. praealtum* y la mortalidad en *A. salina*. Se empleó un modelo de regresión lineal tipo Probit para evaluar la relación dosis-mortalidad, y los resultados indican que la probabilidad de mortalidad aumenta significativamente con la concentración del extracto (**Figura 14**).

El modelo proporciona una aproximación de la DL<sub>50</sub>, la concentración a la cual se espera la muerte del 50% de la población de *A. salina*. Los cálculos estiman que la DL<sub>50</sub> es aproximadamente **291 µg/mL**. Es importante notar que este valor sugiere de acuerdo con la CYTED una “**toxicidad moderada**” del extracto, siendo necesario alcanzar esta concentración para observar una mortalidad significativa.



**Figura 14.** Relación dosis-mortalidad del extracto de *E. praealtum* (partes aéreas) en *Artemia salina*.

## IX. DISCUSIÓN

El estudio del extracto etanólico de las partes aéreas de *E. praealtum* ha proporcionado resultados valiosos respecto al rendimiento y la composición fitoquímica de la planta, demostrando variaciones significativas relacionadas tanto con la parte de la planta utilizada como con la metodología de extracción aplicada. El rendimiento observado de 25.19% es superior al reportado por De Queiroz et al. (2015), quienes obtuvieron un rendimiento de 15.16% utilizando extracto etanólico al 70% y solo un 9.23% con extracto metanólico. Esta diferencia puede atribuirse a variaciones en las condiciones de extracción o a diferencias intrínsecas en la composición de la biomasa utilizada.

El perfil fitoquímico revelado en este trabajo de investigación destaca la rica diversidad de metabolitos secundarios presentes en *E. praealtum*. La presencia notable de compuestos fenólicos y flavonoides es consistente con lo observado por De Queiroz et al. (2015). Estos grupos de metabolitos son bien conocidos por sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, lo que podría explicar el potencial terapéutico de la planta, aunque las concentraciones específicas de cada compuesto siguen siendo un factor crucial.

Los compuestos fenólicos detectados en *E. praealtum* podrían conferir una significativa actividad antioxidante contra el estrés oxidativo. En estudios similares, la misma especie *E. Praealtum* syn. *E. hyemale* han demostrado contener ácido clorogénico y ácido rosmarínico, ambos pertenecientes a la misma familia de metabolitos secundarios (Dos Santos et al., 2016). Adicionalmente, investigaciones recientes en *E. giganteum* han identificado derivados del ácido cafeico y del ácido ferúlico (Woloszyn et al., 2022).

La presencia de flavonoides, incluyendo pinocembrina y jaceosidina en *E. giganteum*, que también se encontraron en *E. praealtum*, subraya la consistencia dentro del género en cuanto a

la acumulación de estos antioxidantes poderosos. Ivanišová et al. (2023) destacaron la capacidad de los flavonoides para mitigar el riesgo de enfermedades coronarias, además de sus propiedades hepatoprotectoras, antiinflamatorias, anticancerígenas y, en algunos casos, antivirales.

Además, el hallazgo de terpenos y/o esteroides en este estudio está en línea con Aguayo et al. (2023), quienes identificaron compuestos similares en *E. praealtum* syn *E. hyemale* mediante cromatografía. Este patrón se repite en *E. arvense*, donde Gu et al. (2022) reportaron una diversidad de terpenos, incluyendo monoterpenos y un hidrocarburo sesquiterpénico.

La ausencia de alcaloides en este estudio proporciona un contraste interesante con la literatura previa. Por ejemplo, Müller et al. (2020) identificaron alcaloides significativos en *E. palustre*, y Tipke et al. (2019) encontraron nicotina en bajas concentraciones en varias especies del género.

La falta de saponinas, por otro lado, puede indicar una peculiaridad específica de *E. praealtum* o una brecha en el conocimiento actual que merece más investigación.

Las familias de los metabolitos secundarios presentes en la especie le confieren cierta actividad antioxidante al extracto, con un 6.052% de inhibición para el radical DPPH, este porcentaje es menor a lo reportado por De Queiroz et al. (2015), donde se muestra un porcentaje de inhibición del 30% para la misma especie; sin embargo, en ese estudio solo se realizó el cálculo para conocer el porcentaje de inhibición, sin realizar un análisis de regresión lineal, de este modo, también el radical DPPH se reporta menos concentrado al de este estudio, el cual fue de 150 mM. Por el contrario, una investigación realizada por Giordani et al. (2022) para la misma especie de estudio no se encontró actividad antioxidante contra el radical DPPH, esto puede deberse a la metodología que estos autores emplearon, de acuerdo con lo plasmado en el documento, el radical se encontraba en una concentración muy diluida, esto pudiera ser una de las razones del porqué los resultados difieren.

De acuerdo con otros autores, existe una capacidad antioxidante contra el radical DPPH para otras especies del género, como es el caso de *E. arvense*, en donde Dormousoglou et al. (2022) reportan  $2,217 \pm 272 \mu\text{mol ET g}^{-1}$ , teniendo una similitud con lo encontrado en este trabajo.

El presente estudio no encontró actividad antibacteriana en el extracto etanólico de *E. praealtum* utilizando métodos de difusión en disco y en agar, un resultado que contrasta con investigaciones previas. Por ejemplo, en un estudio realizado en Brasil con *E. praealtum* syn *E. hyemale*, se identificó una concentración mínima inhibitoria (CMI) entre 62 y 125  $\mu\text{g/mL}$  contra *S. aureus* ATCC 25923 empleando microdilución en caldo (De Queiroz et al., 2015). En dicho estudio también se exploró la eficacia contra hongos dermatofitos y utilizó tanto extracto etanólico al 70% como metanólico, obteniendo diversas fracciones con distintos grados de actividad.

Del mismo modo, Dos Santos et al. (2016) reportaron que las fracciones derivadas de un extracto etanólico al 70% mostraron CMI más bajas que el extracto completo, con rangos de 0.625 a 2.5  $\text{mg/mL}$ , destacando una actividad notable contra *E. coli* ATCC 25922. Estos resultados sugieren que las fracciones más específicas pueden contener concentraciones más efectivas de compuestos activos en comparación con el extracto crudo total.

En contraste, Pallag et al. (2018) en Rumania, investigaron *E. arvense* L., encontrando CMI de 25  $\text{mg/mL}$  para *S. aureus*, una especie también evaluada en este estudio.

Respecto a la toxicidad, en este estudio se encontró que *E. praealtum* es moderadamente tóxico según la CYTED, con una  $\text{DL}_{50}$  de 291  $\mu\text{g/mL}$ . Esto difiere de lo reportado por Arcanjo et al. (2012), quienes no detectaron toxicidad significativa en extractos de *Equisetum* sp.. Por otra parte, un estudio sobre *E. debile* Roxb. mostró que el extracto etanólico y sus fracciones presentan una amplia gama de  $\text{DL}_{50}$ , de 190.55 a  $>1,000 \text{ mg/L}$ , lo que indica una potencial

actividad citotóxica significativa y sugiere la posibilidad de identificar componentes con propiedades antitumorales en concentraciones más altas (Ang et al., 2018).

Estos hallazgos resaltan la complejidad y la variabilidad inherente al estudio de extractos de plantas, donde la especificidad de la especie, las condiciones de extracción y la fracción del extracto pueden influir considerablemente en los resultados de actividad biológica y toxicidad.

Los resultados derivados de este trabajo de tesis contribuyen al cuerpo de conocimiento sobre *E. praealtum*, y sugieren la necesidad de una exploración más profunda de las condiciones y métodos de extracción para optimizar la actividad antibacteriana y terapéutica de sus extractos.

## X. CONCLUSIONES

- El método de extracción etanólico empleado en este estudio ha probado ser altamente eficiente, logrando un rendimiento superior comparado con estudios anteriores, lo que demuestra la viabilidad del enfoque utilizado para *E. praealtum*.
- El extracto reveló una composición rica en compuestos fenólicos y flavonoides, destacando su potencial para aplicaciones antioxidantes. Aunque no se observó actividad antibacteriana, la presencia de estos antioxidantes subraya el posible uso del extracto en la prevención de condiciones relacionadas con el estrés oxidativo.
- La actividad antioxidante del extracto, medida a través de la inhibición del radical DPPH, confirma el potencial terapéutico del extracto para ser explorado en futuras aplicaciones médicas y nutracéuticas.
- Dada la toxicidad moderada del extracto, se recomienda cautela en su aplicación directa, lo que refuerza la necesidad de investigaciones adicionales para determinar la dosis segura y efectiva para el uso terapéutico.
- La ausencia de actividad antibacteriana en comparación con otros estudios indica la necesidad de explorar más a fondo las condiciones de extracción y las técnicas analíticas para optimizar la eficacia y el espectro de actividad biológica de los extractos.
- Este estudio confirma la actividad biológica de la especie investigada, resaltando su relevante potencial terapéutico. Amplía de manera significativa la comprensión de sus propiedades medicinales y subraya la importancia de futuras investigaciones para su aplicación en la medicina moderna.

## XI. PERSPECTIVAS

Este trabajo es un preliminar para evaluación de la actividad biológica de la especie *E. praealtum*, por lo tanto, se sugieren los siguientes trabajos que pudieran complementar la generación de conocimiento científico acerca de esta planta:

1. Caracterización *in vitro* de la actividad antioxidante de fracciones específicas del extracto etanólico de *E. praealtum*.
2. Estudios *in vitro* sobre la modulación de la respuesta inflamatoria por compuestos fenólicos y flavonoides de *E. praealtum*.
3. Optimización de la extracción y purificación de terpenos de *E. praealtum* para evaluación de sus propiedades antibacterianas *in vitro*.
4. Optimización de métodos de extracción para maximizar la actividad antioxidante en extractos de *E. praealtum*.
5. Desarrollo de formulaciones nutracéuticas basadas en extractos de *E. praealtum*: potencial antioxidante y aplicaciones.
6. Investigación de la actividad biológica de fracciones específicas del extracto etanólico de *E. praealtum*.
7. Impacto de las condiciones ambientales en la composición fitoquímica y propiedades terapéuticas de *E. praealtum*.
8. Evaluación de la actividad mutagénica, teratogénica y genotóxica del extracto de *E. praealtum*.
9. Identificación molecular de la especie *E. praealtum*.
10. Aislamiento, identificación y caracterización molecular de bacterias simbióticas asociadas a *E. praealtum*.

11. Evaluación de la actividad antibacteriana contra bacterias del tracto urinario.
12. Evaluación de la actividad citotóxica, antimutagénica, antiteratogénica y antigenotóxica de la especie *E. praealtum*.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, R. K., Issa, R. A., Abu-Samak, M., Mohammad, B. A., Abbas, M. A., & Awwad, S. H. (2024). Nephroprotective effects of *Equisetum ramosissimum* L. extract in streptozotocin-induced diabetic rats. *Pharmacia*, *71*, 1–11. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.71.e113659>
- Abed Savaya, N. S., Issa, R. A., & Talib, W. H. (2020). *In vitro* evaluation of the antioxidant, anti-Propioni bacterium acne and antityrosinase effects of *Equisetum ramosissimum* (Jordanian horsetail). *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, *19*(10), 2147–2152. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v19i10.19>
- Aguayo-Morales, H., Sierra-Rivera, C. A., Claudio-Rizo, J. A., & Cobos-Puc, L. E. (2023). Horsetail (*Equisetum hyemale*) Extract Accelerates Wound Healing in Diabetic Rats by Modulating IL-10 and MCP-1 Release and Collagen Synthesis. *Pharmaceuticals*, *16*(4). <https://doi.org/10.3390/ph16040514>
- Ahmadianfar, S., Mehrabi, N., Mohammadi, S., Sobhanizadeh, A., Moradabadi, A., & Noroozi-Aghideh, A. (2023). Effects of Horsetail, Alfalfa, Ortie, Chêne and Aleppo oak as Potential Hemostatic Agents on Laboratory Coagulation Tests. *Natural Product Sciences*, *29*(1), 42–49. <https://doi.org/10.20307/nps.2023.29.1.42>
- Ahmadianfar, S., Sabiza, S., Sobhanizadeh, A., & Noroozi-Aghideh, A. (2021). Anti-hemorrhagic effect of Horsetail, Ortie, Alfalfa, Chêne, and Aleppo oak in an experimental model of rats—A potential theoretic approach for traumatic bleeding. *Journal of Cellular and Molecular Anesthesia*, *6*(2), 111–118. <https://doi.org/10.22037/jcma.v6i2.34812>

- Ahmed, A. H., Mohammed, I. H., Tawfeeq, A. T., & Abud, Z. T. (2019). Evaluation of antioxidant, cytotoxicity and apoptosis of alkaloid extracts of *Equisetum arvense* plant on cancer cell lines. *Biochemical and Cellular Archives*, 19, 2669–2677. <https://doi.org/10.35124/bca.2019.19.S1.2669>
- Akinduti, P. A., Emoh-Robinson, V., Obamoh-Triumphant, H. F., Obafemi, Y. D., y Banjo, T. T. (2022). Antibacterial activities of plant leaf extracts against multi-antibiotic resistant *Staphylococcus aureus* associated with skin and soft tissue infections. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 22(1), 47. <https://doi.org/10.1186/s12906-022-03527-y>
- Akar, Z., Akay, S., Ejder, N., & Özad Düzgün, A. (2024). Determination of the Cytotoxicity and Antibiofilm Potential Effect of *Equisetum arvense* Silver Nanoparticles. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 196(2), 909–922. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04587-7>
- Başaran, N., Paslı, D., & Başaran, A. A. (2022). Unpredictable adverse effects of herbal products. *Food and Chemical Toxicology*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112762>
- Batir-Marin, D., Boev, M., Cioanca, O., Mircea, C., Burlec, A. F., Beppe, G. J., Spac, A., Corciova, A., Hritcu, L., & Hancianu, M. (2021). Neuroprotective and antioxidant enhancing properties of selective *Equisetum* extracts. *Molecules*, 26(9). <https://doi.org/10.3390/molecules26092565>
- Batir-Marin, D., Mircea, C., Boev, M., Burlec, A. F., Corciova, A., Fifere, A., Iacobescu, A., Cioanca, O., Verestiuc, L., & Hancianu, M. (2021). *In vitro* antioxidant, antitumor and

- photocatalytic activities of silver nanoparticles synthesized using *Equisetum* species: A green approach. *Molecules*, 26(23). <https://doi.org/10.3390/molecules26237325>
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of pharmaceutical analysis*, 6(2), 71-79.
- Belhaj, S., Chaachouay, N., & Zidane, L. (2021). Ethnobotanical and toxicology study of medicinal plants used for the treatment of diabetes in the High Atlas Central of Morocco. *Journal of Pharmacy and Pharmacognosy Research*, 9(5), 619–662.
- Benzie, I. F., & Szeto, Y. T. (1999). Total antioxidant capacity of teas by the ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(2), 633–636. <https://doi.org/10.1021/jf9807768>.
- Benzie, I. F.F., Strain, J.J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- Bhat, A. A., Ahamad, B., Rehman, M. U., & Ahmad, P. (2020). Impact of ethanolic extract of *Equisetum arvense* (EA1) on pancreatic carcinoma AsPC-1 cells. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(5), 1260–1264. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.01.029>
- Boeing, T., Tafarelo Moreno, K. G., Gasparotto Junior, A., Mota da Silva, L., & de Souza, P. (2021). Phytochemistry and Pharmacology of the Genus *Equisetum* (Equisetaceae): A Narrative Review of the Species with Therapeutic Potential for Kidney Diseases. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2021, 6658434. <https://doi.org/10.1155/2021/6658434>
- Bonofiglio, D., Giordano, C., De Amicis, F., Lanzino, M., & Andò, S. (2016). Natural Products as Promising Antitumoral Agents in Breast Cancer: Mechanisms of Action and

- Molecular Targets. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 16(8), 596–604.  
<https://doi.org/10.2174/1389557515666150709110959>
- Boqué, N., Valls, R. M., Pedret, A., Puiggrós, F., Arola, L., & Solà, R. (2021). Relative absorption of silicon from different formulations of dietary supplements: A pilot randomized, double-blind, crossover post-prandial study. *Scientific Reports*, 11(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-95220-2>
- Bravo de Luciano, G.-M., Panecatí-Bernal, Y., Soto-Cruz, B.-S., Méndez-Rojas, M. Á., López-Salazar, P., Alcántara-Iniesta, S., Portillo, M. C., Romero-López, A., Mejía-Silva, J.-I., Alvarado, J., & Domínguez-Jiménez, M. Á. (2022). Controlling Size Distribution of Silver Nanoparticles using Natural Reducing Agents in MCM-41@Ag. *ChemistrySelect*, 7(43). <https://doi.org/10.1002/slct.202202566>
- Bulugahapitiya, V. (2013). Plants Based Natural products Extraction, Isolation and *Phytochemical screening methods*. 1-93 ISBN 978-955-54456-1-0
- Carmignan, F., Matias, R., Carollo, C. A., Dourado, D. M., Fermiano, M. H., Silva, B. A. K., & Bastos, P. R. H. O. (2020). Efficacy of application of *Equisetum pyramidale* Goldm. Hydrogel for tissue restoration of induced skin lesions in wistar rats. *Brazilian Journal of Biology*, 80(1), 12–22. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.184409>
- Carmona, F., & Pereira, A. M. S. (2022). Prescription patterns of herbal medicines at a Brazilian Living Pharmacy: The Farmácia da Natureza experience, 2013–2019. *Journal of Herbal Medicine*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2022.100597>
- Carneiro, D. M., Jardim, T. V., Araújo, Y. C. L., Arantes, A. C., de Sousa, A. C., Barroso, W. K. S., Sousa, A. L. L., Cruz, A. D. C., da Cunha, L. C., & Jardim, P. C. B. V. (2022). Antihypertensive effect of *Equisetum arvense* L.: A double-blind, randomized efficacy

- and safety clinical trial. *Phytomedicine*, 99.  
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.153955>
- Caselli, A., Cirri, P., Santi, A., & Paoli, P. (2016). Morin: A Promising Natural Drug. *Current Medicinal Chemistry*, 23(8), 774–791.  
<https://doi.org/10.2174/0929867323666160106150821>
- Christenhusz, M. J. M., Bangiolo, L., Chase, M. W., Fay, M. F., Husby, C., Witkus, M., & Viruel, J. (2019). Phylogenetics, classification and typification of extant horsetails (*Equisetum*, Equisetaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 189(4), 311–352.  
<https://doi.org/10.1093/botlinnean/boz002>
- CLSI. Clinical and Laboratory Standards Institute. (2020). Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 30th ed. CLSI supplement M100. Wayne, PA
- Contreras-Angulo, L. A., Moreno-Ulloa, A., Carballo-Castañeda, R. A., León-Felix, J., Romero-Quintana, J. G., Aguilar-Medina, M., Ramos-Payán, R., Heredia, J. B. (2022). Metabolomic Analysis of Phytochemical Compounds from Agricultural Residues of Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Molecules*, 27, 7013.  
<https://doi.org/10.3390/molecules27207013>
- De Queiroz, G. M., Politi, F. A., Rodrigues, E. R., Souza-Moreira, T. M., Moreira, R. R., Cardoso, C. R., & Pietro, R. C. (2015). Phytochemical characterization, antimicrobial activity, and antioxidant potential of *Equisetum hyemale* L. (Equisetaceae) extracts. *Journal of medicinal food*, 18(7), 830-834.
- Dos Santos Alves, CF, Bonez, PC, de Souza, MDE, da Cruz, RC, Boligon, AA, Piana, M., ... & Santos, RCV (2016). Actividad antimicrobiana, antitripanosómica y antibiopelícula de *Equisetum hyemale*. *Patogénesis microbiana*, 101 , 119-125.

- Dos Santos Alves, C. F. D., Bonez, P. C., Casagrande, C., Clerici, D. J., Verdi, C. M., Urquhart, C. G., Missel, M. V., Barin, T., Campos, E. M. M. A. D., & Santos, R. C. V. (2023). Antibiofilm activity of *Equisetum hyemale*: Interference with quorum sensing. *Journal of Herbal Medicine*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2023.100688>
- Dormousoglou, M., Efthimiou, I., Antonopoulou, M., Fetzer, D. L., Hamerski, F., Corazza, M. L., ... & Vlastos, D. (2022). Investigation of the genotoxic, antigenotoxic and antioxidant profile of different extracts from *Equisetum arvense* L. *Antioxidants*, 11(7), 1393.
- Egorov, O. S., Borisova, N. Y., Borisova, E. Y., Rezhabbaev, M. L., Afanas'eva, E. Y., & Arzamastsev, E. V. (2021). Structure and biological action of analogs and derivatives of biogenic polyamines. *Fine Chemical Technologies*, 16(4), Article 4. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2021-16-4-287-306>
- Esquivel-Rojas, A., Cuevas-Arteaga, C., & Valladares-Cisneros, M. G. (2020). Study of the corrosion inhibition of copper in synthetic seawater by *Equisetum arvense* as green corrosion inhibitor. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 19(2), 603–616. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Mat629>
- Fajri, M., Ahmadi, A., & Sadrkhanlou, R. (2020). Protective effects of *Equisetum arvense* methanolic extract on sperm characteristics and *in vitro* fertilization potential in experimental diabetic mice: An experimental study. *International Journal of Reproductive BioMedicine*, 18(2), 93–104. <https://doi.org/10.18502/ijrm.v18i2.6415>
- Fajri, M., Ahmadi, A., & Sadrkhanlou, R. (2021). Protective effects of *Equisetum arvense* methanolic extract on testicular tissue disorders in streptozotocin-induced diabetic murine model. *Veterinary Research Forum*, 12(4), 497–503. <https://doi.org/10.30466/vrf.2020.108502.2576>

- Farnsworth N. R. (1966). Biological and phytochemical screening of plants. *Journal of pharmaceutical sciences*, 55(3), 225–276. <https://doi.org/10.1002/jps.2600550302>
- Filipe, M. S., Isca, V. M. S., N, E. N., Princiotto, S., Díaz-Lanza, A. M., & Rijo, P. (2022). Lethality Bioassay Using *Artemia salina* L. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, 188, e64472. <https://doi.org/10.3791/64472>
- Formagio, A. S. N., Ramos, D. D., Vieira, M. C., Ramalho, S. R., Silva, M. M., Zárata, N. a. H., Foglio, M. A., & Carvalho, J. E. (2015). Phenolic compounds of *Hibiscus sabdariffa* and influence of organic residues on its antioxidant and antitumoral properties. *Brazilian Journal of Biology = Revista Brasileira De Biologia*, 75(1), 69–76. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.07413>
- Gažová, A., Valášková, S., Žufková, V., Castejon, A. M., & Kyselovič, J. (2019). Clinical study of effectiveness and safety of CELcomplex ® containing *Cucurbita Pepo* Seed extract and Flax and Casuarina on stress urinary incontinence in women. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 9(2), 138–142. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2017.10.005>
- Giordani, C., Waller, S. B., Guterres, K. A., da Silva, C. C., Lobo, R. R., Hoffmann, J. F., Perera, S. C., Chaves, F. C., Ladeira, S. R. L., Sallis, E. S. V., Vargas, G. D., & Cleff, M. B. (2022). Multiresistant bacteria isolated from domestic and wild animals with skin lesions were susceptible to native plants from Southern Brazil. *Natural Product Research*, 36(11), 2927–2931. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1933972>
- Giordani, C., Waller, S. B., Madrid, I. M., Guterres, K. A., de Matos, C. B., Hoffmann, J. F., de Castro, L. L., Chaves, F. C., de Faria, R. O., & Cleff, M. B. (2022). Chemical, antioxidant and cytotoxic profile of hydroalcoholic extracts of plants from Southern Brazil and their

- activity against pathogenic fungi isolated from dogs and cats with sensitivity and resistance to conventional antifungals. *Natural Product Research*, 36(12), 3223–3228. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1956920>
- Głąb, M., Drabczyk, A., Kudłacik-Kramarczyk, S., Krzan, M., & Tylińczak, B. (2021). Physicochemical characteristics of chitosan-based hydrogels modified with *Equisetum arvense* L. (Horsetail) extract in view of their usefulness as innovative dressing materials. *Materials*, 14(24).. <https://doi.org/10.3390/ma14247533>
- Godlewska, K., Biesiada, A., Michalak, I., & Pacyga, P. (2020). The effect of botanical extracts obtained through ultrasound-assisted extraction on white head cabbage (*Brassica oleracea* L. Var. Capitata l.) seedlings grown under controlled conditions. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), 1–31. <https://doi.org/10.3390/su12051871>
- Grajales-Tam, K. M., & Tejero-Díez, J. D. (2017). FAMILIA EQUISETACEAE. En *Flora del Bajío*. Flora del Bajío. <https://doi.org/10.21829/fb.48.2017.198>
- Granchi, C. (2022). Biological Activity of Natural and Synthetic Compounds. *Molecules*, 27(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/molecules27123652>
- Gründemann, C., Lengen, K., Sauer, B., Garcia-Käufer, M., Zehl, M., & Huber, R. (2014). *Equisetum arvense* (common horsetail) modulates the function of inflammatory immunocompetent cells. *BMC complementary and alternative medicine*, 14, 1-10.
- Gu, H., Yi, T., Lin, P., & Hu, J. (2022). Study on essential oil, antioxidant activity, anti-human prostate cancer effects, and induction of apoptosis by *Equisetum arvense*. *Open Chemistry*, 20(1), 1187–1195. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0203>
- Gurgul, A., Youn, I., Maldonado, A., Wahid, F., Che, C.-T., & Khan, T. (2022). UHPLC-MS/MS-GNPS based phytochemical investigation of *Equisetum arvense* L. and evaluation of

- cytotoxicity against human melanoma and ovarian cancer cells. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.021>
- Halliwell, B. (1990). How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Research Communications*, 9(1), 1–32. <https://doi.org/10.3109/10715769009148569>
- Harborne, JB y Harborne, JB (1973). Compuestos fenólicos. *Métodos fitoquímicos: una guía para las técnicas modernas de análisis de plantas*, 33-88.
- Huang, O. (2012). Evaluación de la actividad antioxidante de los flavonoides por "Ferric reducción de la potencia antioxidante" ensayo y cíclicos.
- Huacuja-González, E. (1995). Contribución al estudio fitoquímico y determinación de la acción antimicrobiana de *Senecio candidissimus*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Jahanban-Esfahlan, A., Modaeinama, S., Abasi, M., Abbasi, M. M., & Jahanban-Esfahlan, R. (2015). Anti Proliferative Properties of *Melissa officinalis* in Different Human Cancer Cells. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP*, 16(14), 5703–5707. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2015.16.14.5703>
- Jaramillo-Hernández, D. A. (2016). Estudio de la actividad acaricida *in vitro* del extracto acetónico de *Gliricidia sepium* sobre *Rhipicephalus microplus*. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/maest\\_ciencias\\_veterinarias/52](https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_ciencias_veterinarias/52)
- Jordamović, N., Pehlivanović, B., Nikšić, H., Gušić, I., Korić, E., Dedić, M., Tuna-Repovac, B., Bečić, F., & Durić, K. (2023). Anti-proliferative and anti-inflammatory activity of triterpene extracts from plant species belonging to Lamiaceae family. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas; Vol. 22 No. 6: 864-878*. <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.6.58>

- Kasolo, J., Bimenya, G., Ojok, L., Ochieng, J., y Ogwal-Okeng, J. (2010). Phytochemicals and uses of *Moringa oleifera* leaves in Ugandan rural communities. *Journal of Medicinal Plants Research*. Vol. 4(9), pp. 753-757. Doi: 10.5897/JMPR10.492
- Macías Peacock, B., Suárez Crespo, M. F., Berenguer Rivas, C. A., & Pérez Jackson, L. (2009). Intoxicaciones por plantas tóxicas atendidas desde un servicio de información toxicológica. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 14(2), 0–0.
- Malta, C. P., Silva Barcelos, R. C., Segat, H. J., Burger, M. E., Souza Bier, C. A., & Morgental, R. D. (2022). Toxicity of bioceramic and resinous endodontic sealers using an alternative animal model: *Artemia salina*. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 25(2), 185. [https://doi.org/10.4103/jcd.jcd\\_401\\_21](https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_401_21)
- Miller, N. J., Rice Evans, C., Davies, M. J., Gopinathan, V., & Milner, A. (1993). A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical science (London, England: 1979)*, 84(4), 407–412. <https://doi.org/10.1042/cs0840407>.
- Mo, B., & Hensel, A. (2023). Old Herbal Drugs—New Findings? New Strategies for an Adjuvant Therapy of Urinary Tract Infections with Horsetail Herb. *Zeitschrift für Phytotherapie*, 44(3), 113–120. <https://doi.org/10.1055/a-1994-8808>
- Mo, B., Sendker, J., Herrmann, F., Nowak, S., & Hensel, A. (2022). Aqueous extract from *Equisetum arvense* stimulates the secretion of Tamm-Horsfall protein in human urine after oral intake. *Phytomedicine*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.154302>
- Müller, J., Puttich, P. M., & Beuerle, T. (2020). Variation of the Main Alkaloid Content in *Equisetum palustre* L. in the Light of Its Ontogeny. *Toxins*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/toxins12110710>

- Mushtaq, M. N., Barkat, K., Abid, F., & Anjum, I. (2021). Gastroprotective activity of *Equisetum hyemale* in experimental gastric ulcer rat models. *Farmacía*, *69*(2), 356–366. <https://doi.org/10.31925/farmacía.2021.2.22>
- Naranjo, M., Vélez, L. T., & Rojano, B. A. (2011). Actividad antioxidante de café colombiano de diferentes calidades. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, *16*(2), 164–173.
- Nassar, M. S. M., Hazzah, W. A., & Bakr, W. M. K. (2019). Evaluation of antibiotic susceptibility test results: How guilty a laboratory could be? *Journal of the Egyptian Public Health Association*, *94*(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s42506-018-0006-1>
- Nathan, C. (2002). Points of control in inflammation. *Nature*, *420*(6917), 846–852. <https://doi.org/10.1038/nature01320>
- Ncube, N. S., Afolayan, A. J., & Okoh, A. I. (2008). Assessment techniques of antimicrobial properties of natural compounds of plant origin: Current methods and future trends. *African Journal of Biotechnology*, *7*(12), Article 12. <https://doi.org/10.5897/AJB07.613>
- Nowak, M., Tipke, I., Bücken, L., Franke, K., Lubienski, M., & Beuerle, T. (2022). Biomarker-Based Determination of *Equiseti herba* Contamination by *Equisetum palustre* Using HPLC-MS/MS. *Planta Medica*, *88*(6), 447–454. <https://doi.org/10.1055/a-1521-8386>
- Olazarán-Santibañez, F., Rivera, G., Vanoye-Eligio, V., Mora-Olivo, A., Aguirre-Guzmán, G., Ramírez-Cabrera, M., & Arredondo-Espinoza, E. (2021). Antioxidant and antiproliferative activity of the ethanolic extract of *Equisetum myriochaetum* and molecular docking of its main metabolites (Apigenin, kaempferol, and quercetin) on  $\beta$ -tubulin. *Molecules*, *26*(2). <https://doi.org/10.3390/molecules26020443>
- Pallag, A., Filip, GA, Olteanu, D., Clichici, S., Baldea, I., Jurca, T., ... y Mureşan, M. (2018). El extracto de *Equisetum arvense* L. induce actividad antibacteriana y modula el estrés

oxidativo, la inflamación y la apoptosis en células vasculares endoteliales expuestas al estrés hiperosmótico. *Medicina oxidativa y longevidad celular*.

- Park, J., & Park, Y. (2020). Dyeability and antioxidant activity of artificial silk with *Equisetum arvense* L. extract. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 32(3), 390–401. <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2019-0112>
- Parrish, A. N., Lange, I., Šamec, D., & Lange, B. M. (2022). Differential Accumulation of Metabolites and Transcripts Related to Flavonoid, Styrylpyrone, and Galactolipid Biosynthesis in *Equisetum* Species and Tissue Types. *Metabolites*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/metabo12050403>
- Pérez Gastell, P. L., & Pérez de Alejo, J. L. (2000). Métodos para medir el daño oxidativo. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 29(3), 192–198.
- Perna, S., Biserni, M., Borsani, F., Berardi, M., Spadaccini, D., & Rondanelli, M. (2020). Effect of a mixture of botanicals extracts plus mannitol on hydration and bloating sensation. An open label study in women with high extra cellular water. *Natural Product Research*, 34(17), 2500–2504. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1539975>
- Peyro Mousavi, S. F., Ganjovi, A., Eskandarizadeh, A., Saidi, A. R., & Isaei, E. (2022). Evaluating the antibacterial effect of synthesized herbal toothpastes and their efficacy for dentine tubule occlusion: Scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy analysis. *Microscopy Research and Technique*, 85(1), 19–27. <https://doi.org/10.1002/jemt.23881>
- Pinzon, R. & Sanchez, C. (1995). *Manual de Técnicas de la investigación*. Santa Fe De Bogotá: Cytel, 63-70.

- Rainsford, K. D. (2007). Anti-inflammatory drugs in the 21st century. *Sub-Cellular Biochemistry*, 42, 3–27. [https://doi.org/10.1007/1-4020-5688-5\\_1](https://doi.org/10.1007/1-4020-5688-5_1)
- Raffauf, R. F. (1962). A simple field test for alkaloid-containing plants. *Economic Botany*, 16(3), 171-172. <https://doi.org/10.1007/BF02860035>
- Rahman, M., Kuhn, I., Rahman, M., Olsson-Liljequist, B. & Mollby, R. (2004). Evaluation of a Scanner-Assisted Colorimetric MIC Method for Susceptibility Testing of Gram-Negative Fermentative Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 70(4):2398-2403. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.70.4.2398-2403.2004>.
- Rengifo-Zevallos, D. R. (2018). Estudio fitoquímico cualitativo preliminar y cuantificación de flavonoides y taninos del extracto etanólico de hojas de *Desmodium vargasianum* Schubert Revista de la Sociedad Química del Perú. 84, 175-182. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2018000200002&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000200002&nrm=iso)
- Rivas-Morales, C. (2019). *Investigación en plantas de importancia médica | OmniaScience Monographs*. <https://www.omniascience.com/books/index.php/monographs/catalog/book/97>
- Rogozhin, E. A., Vasilchenko, A. S., Barashkova, A. S., Smirnov, A. N., Zavriev, S. K., & Demushkin, V. P. (2020). Peptide extracts from seven medicinal plants discovered to inhibit oomycete *Phytophthora infestans*, a causative agent of potato late blight disease. *Plants*, 9(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/plants9101294>
- Ruga, S., Galla, R., Ferrari, S., Invernizzi, M., & Uberti, F. (2023). Novel Approach to the Treatment of Neuropathic Pain Using a Combination with Palmitoylethanolamide and

- Equisetum arvense* L. in an *In Vitro* Study. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6). <https://doi.org/10.3390/ijms24065503>
- Sadraei, H., Rasouli-Amirabadi, A. H., Yekdaneh, A., & Tavakoli, N. (2022). Bioassay standardization of drug dosage form prepared from hydroalcoholic extract of *Dracocephalum kotschyi*. *Journal of Herbmед Pharmacology*, 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.34172/jhp.2022.50>
- Saeed Abadi, B., Eghlima, G., Mirjalili, M. H., & Ghorbanpour, M. (2024). Optimizing the ultrasound-assisted phenolic extraction from *Equisetum arvense* L. and its antioxidant activity using response surface methodology. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05551-z>
- Saeed-Abadi, B., Eghlima, G., Mirjalili, M. H., Hadian, J., & Ghorbanpour, M. (2024). Effect of extraction solvent on silicon, isoquercitroside content, and antioxidant activity of common horsetail (*Equisetum arvens* L.) extract. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05415-6>
- Safayhi, H. y Sailer, ER (1997). Acciones antiinflamatorias de los triterpenos pentacíclicos. *Planta médica* , 63 (06), 487-493.
- Salim, E. I., Abd El-Magid, A. D., Farara, K. M., & Maria, D. S. M. (2015). Antitumoral and Antioxidant Potential of Egyptian Propolis Against the PC3 Prostate Cancer Cell Line. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP*, 16(17), 7641–7651. <https://doi.org/10.7314/apjcp.2015.16.17.7641>
- Salvadori, L., Paiella, M., Castiglioni, B., Belladonna, M. L., Manenti, T., Ercolani, C., Cornioli, L., Clemente, N., Scircoli, A., Sardella, R., Tensi, L., Astolfi, A., Barreca, M. L., Chiappalupi, S., Gentili, G., Bosetti, M., Sorci, G., Filigheddu, N., & Riuzzi, F. (2024).

- Equisetum arvense* standardized dried extract hinders age-related osteosarcopenia. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116517>
- Sánchez-Hernández, E., Langa-Lomba, N., González-García, V., Casanova-Gascón, J., Martín-Gil, J., Santiago-Aliste, A., Torres-Sánchez, S., & Martín-Ramos, P. (2022). Lignin–Chitosan Nanocarriers for the Delivery of Bioactive Natural Products against Wood-Decay Phytopathogens. *Agronomy*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy12020461>
- Sarri, S., Colombo, C., & Sparabombe, S. (2020). The treatment of periodontal disease assisted by topical and systemic herbal therapies. *Dental Cadmos*, 88(4), 238–249. <https://doi.org/10.19256/d.cadmos.04.2020.06>
- Schlappack, T., Kappacher, C., Rainer, M., Huck, C. W., & Bonn, G. K. (2022). New sensitive ambient mass spectrometric method combined with chemometric modelling for the analysis of *Equisetum palustre* L. contaminations in the traditional herb *Equiseti herba*. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100396>
- Schloss, J., Ryan, K., Reid, R., & Steel, A. (2019). A randomised, double-blind, placebo-controlled clinical trial assessing the efficacy of bedtime buddy® for the treatment of nocturnal enuresis in children. *BMC Pediatrics*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1797-8>
- Schloss, J., Ryan, K., & Steel, A. (2021). A randomised, double-blind, placebo-controlled clinical trial found that a novel herbal formula Urox® (Bedtime Buddy®) assisted children for the treatment of nocturnal enuresis. *Phytomedicine*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153783>

- Schreiner, T., Sauter, D., Friz, M., Heil, J., & Morlock, G. E. (2021). Is Our Natural Food Our Homeostasis? Array of a Thousand Effect-Directed Profiles of 68 Herbs and Spices. *Frontiers in Pharmacology*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.755941>
- Sedaghat, S., & Omid, S. (2019). Batch process biosynthesis of silver nanoparticles using *Equisetum arvense* leaf extract. *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials*, *8*(3), 190–197. <https://doi.org/10.1680/jbibn.18.00045>
- Settu, S., & Arunachalam, S. (2023). Evaluation of Anti-inflammatory activity of selected medicinal plants of Cucurbitaceae family. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, *16*(4), 1598–1600. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00261>
- Setvaji, N. R., & Subramanian, A. K. (2024). Evaluation of Cytotoxicity of Green Synthesized Strontium Fluorapatite Nanoparticles on Human Gingival Fibroblasts: An *In Vitro* Study. *World Journal of Dentistry*, *15*(1), 25–29. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10015-2357>
- Shiba, F., Furusho, H., Takata, T., Shimizu, R., & Miyauchi, M. (2022). *Equisetum arvense* Inhibits Alveolar Bone Destruction in a Rat Model with Lipopolysaccharide (LPS)-Induced Periodontitis. *International Journal of Dentistry*, *2022*. <https://doi.org/10.1155/2022/7398924>
- Shiba, F., Miyauchi, M., Chea, C., Furusho, H., Iwasaki, S., Shimizu, R., Ohta, K., Nishihara, T., & Takata, T. (2021). Anti-inflammatory effect of glycyrrhizin with *Equisetum arvense* extract. *Odontology*, *109*(2), 464–473. <https://doi.org/10.1007/s10266-020-00563-3>
- Sissi, S., Dra, L. A., Ouhaddou, S., Ahmed, O., Larhsini, M., & Markouk, M. (2023). *In vitro* Antioxidant Potential and *In vivo* Analgesic and Anti-Inflammatory Activities of

- Moroccan *Equisetum ramosissimum*. *Natural Products Journal*, 13(3), 48–59.  
<https://doi.org/10.2174/2210315512666220509115912>
- Song, S. B., Chung, G. J., Jung, H. J., Jang, J. Y., Chung, H. Y., Kim, N. D., Lee, J.-H., Min, K., Park, S. Y., Kwak, C. S., & Hwang, E. S. (2021). Suppression of reactive oxygen species generation as a part of antioxidative effect of plant extracts. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 706–714. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2021.53.6.706>
- Taïbi, K., Aït Abderrahim, L., Boussaid, M., Taïbi, F., Achir, M., Souana, K., Benaïssa, T., Farhi, K. H., Naamani, F. Z., & Nait Said, K. (2021). Unraveling the ethnopharmacological potential of medicinal plants used in Algerian traditional medicine for urinary diseases. *European Journal of Integrative Medicine*, 44.  
<https://doi.org/10.1016/j.eujim.2021.101339>
- Taşkın, T., Yılmaz, B. N., & Doğan, A. (2020). Antioxidant, Enzyme Inhibitory and Calcium Oxalate Anti-crystallization Activities of *Equisetum telmateia* Ehrh. *International Journal of Secondary Metabolite*, 7(3), 181–191. <https://doi.org/10.21448/ijsm.706514>
- Tipke, I., Bucker, L., Middelstaedt, J., Winterhalter, P., Lubienski, M., & Beuerle, T. (2019). HILIC HPLC-ESI-MS/MS identification and quantification of the alkaloids from the genus *Equisetum*. *Phytochemical analysis*, 30(6), 669-678.
- Thammarat, P., Jiaranaikulwanitch, J., Phongpradist, R., Raiwa, A., Pandith, H., Sawangrat, K., & Sirilun, S. (2023). Cosmeceutical Potentials of *Equisetum debile* Roxb. Ex Vaucher Extracts. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/app13031336>
- Treviño-Barbosa, G., Montelongo-Ruíz, G., Heinz-Castro, R. T. Q., Olazarán-Santibáñez, F. E., Méndez-Cortés, H., & Chacón-Hernández, J. C. (2021). Effects of *Equisetum arvense*

- Ethanollic Extract on Biological Parameters of *Tetranychus merganser* Boudreaux1. *Southwestern Entomologist*, 46(1), 95–101. <https://doi.org/10.3958/059.046.0109>
- Tsubanova, N. A., Barska, A. V., & Cherniavski, E. S. (2019). Clinical efficiency of preparations based on medical plant raw materials in the treatment of urolithiasis. *Family Medicine*, 81(1), 80–87. <https://doi.org/10.30841/2307-5112.1.2019.172217>
- Vanheuverzwijn, J., Maillard, E.-E., Mahat, A., Fowler, L., Monteyne, D., Bonnaud, L., Landercy, N., Hemberg, A., Janković, A., Meyer, F., Mišković-Stanković, V., Stevanović, M., Mirica, C., Pérez-Morga, D., Luginbuehl, R., Combes, C., Furtos, G., & Fontaine, V. (2023). Easy, Flexible and Standardizable Anti-Nascent Biofilm Activity Assay to Assess Implant Materials. *Microorganisms*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041023>
- Vaou, N., Stavropoulou, E., Voidarou, C., Tsigalou, C., & Bezirtzoglou, E. (2021). Towards Advances in Medicinal Plant Antimicrobial Activity: A Review Study on Challenges and Future Perspectives. *Microorganisms*, 9(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102041>
- Vieira, G. T., de Oliveira, T. T., Carneiro, M. A. A., Cangussu, S. D., Humberto, G. A. P., Taylor, J. G., & Humberto, J. L. (2020). Antidiabetic effect of *Equisetum giganteum* L. extract on alloxan-diabetic rabbit. *Journal of Ethnopharmacology*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112898>
- Vieira, R., Venâncio, C., & Félix, L. (2021). Teratogenic, oxidative stress and behavioural outcomes of three fungicides of natural origin (*Equisetum arvense*, mimosa tenuiflora, thymol) on zebrafish (*Danio rerio*). *Toxics*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/toxics9010008>

- Wang, L., Zhang, L., Zheng, G., Luo, H., El-Kott, A. F., & El-Kenawy, A. E. (2023). *Equisetum arvense* L. aqueous extract: A novel chemotherapeutic supplement for treatment of human colon carcinoma. *Archives of Medical Science*, 19(5), 1472–1478. <https://doi.org/10.5114/aoms/138146>
- Waterstradt, A., Winker, M., Zimmermann-Klemd, A. M., Devi, S., Lederer, A.-K., Huber, R., & Gründemann, C. (2022). Silicon Resorption from *Equisetum arvense* Tea—A Randomized, Three-Armed Pilot Study. *Planta Medica*, 88(14), 1360–1368. <https://doi.org/10.1055/a-1643-5493>
- Webber, D. M., Wallace, M. A., & Burnham, C.-A. D. (2022). Stop Waiting for Tomorrow: Disk Diffusion Performed on Early Growth Is an Accurate Method for Antimicrobial Susceptibility Testing with Reduced Turnaround Time. *Journal of Clinical Microbiology*, 60(5), e03007-20. <https://doi.org/10.1128/jcm.03007-20>
- Woloszyn, N., Krabbe, R. D., Fischer, B., Bernardi, J. L., Duarte, P. F., Puton, B. M. S., Cansian, R. L., Paroul, N., & Junges, A. (2022). Use of pressurized liquid extraction technique to obtain extracts with biological and antioxidant activity from *Mentha pulegium*, *Equisetum giganteum* and *Sida cordifolia*. *Chemical Papers*, 76(9), 5775–5788. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02289-8>
- Wulf, F., Podhorna, J., Bandte, M., Rybak, M., & Büttner, C. (2023). Potential of basic substances in plant protection to reduce *Podosphaera pannosa* in cut roses. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 130(3), 571–578. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00658-9>
- Yin, H., Zhang, Y., Hu, T., Li, W., Deng, Y., Wang, X., Tang, H., Zhao, L., & Yan, G. (2023). Optimization of Cellulase-Assisted Extraction of Total Flavonoids from *Equisetum* via

Response Surface Methodology Based on Antioxidant Activity. *Processes*, 11(7).

<https://doi.org/10.3390/pr11071978>

Zhang, N., Wang, M., Li, Y., Zhou, M., Wu, T., y Cheng, Z. (2021). TLC-MS identification of alkaloids in Leonuri Herba and Leonuri Fructus aided by a newly developed universal derivatisation reagent optimised by the response surface method. *Phytochemical analysis: PCA*, 32(3), 242–251. <https://doi.org/10.1002/pca.2970>

Zhu, D.-H., Zhang, J.-K., Li, M., Liu, J.-J., Zheng, X.-K., & Feng, W.-S. (2023). Chemical Constituents of Dichloromethane Extract from *Ephedra equisetina* Bunge. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 58(3), 236–242. <https://doi.org/10.11669/cpj.2023.03.006>

Žitek, T., Dariš, B., Finšgar, M., Knez, Z., Bjelić, D., & Hrnčič, M. K. (2020). The effect of polyphenolics in extracts from natural materials on metabolic activity of metastatic melanoma WM-266-4 cells. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/app10103499>

## XIII. ANEXOS



# Informe del Detector de Plagio Viper

REVISIÓN ANTIPLAGIO TESIS MAESTRIA FERNAN  
20JUNIO2024.pdf escaneado Jun 20, 2024

Porcentaje Total

**2%**



0.6%

Bioensayo General de Letalidad con Larvas d...

<https://1library.co/article/bioensayo-general-letalidad>



0.3%

Infecciones del tracto urinario en México, un p...

<https://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/1119>



0.1%

Evaluación de la toxicidad de extractos de pla...

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid:](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid:)



0.1%

ENSAYO DE ARTEMIA: ÚTIL HERRAMIENT...

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid:](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid:)



0.1%

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXID...

<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n3/a10v81n3.p>



Evaluation of nest management phases for Le...  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35089433/>



Actividad antimicrobiana y antioxidante del ex...  
<https://core.ac.uk/download/pdf/323345538.pdf>



ESTUDIO FITOQUÍMICO CUALITATIVO PR...  
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v84n2/a02v84n2.p>

"Evaluación de la actividad biológica y toxicidad de *Equisetum praealtum* Raf. (Equisetaceae) en el estado de Sinaloa"

Biól. María Fernanda Aguilar Valle

Resumen

Introducción: *Equisetum praealtum*, conocido por sus aplicaciones tradicionales en medicina, ha capturado la atención de la comunidad científica debido a su diversa composición fitoquímica y potencial terapéutico. Investigaciones anteriores han señalado su capacidad antioxidante y antimicrobiana, aunque con resultados variados en cuanto a la eficacia de sus extractos. Objetivo: Evaluar la actividad biológica y toxicidad de la planta *E. praealtum* nativa del estado de Sinaloa.

Metodología: Se empleó un método de extracción etanólico para obtener el extracto de las partes aéreas de *E. praealtum*. Se realizó un tamizaje fitoquímico para identificar los principales