

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA



Potencial biológico *in vitro* de extractos de cascalote (*Libidibia coriaria*) contra  
*Fusarium oxysporum*

Por:

**RUBÉN ISRAEL DÍAZ GÁLVEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo, 2025.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Potencial Biológico *in vitro* de Extractos de Cascalote (*Libidibia coriaria*) contra  
*Fusarium oxysporum*

Por:

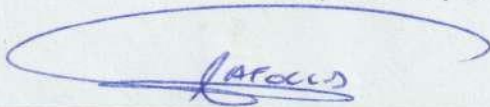
**RUBÉN ISRAEL DÍAZ GÁLVEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:




**Dr. Julio César Tafolla Arellano**  
Asesor Principal Interno



**Dr. José Juan Buenrostro Figueroa**  
Asesor Principal Externo



**M.C. Aidee González Ruíz**  
Coasesora



**Dr. Agustín Hernández Juárez**  
Coasesor



**M.C. Sergio Sánchez Martínez**  
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México  
Marzo, 2025.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

Potencial Biológico *in vitro* de Extractos de Cascalote (*Libidibia coriaria*) contra  
*Fusarium oxysporum*

Por:

**RUBÉN ISRAEL DÍAZ GÁLVEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

Aprobada por el Jurado examinador:



**Dr. Julio César Tafolla Arellano**  
Asesor Principal Interno



**Dr. José Juan Buenrostro Figueroa**  
Asesor Principal Externo



**M.C. Aideé González Ruiz**  
Coasesora



**Dr. Agustín Hernández Juárez**  
Coasesor



**M.C. Sergio Sánchez Martínez**  
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México  
Marzo, 2025.



## DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

Atentamente.

Alma Terra Mater



**Rubén Israel Díaz Gálvez**

Autor principal

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por otorgarme nunca dejarme solo, darme salud en todo momento y permitirme llegar hasta este punto de mi vida y poder permitirme realizar cada una de mis metas en las diferentes etapas de mi vida.

Al Dr. **Julio César Tafolla Arellano** por toda la confianza y el apoyo brindado en todo momento de manera incondicional para poder llegar hasta este punto, por las enseñanzas brindadas a lo largo de mi estancia académica. Por ser un amigo académico-mentor.

Al Dr. **Juan Buenrostro Figueroa** por abrirme las puertas, el apoyo, en la revisión de este presente trabajo, asesoría y sus conocimientos brindados en todo momento siendo partícipe de este proyecto de investigación.

Al Dr. **Agustín Hernández Juárez** Por darme la confianza y abrirme las puertas para permitirme trabajar en su laboratorio utilizando su cepario, los conocimientos brindados, asesoría y su apoyo en la revisión del presente trabajo de investigación.

A la M.C. **Aide González Ruiz** Por su confianza, apoyo y asesoría brindada en todo momento para la realización de este proyecto de investigación, por transmitirme conocimientos durante el proceso en la revisión en el presente trabajo de investigación.

A mi **Alma Terra Mater**, La **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por ser mi segundo hogar al haberme abierto sus puertas y brindarme los conocimientos y poder culminar mi carrera con éxito Ing. en Biotecnología, muchas amistades que aquí formé.



## DEDICATORIA

A mi abuelo **Liborio Gálvez Zúñiga†** por darme las herramientas desde niño para forjarme en la vida, gracias por siempre enseñarme a creer en mí.

A mi abuela **Ana Bustos López** por su apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida. Gracias Abuela.

A mi madre **Otilia Gálvez Bustos** por su amor incondicional, sacrificio y apoyo para poder acompañarme hasta aquí, mi gran ejemplo siempre. Gracias madre.

A mi padre **Rubén Díaz Huidobro** por los consejos, apoyo e influencia en todo momento. Gracias padre.

A mis hermanas **Ali Montserrath Díaz Gálvez** y **Fatima Abril Díaz Gálvez** por siempre apoyarme en cada decisión de mi vida.

A mis tíos **Cruz Gálvez Bustos** y **Rosario Gálvez Bustos** por su respaldo en momentos de adversidad en todo momento.

A mi amigo **Ing. Luis A. De la Peña** y familia por su amistad y las enseñanzas de vida.

A mi prima **Daniel H. Vargas** y **Rogelio Eyal Mariscal** por el apoyo brindado todo momento desde el momento de mi llegada a mi alma mater.

A mis tíos **Josefina Rivera Huidobro†**, **Judith Rivera Huidobro**, **Rogelio Marical Hernández** por su apoyo moral y consejos que nunca faltaron en todo momento.

A **Jahzeel Osiris Juárez C.** por tus palabras de aliento en todo momento, siendo un pilar fundamental en mi vida. Gracias Jahzeel.

A mis amistades formadas en mi alma mater: **Ángeles, Oscar, Diego, Yamir, Ezri, Max, Efrain, Crisantemo, Aléxis, Obed, Ernesto, Fernando, Juan Carlos.**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XI</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Justificación .....	2
1.2. Hipótesis .....	3
1.3. Objetivo general .....	3
1.4. Objetivos específicos .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1. Generalidades sobre el cascalote ( <i>Libidibia coriaria</i> ) .....	4
2.2. Distribución, hábitat y origen .....	4
2.3 Botánica .....	5
2.4. Ecosistema .....	5
2.5. Descripción morfológica .....	6
2.6. Importancia .....	9
2.7. Industria textil .....	9
2.8. Forraje .....	10
2.9. Propiedades y compuestos bioactivos del cascalote .....	10
2.10. Actividad antifúngica .....	11
2.11. Biodisponibilidad de los compuestos fenólicos en células vegetales .....	11
2.12. Compuestos fenólicos solubles .....	12
2.13. Compuestos fenólicos no solubles .....	12
2.14. Metodologías de extracción de compuestos polifenólicos .....	13
2.15. Maceración .....	15
2.16. Extracción asistida por ultrasonido .....	15
2.17. Variables en el proceso de extracción .....	16

2.18. Disolventes polares .....	17
2.19. Disolventes polares proticos .....	19
2.20. Disolventes polares apróticos .....	19
2.21. Disolventes no polares o apolares .....	19
2.22. Uso de extractos de plantas en la agricultura .....	21
2.23. Estrategias de control de <i>F. oxysporum</i> .....	22
2.24. Extractos vegetales como biofungicidas .....	22
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3.1. Recolección y procesamiento del material vegetal. Primera fase .....	25
3.2. Extracción mediante maceración-baño ultrasónico de Cascalote. Segunda fase .....	25
3.3. Purificación en columna de amberlita XAD-16N. Tercera fase .....	27
3.4. Esterilización del extracto rico en polifenoles mediante de membrana hidrofílica .....	28
<b>3.5. Caracterización del perfil de compuestos bioactivos por espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR). Cuarta fase.....</b>	<b>29</b>
3.6. Aislamiento de <i>F. oxysporum</i> . Quinta fase .....	29
3.7. Crecimiento de la cepa <i>F. oxysporum</i> .....	29
3.8. Evaluación del potencial biológico <i>in vitro</i> vs <i>F. oxysporum</i> . Sexta fase .....	30
3.9. Diseño experimental.....	32
3.10. Análisis estadístico .....	32
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>33</b>
4.1. Rendimiento de polifenoles en las diferentes etapas del extracto crudo- purificado ....	33
4.2. Evaluación del potencial biológico contra <i>F. oxysporum</i> .....	33
4.3. Espectroscopia Infrarroja Por Transformada de Fourier (FTIR).....	37
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>45</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Técnicas ampliamente utilizadas para la extracción de compuestos bioactivos.....	14
<b>Cuadro 2.</b> Consideraciones importantes para tomar en cuenta al momento de seleccionar un solvente a utilizar.....	20
<b>Cuadro 3.</b> Extractos vegetales y sus posibles mecanismos de acción.....	22
<b>Cuadro 4.</b> Rendimiento de obtenido de polifenoles a partir de 100 g de vainas de cascalote.....	33
<b>Cuadro 5.</b> Valores de IC50 para los extractos purificados de vainas de cascalote contra <i>F. oxysporum</i> .....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución de <i>L. coriaria</i> en México- Centroamérica. Fuente: Elaboración propia basada en GBIF, 2022; CONABIO, 2021.....	5
<b>Figura 2.</b> Árbol de cascalote (Fotos tomadas en San Miguel Totolapan, Guerrero). ...	6
<b>Figura 3.</b> Corteza y tronco del arbol de cascalote (Fotos tomadas en San Miguel Totolapan, Guerrero).....	6
<b>Figura 4.</b> Hojas de cascalote (Fotos tomadas en San Miguel Totolapan, Guerrero)....	7
<b>Figura 5.</b> Flor y fruto (vaina) de cascalote. Fotos tomadas en San Miguel Totolapan, Guerrero). ....	8
<b>Figura 6.</b> Fruto (vaina) y semilla de cascalote.....	9
<b>Figura 7.</b> Localización de los compuestos fenólicos en la célula vegetal. Fuente:( Capistran Carbarin <i>et al.</i> , 2019).....	11
<b>Figura 8.</b> Representación de la unión de compuestos fenólicos con las estructuras de la pared celular de la célula vegetal. Fuente: Herrera <i>et al.</i> (2019) y Perea <i>et al.</i> (2018). ....	12

<b>Figura 9.</b> Diagrama de extracción sólido-líquido en material vegetal .....	14
<b>Figura 10.</b> Esquema del proceso de extracción asistida por ultrasonido en una matriz vegetal. Fuente: Herrera-Pool <i>et al.</i> (2019).....	16
<b>Figura 11.</b> Representación molecular del arrastre producido por metanol a una molécula simple de fenol. Fuente: Núñez (2008).....	18
<b>Figura 12.</b> Estructuras de disolventes polares proticos de las moléculas. Fuente: Núñez (2008). .....	18
<b>Figura 13.</b> Estructura de un disolvente polar aprótico: acetona. Fuente: Nuñez, 2008. ....	19
<b>Figura 14.</b> Estructura del benceno, un disolvente no polar o apolar (Nuñez, 2008). 20	
<b>Figura 15.</b> Diagrama del proceso general de recolección, extracción, purificación, caracterización del potencial biológico <i>in vitro</i> y caracterización de compuestos bioactivos. ....	24
<b>Figura 16.</b> Recolección, secado y molienda del fruto del cascalote.....	25
<b>Figura 17.</b> Extracción mediante maceración a) 80:20 metanol-agua y b) 80:19:1 metanol: agua: ácido láctico .....	26
<b>Figura 18.</b> Filtrado mediante presión de vacío .....	26
<b>Figura 19.</b> Obtención del extracto crudo .....	27
<b>Figura 20.</b> Extracción de polifenoles mediante cromatografía en columna.....	28
<b>Figura 21.</b> Esterilización mediante membrana hidrofílica .....	29
<b>Figura 22.</b> Crecimiento de cepa <i>F. oxysporum</i> .....	30
<b>Figura 23.</b> Diagrama completo del protocolo de extracción de compuestos fenólicos a partir de vainas de cascalote.....	31
<b>Figura 24.</b> Diferencias de inhibición entre los tres extractos a) 80:20 b) 80:19:1 y extractos 100% etanólicos.....	34
<b>Figura 25.</b> Efecto de la concentración de extracto de purificado 80:20 y 80:19:1 sobre la inhibición del crecimiento de <i>F. oxysporum</i> a los 8 días. ....	35
<b>Figura 26.</b> Espectro infrarrojo de la extracción 80/20 .....	37
<b>Figura 27.</b> Espectro infrarrojo FTIR del extracto 80:19:1 .....	40
<b>Figura 28.</b> Espectros infrarrojos FTIR de los dos extractos 80:20 y 80:19:1.....	42

## RESUMEN

El hongo de la marchitez *Fusarium oxysporum* Schltdl. (Hypocreales: Nectriaceae) es un agente fitopatógeno que afecta a numerosas especies vegetales, causando pérdidas económicas en la agricultura. El uso frecuente de fungicidas de síntesis química ha incrementado la resistencia de fitopatógenos, ocasionando la búsqueda de nuevas alternativas. El uso de extractos vegetales, ricos en compuestos fenólicos con propiedades antimicrobianas y antifúngicas, se promueve como una alternativa sostenible para controlar enfermedades. El cascalote *Libidibia coriaria* (Jacq.) Schltdl. (Fabaceae), que contiene altos niveles de polifenoles, ha sido reportado con propiedades antifúngicas. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el potencial biológico *in vitro* de extractos de cascalote (*L. coriaria*) contra *F. oxysporum*. Se realizaron extracciones de cascalote utilizando dos disolventes: metanol-agua (80:20) y metanol-agua-ácido láctico (80:19:1), y dos sistemas de extracción (maceración y ultrasonido). Además, se prepararon tres extractos crudos con etanol 100% (maceración 24 h y 15 días), y metanol-agua-ácido láctico. Para cada extracto se elaboraron distintas concentraciones, y se evaluó la actividad antifúngica usando la técnica de medio envenenado con 10 repeticiones por tratamiento. Los extractos de cascalote inhibieron el crecimiento micelial de *F. oxysporum*, el extracto purificado con metanol-agua (80:20) fue el más efectivo, con una inhibición del 63.5% a una concentración de 10,000 ppm y una concentración inhibidora del 50% (CI<sub>50</sub>) de 4,696 ppm. La caracterización FTIR de los extractos de vainas de cascalote obtenidos mediante ultrasonido mostraron la presencia grupos funcionales asociados a fenoles, taninos y flavonoides, los cuales han sido ampliamente reconocidos por su actividad antifúngica y podrían estar asociados en la inhibición del crecimiento de *Fusarium oxysporum*.

**Palabras Clave:** extractos vegetales, hongo fitopatógeno, FTiR, revalorización, compuestos fenólicos.

## I. INTRODUCCIÓN

El género *Fusarium* (Hypocreales: Nectriaceae) es responsable de innumerables crisis agrícolas, siendo parte de la inseguridad alimentaria en diversas regiones de México y en más de 32 países del mundo (Huarhua-Zaquinaula, 2018). El hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum* Schldl. (Hypocreales: Nectriaceae) es una especie saprofita, cosmopolita y presente en la mayoría de los suelos (Torres *et al.*, 2022), que causa daño a diversos cultivos de importancia agrícola y una de las enfermedades más difícil de controlar y con la capacidad de parasitar a más de 100 especies de plantas gimnospermas y angiospermas (Garcés-de Granada *et al.*, 2001). Este hongo afecta gravemente el cultivo del tomate, causando la marchitez vascular, cuyos daños en rendimiento en campo abierto e invernadero reportan pérdidas que ascienden hasta el 60-100% si no se le controla (Tucuch *et al.*, 2021). *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* se ha agrupado principalmente en tres razas fisiológicas (raza I, raza II, raza III) relacionadas a su capacidad para infectar grupos de cultivares en tomate, siendo la raza III las más devastadora (Huarhua-Zaquinaula, 2018).

Para combatir la enfermedad se han aplicado fungicidas de síntesis química. No obstante, el uso frecuente de estos ha incrementado la resistencia de patógenos en plantas causantes de enfermedades (Ghini y Hiroshi, 2000). Los extractos vegetales son una alternativa al uso de fungicidas sintéticos y pueden ser obtenidos de diversas partes u órganos de una planta: hojas, tallos, raíces, corteza y frutos. Su importancia radica en la concentración y tipo de metabolitos secundarios presentes, y que puedan ejercer cierta actividad contra algún patógeno (Hernandez *et al.*, 2007). El “cascalote” *Libidibia coriaria* (Jacq.) Schldl (Fabaceae), es una especie distribuida en México, América Central y el Caribe de crecimiento tipo arbustivo, utilizada principalmente como curtiente de pieles debido a su alto contenido de taninos y como una fuente de materia prima en colorantes (Cordero *et al.*, 2023). Se ha reportado que contiene compuestos bioactivos como flavonoides, alcaloides, glucósidos, saponinas y antraquinonas, a los cuales se les atribuye actividad antimicrobiana (Pitre Ruiz *et al.*, 2021). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el potencial biológico *in vitro* de extractos purificados de cascalote contra *F.*

*oxysporum*. Adicionalmente, se realizó la caracterización e identificación de grupos funcionales mediante espectroscopia infrarroja por transformada de fourier FTIR.

### **1.1. Justificación**

El uso irracional de pesticidas genera daño al ambiente y a la salud de los productores, además, de la pérdida de efectividad como estrategia de control y desarrollo de resistencia en algunos fitopatógenos. *F. oxysporum* es el hongo causante de la marchitez en plantas vasculares y otras enfermedades de la raíz, foliares y fruto, siendo una de las enfermedades de más difícil control debido los daños causados, ya que las pérdidas ascienden hasta un 90-95%. Además de esto, las esporas de *F. oxysporum* pueden permanecer por largos periodos en el suelo a la espera de condiciones para poder germinar en algún hospedero haciéndolo un patógeno saprofito ubicuo, capaz de crecer en diferentes sustratos y hospederos como: plantas, animales y humanos.

En la búsqueda de alternativas efectivas para el control de hongos fitopatógenos, sin efectos negativos a la salud humana y animal o resistencia de fitopatógenos y riesgos al ambiente, surgen como alternativa los extractos vegetales. El cascalote es una especie vegetal que presenta una diversidad de compuestos bioactivos con actividad antimicrobiana, cuyo material vegetal actualmente es poco aprovechado haciendo disponible una gran cantidad esta materia prima vegetal como es la vaina (fruto) para su aprovechamiento como fuente de compuestos ricos en polifenoles.

La obtención de estos compuestos y evaluación del potencial biológico *in vitro* como potencial antifúngico puede dar apertura al desarrollo posibles investigaciones sobre compuestos de interés que pudiesen estar presentes con fines en diversas investigaciones. Finalmente, el desarrollo de un proceso de extracción puede revalorizar el aprovechamiento de este material vegetal, dándole un valor agregado debido a las propiedades biológicas presentes, incrementando su valor en el mercado y ampliando sus usos en diversas aplicaciones o fines más específicos debido al amplio espectro que presentan los compuestos de esta especie.



## **1.2. Hipótesis**

La aplicación *in vitro* de extractos hidrometanólicos de cascalote inhibirá el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* al menos en un 50%.

## **1.3. Objetivo general**

Evaluar el potencial biológico *in vitro* de extractos de cascalote (*Libidibia coriaria*) contra *Fusarium oxysporum*.

## **1.4. Objetivos específicos**

1.4.1. Obtener extractos de cascalote mediante ultrasonido

1.4.2. Evaluar el potencial biológico *in vitro* de los extractos de cascalote contra *F. oxysporum*.

1.4.3. Caracterizar el perfil de compuestos bioactivos del extracto mediante FTIR.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

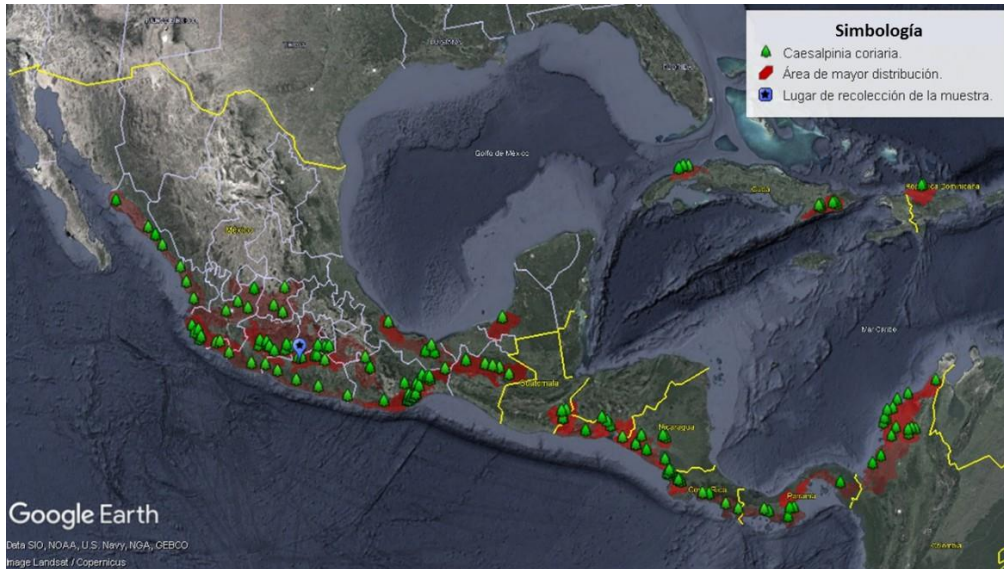
### 2.1. Generalidades sobre el cascalote (*Libidibia coriaria*)

*Caesalpinia* es el género dedicado por Carlos Linneo a el naturalista botánico, médico y filósofo Andrea Caselpinio (1509-1603) (Ulibarri, 2008) y del epíteto “coriaria” del latín: corium=cuero, haciendo referencia a las cantidades de taninos presentes en esta especie, usada para curtir el cuero (Muñoz *et al.*, 2012). También es comúnmente conocida como: cascalote, dividivi o nacazcalotl en náhuatl de la palabra nacaz (tli), haciendo referencia a una oreja, y cólotl, encorvado: así por la forma del fruto (Enciclopedia Guerrerense, 2020). En diversas regiones, se puede encontrar con diversas especies forestales y no se considera una especie silvestre en riesgo por la SEMARNAT (Mora Santacruz *et al.*, 2018).

### 2.2. Distribución, hábitat y origen

El cascalote *Caesalpinia coriaria* es una especie nativa de México y el Caribe extendiéndose hasta Colombia y Venezuela (Manuel Pablo, 2018). Se encuentra distribuida principalmente en los estados del Noroeste y sur de México (Guerrero, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Sinaloa, Colima, Jalisco, Nayarit) y algunas otras regiones de Centroamérica, Las islas del Caribe e inclusive llegando a regiones de Colombia (Cordero *et al.*, 2003). Se ha reportado esta especie en bosques tropicales estacionalmente secos o semisecos (Manuel Pablo, 2018).

Esta especie también ha sido introducida en algunos países o islas del mundo tropical principalmente India, Mauritius, Malawi registrada como invasora y sin reportes o de evidencia de impacto (GBIF, 2022).



**Figura 1.** Distribución de *L. coriaria* en México- Centroamérica. Fuente: Elaboración propia basada en GBIF, 2022; CONABIO, 2021.

## 2.3 Botánica

### 2.3.1 Taxonomía

Reino: Plantae

Phylum o división: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Leguminosae

Género: *Libidibia*

Especie: *coriaria*

### 2.4. Ecosistema

Esta especie forma rodales ya sea puros o mixtos con otras plantas nativas silvestres, y se encuentra así en diferentes ecosistemas: matorrales, bosque seco, pocas veces en bosques caducifolios y regiones de la zona pacífica, creciendo de entre 0-600 a 1,599 msnm (Quezada *et al.*, 2010).



**Figura 2.** Árbol de cascalote (Fotos tomadas en San Miguel Totolapan, Guerrero).

### **2.5. Descripción morfológica**

Es una especie arbustiva de tipo silvestre de hasta 11 m de altura, corteza escamosa y tronco con estructura irregular y acanalada o en forma de costilla, con un diámetro en tronco de 45 cm aproximadamente (Figura 3). Su temperatura optima de desarrollo es de 24 a 28 °C. La madera de esta especie es muy dura y de color café rojizo (Mora Santacruz *et al.*, 2018).

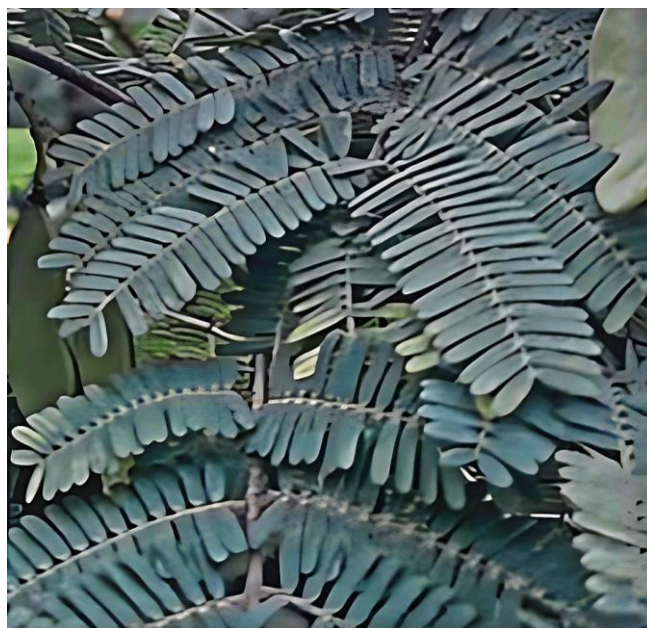


**Figura 3.** Corteza y tronco del arbol de cascalote (Fotos tomadas en San Miguel Totolapan, Guerrero).



### 2.5.1. Características de la hoja

El cascalote posee hojas pequeñas de tipo compuestas: pinnadas de 10 a 15 cm de longitud, con 3 a 10 pares y una pinna en la parte terminal presentando de 10 a 28 pares de folíolos de 4 a 8 mm de longitud y 1 a 1.5 mm de ancho (Cordero *et al.*, 2003); y de tipo helicoidales, alternas, pinnadas de raquis de tipo veloso, con 5 a 7 pares de pinnas y folíolos de características oblongas de 10 x 3 mm (Mora Santacruz *et al.*, 2018) (Figura 4).



**Figura 4.** Hojas de cascalote (Fotos tomadas en San Miguel Totolapan, Guerrero).

### 2.5.2. Características de la flor y fruto

Contiene racimos pequeños y cortos, cada flor de tamaño pequeño de un color crema o verde pálido. El fruto (vaina) es de color café oscuro, duro e indehiscente, de forma aplanada, curvada o enroscada, de 3-6 cm de largo por 2 cm de ancho (Figura 5) y contiene de 3-8 semillas de forma ovalada plana (Quezada *et al.*, 2010).





**Figura 5.** Flor y fruto (vaina) de cascalote. Fotos tomadas en San Miguel Totolapan, Guerrero).

### **2.5.3 Características de la semilla**

Las semillas de esta especie presentan forma elipsoide o reniforme, tienen un tamaño de 6 a 7 mm de largo por 4.92 mm de ancho y presentan una coloración café brillante y una envuelta exterior comprimida (Mora Santacruz *et al.*, 2018). Presenta la peculiaridad de tolerar la desecación a través de procesos fisiológicos que le sirven para permanecer en un estado de latencia para su posterior germinación, consideráda una semilla ortodoxa (Castillo Lorenzo *et al.*, 2022).



**Figura 6.** Fruto (vaina) y semilla de cascalote.

## **2.6. Importancia**

Su importancia radica desde finales el siglo XIX, donde la utilización del cascalote fue una de las materias primas más utilizadas como curtiente (De León, 2023). En diversas regiones de México, en la actualidad se le sigue dando uso en la curtiduría de las pieles de animales debido a un alto contenido de taninos (Mora Santacruz *et al.*, 2018).

Las semillas de cascalote son utilizadas en la elaboración de cerveza. La materia prima principal es la malta a partir de la semilla, obteniendo un producto característico en olor, color y sabor único siendo así está una alternativa de innovación en el mundo de las cervezas artesanales (Dávalos Duarte *et al.*, 2020).

## **2.7. Industria textil**

En la región de Tierra Caliente en el estado de Guerrero, los frutos y corteza de esta especie son utilizados para la elaboración de tintas roja y negra para teñir telas. También en la parte del curtido de pieles de animales tiene un papel importante debido a que cuenta con propiedades astringentes. Esta materia prima se comercializa a curtidores de pieles que se encuentran en la parte centro de la República Mexicana principalmente los estados de Guanajuato y Jalisco en la industria del calzado (Enciclopedia Guerrerense, 2020).

## 2.8. Forraje

Las especies arbóreas que pertenecen a la familia Leguminosae tienen un amplio reconocimiento por parte de los ganaderos como una fuente de alimento muy importante para el ganado, principalmente de interés el fruto en tiempo de seca o escasez, y en época de lluvias el forraje. Se ha reportado que el cascalote tiene un alto valor debido a que tienen un alto contenido de proteína en forraje, su disponibilidad de frutos en estaciones de seca, lo hacen un recurso sumamente importante en la ganadería extensiva y también para la fauna silvestre (Mora Santacruz *et al.*, 2018).

## 2.9. Propiedades y compuestos bioactivos del cascalote

El cascalote es una leguminosa arbórea con diversos usos, desde medicina tradicional por sus propiedades antiinflamatorias y antisépticas, empleado contra enfermedades gastrointestinales por su actividad antibacteriana, ya que ha demostrado efecto contra bacterias gram (+) y gram (-) que llegan a presentar resistencia a múltiples fármacos. Se ha reportado la actividad anticancerígena de extractos de hojas de *C. coriaria*, asociada a la presencia de galato de etilo, stigmasterol y ácido gálico (García Hernández *et al.*, 2019). Asimismo, Mora Santacruz *et al.* (2018) mencionan que los frutos son una fuente de taninos, con hasta un 35.5% de hidrolizables y 10.4% de condensados. De Jesús Martínez *et al.* (2020) realizaron extracciones hidroalcohólicas de *Caesalpinia coriaria* donde identificaron compuestos como el galato de etilo y galato de metilo. Además del galato de etilo, se ha reportado la presencia de ácido gálico en extractos hidroalcohólicos de hojas de cascalote, mientras que en el fruto maduro se encontró galato de metilo por HPLC (García Hernández *et al.*, 2022)

Pitre Ruiz *et al.* (2021) realizaron una extracción por Soxhlet empleando etanol y metanol al 98%, y dentro del perfil fitoquímico reportado identificaron metabolitos secundarios del grupo de los flavonoides, taninos, glucósidos, alcaloides, saponinas y antraquinonas. Otros autores reportan la presencia de vitaminas (B1, B3 y B5), fenoles (ácido elágico y ácido siríngico, y en menor concentración catecol, ácido cafeico y el ácido cinámico) y flavonoides (quercetina y hesperidina, y en menor

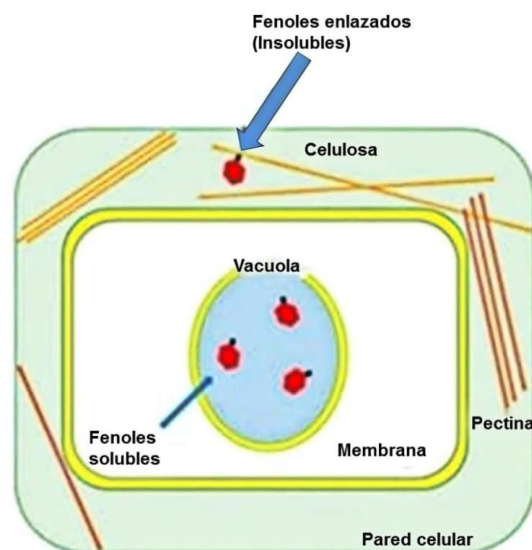
concentración luteolina, kaempferol y naringina) en extractos acuosos de cascalote identificados por HPLC (Hernández Ruiz *et al.*, 2024).

### 2.10. Actividad antifúngica

La actividad antifúngica de los compuestos polifenólicos está relacionada con la capacidad que estos tienen para lograr inhibir el crecimiento, respiración, reproducción, y diversas funciones vitales en el organismo. Esta acción se realiza mediante la oxidación de enzimas específicas, logrando inhibir la función vital. Se ha reportado que los compuestos polifenólicos pueden unirse a las cadenas de ADN, logrando interrumpir la reproducción o síntesis de diversas proteínas y elementos vitales en organismos (Martín Gordo, 2018).

### 2.11. Biodisponibilidad de los compuestos fenólicos en células vegetales

Los compuestos fenólicos no están distribuidos de manera uniforme en la mayoría de plantas a nivel celular, subcelular y tisular. Por ello, se pueden encontrar de manera soluble (libres y conjugados) e insoluble (enlazados), unidos con enlaces covalentes a azúcares o algunos otros compuestos estructurales en la pared celular (Figura 7). La fracción insoluble forma parte de la pared celular, mientras que la soluble se encuentra en las vacuolas de la célula vegetal (Capistran Carabarán *et al.*, 2019).



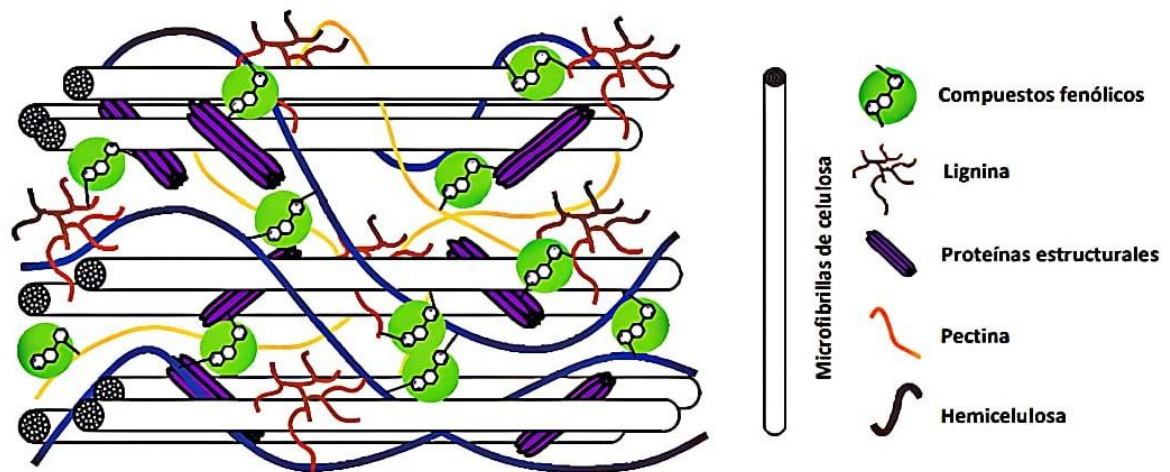
**Figura 7.** Localización de los compuestos fenólicos en la célula vegetal. Fuente:( Capistran Carabarin *et al.*, 2019).

### 2.12. Compuestos fenólicos solubles

Son compuestos de bajo peso molecular su tamaño oscila entre 500 y 5,000 Da (Valencia Avilés *et al.*, 2017) que generalmente se pueden almacenar en vacuolas de las células vegetales. Algunas formas solubles conjugadas o esterés las podemos encontrar de forma esterificada con moléculas de azúcar (Perea *et al.*, 2018), de fácil extracción solido-líquido ya sea utilizando técnicas de extracción convencional (maceración) o más avanzadas (ultrasonido), así como solventes orgánicos: etanol, metanol, cetona o algunas mezclas de diferentes solventes (Herrera Pool *et al.*, 2019), de los cuales el metanol es un excelente solvente para obtener buenos rendimientos de extracción (Salinas Flores *et al.*, 2019).

### 2.13. Compuestos fenólicos no solubles

Son compuestos que pueden ser de alto o bajo peso molecular, que se encuentran generalmente asociados a estructuras de pared celular mediante enlaces covalentes, puentes de hidrógeno e interacciones hidrofóbicas (Figura 8). La forma más común para liberar estos compuestos es mediante hidrólisis ácido o alcalina (Herrera Pool *et al.*, 2019; Perea Domínguez *et al.*, 2018).



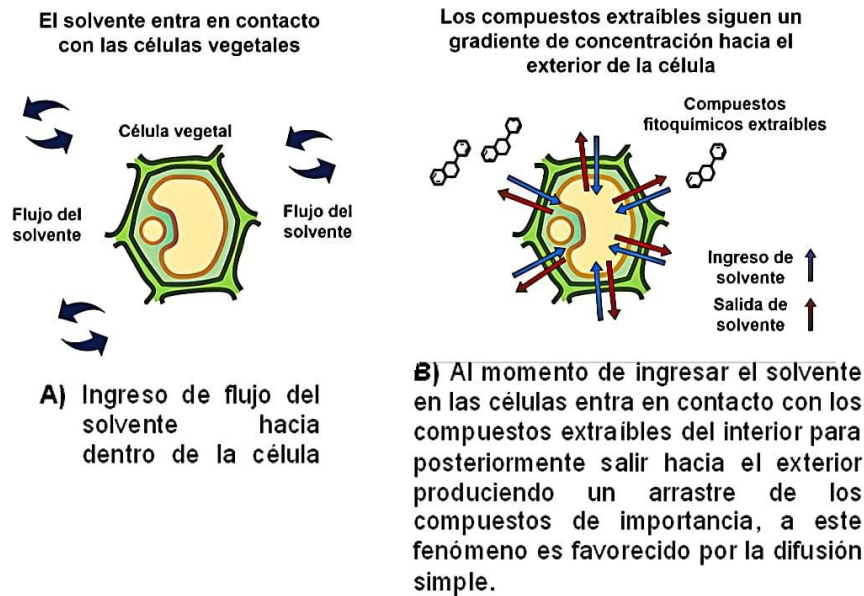
**Figura 8.** Representación de la unión de compuestos fenólicos con las estructuras de la pared celular de la célula vegetal. Fuente: Herrera Pool *et al.* (2019) y Perea Domínguez *et al.* (2018).



Las paredes secundarias de la célula vegetal se caracterizan porque se encuentran presentes en células que han dejado de crecer. Poseen moléculas complejas como ceras, suberinas, celulosa, y lignina. La lignina es un polímero aromático que se encuentra de manera abundante en la naturaleza y entre el 15 y 40% en paredes secundarias de la célula (Cerdeja Mejía, 2016). En algunas excepciones, las ligninas no existen en la pared primaria y se encuentran constituidas por la polimerización de fenoles formada por la vía enzimática fenilpropanoide (Piñol *et al.*, 2008). Se conoce que la lignina se sintetiza cuando los depósitos de la pared celular secundaria comienzan presentando enlaces C-C, éster, éter. La diversidad de enlaces es enorme, por lo que la variación de moléculas de ligninas llega a ser impredecible, existiendo muchos fenoles glicosilados. Las ligninas tienen la capacidad de unirse covalentemente a moléculas de celulosa, hemicelulosa y algunas proteínas estructurales de la pared celular (Cardemil *et al.*, 2007).

#### **2.14. Metodologías de extracción de compuestos polifenólicos**

En su gran mayoría se utilizan solventes orgánicos como etanol, metanol, hexano y acetona. Sin embargo, es importante considerar otros factores como la temperatura, ya que un valor elevado puede degradar los compuestos, afectando la eficiencia de extracción (Segovia Gómez *et al.*, 2013). La extracción sólido-líquido consiste en disolver una muestra de componentes o grupos de componentes de una matriz sólida (solute) en un solvente líquido adecuado y afín al soluto para obtener un compuesto soluble (Ullauri, 2010).



**Figura 9.** Diagrama de extracción sólido-líquido en material vegetal.

Dentro de las técnicas de extracción (Cuadro 1), destaca el uso convencional de la maceración, aunque recientemente se ha optado por otras tecnologías verdes como el ultrasonido.

**Cuadro 1.** Técnicas ampliamente utilizadas para la extracción de compuestos bioactivos.

Convencionales	No convencionales
Maceración	Ultrasonido
Soxhlet	Microondas
Hidrodestilación	Líquidos presurizados
Infusión	Fluidos supercríticos
Agitación	Extracción enzimática
Percolación	

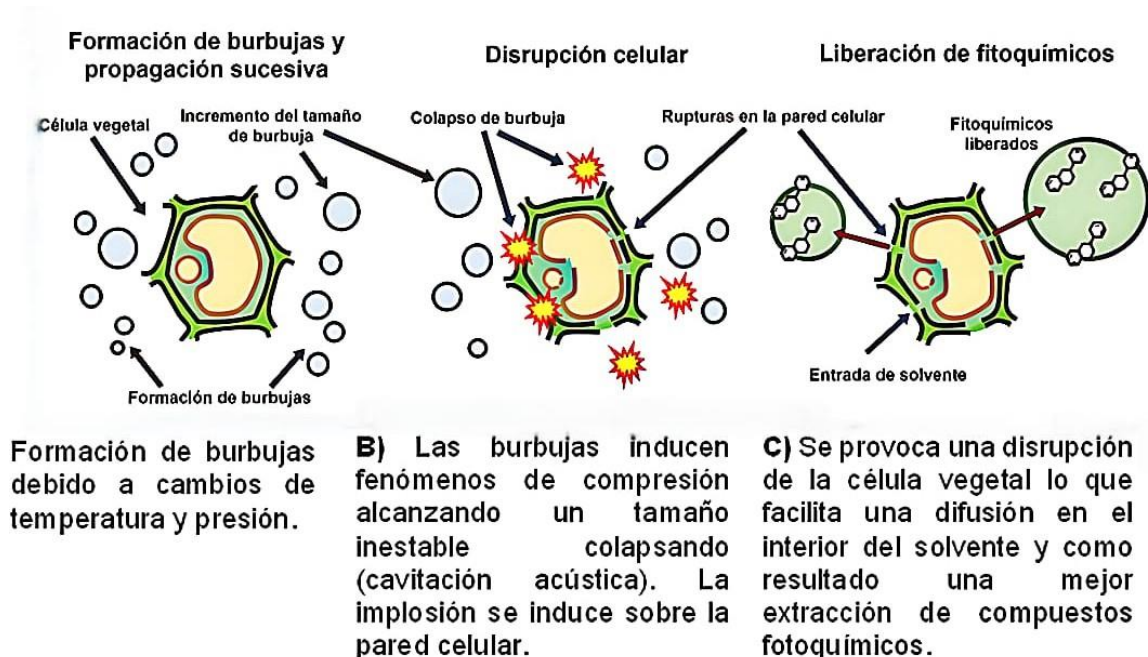
Fuente: Arana Torres (2021); Tarazona Díaz *et al.* (2020); Wong Paz *et al.* (2020).

### **2.15. Maceración**

Esta extracción se realiza a temperatura ambiente protegiéndose de la luz. Consiste en poner a remojar el material vegetal (preferente molido) en el solvente (etanol, metanol, agua, etc.), este último penetrará logrando disolver diversas porciones solubles. Esta mezcla se deja en reposo (desde 24 h hasta 15 días) con movimiento esporádico (puede ser agitación) para posteriormente filtrar, obteniendo una fracción sólida y líquida (Amaguaña y Churuchumbi, 2018).

### **2.16. Extracción asistida por ultrasonido**

Esta técnica verde es simple, versátil, con gran eficiencia de extracción y permite el uso de volúmenes muy pequeños de solvente o incluso eliminar el uso de solventes orgánicos. Es un tratamiento físico, selectivo y con alto rendimiento, además de ser amigable con el medio ambiente (Ramón & Gil Garzón, 2021). Este tipo de extracción se basa en el uso de sonido de alta frecuencia, con el fin de obtener el compuesto del material vegetal, las partículas del soluto (sólido) y solvente (líquido) vibran acelerándose a través de la acción ultrasónica, y el soluto (sólido) pasa a la fracción del solvente rápidamente (Figura 10). La irradiación sónica puede ser de manera directa (sonda-muestra) o indirecta (baño ultrasónico) (Medina Torres *et al.*, 2017). Los fenómenos físicos pueden afectar la extracción de sustancias a través de la sonicación, dependiendo si las sustancias de interés se encuentran en algunas células externas o internas de un tejido (Azuola & Vargas, 2007).



**Figura 10.** Esquema del proceso de extracción asistida por ultrasonido en una matriz vegetal. Fuente: Herrera-Pool *et al.* (2019).

Es de suma importancia reducir el tamaño de partícula de la muestra vegetal para ir incrementando el área de exposición muestra-solvente y el efecto causado por la cavitación, la cual genera micro burbujas en el medio líquido y como resultado la formación ininterrumpida de muchas micro burbujas las cuales implosionan, colapsando violentamente para después volver rápidamente a su estado original (Medina Torres *et al.*, 2017). Dicha implosión implica la liberación de energía acumulada, ocasionando aumento de temperatura de manera instantánea. Esta energía afecta la estructura celular en el micro entorno alterando propiedades físicas y químicas dando como resultado la liberación de compuestos de importancia a extraer (Ramón & Gil Garzón, 2021).

### 2.17. Variables en el proceso de extracción

La eficiencia del proceso de extracción dependerá de las condiciones del proceso, la preparación del sólido (soluto) y su respectivo tamaño de partícula (trituración y molienda de las muestras), tipo de disolvente a utilizar, temperatura, tiempo de

extracción, y la exposición a la luz en caso de compuestos fotosensibles (Ramón & Gil Garzón, 2021; Roa Cáceres *et al.*, 2023).

La temperatura y el tiempo son sumamente importantes, ya que se ha reportado que largos periodos de extracción pueden llegar a provocar la oxidación de los compuestos fenólicos, lo cual puede disminuir el rendimiento dentro del proceso. Otro aspecto a considerar es el punto de ebullición del solvente empleado, así como el punto de temperatura de degradación del compuesto de interés (Ramón & Gil Garzón, 2021).

La solubilidad de los compuestos polifenólicos esta mediada por su naturaleza química de la muestra donde se extraerán y la polaridad de los diferentes disolventes a utilizar. Las muestras de material vegetal pueden contener compuestos como los ácidos fenólicos (simples), y taninos (altamente polimerizados) en diferentes proporciones, por lo que es difícil estandarizar un proceso único de extracción debido a las infinitas variables que se pueden presentar (Ramón & Gil Garzón, 2021).

Los disolventes ocupan un papel importante en diversos sectores que involucran una cantidad infinita de procesos de fabricación, principalmente en la industria química, siendo sustancias consideradas como versátiles utilizadas para disolver compuestos (solutos) y así mismo también facilitan reacciones químicas (Aguirre Domínguez, 2023). En base a la distribución de sus moléculas (configuración electrónica), los podemos encontrar como: polares (proticos y aproticos) y apolares también conocidos como (no polares) además de sus diferentes características únicas que presentan.

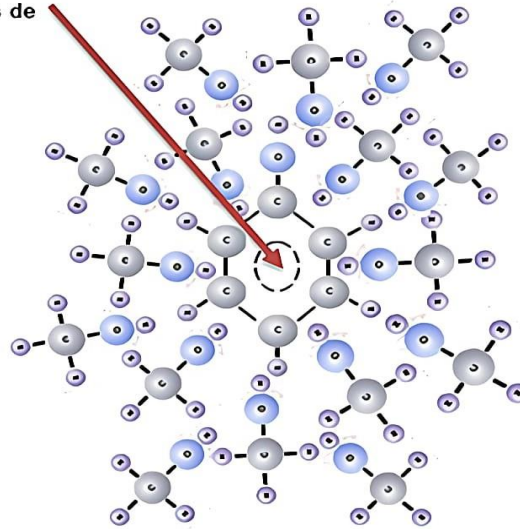
### **2.18. Disolventes polares**

Presentan la característica de poseer una distribución asimétrica de su nube electrónica (Aguirre Domínguez, 2023) (una separación en el extremo una carga positiva y en el otro una carga parcialmente negativa), teniendo un dipolo permanente presentando afinidad con compuestos polares debido a las cargas puestas que presenta (Figura 11), lo que le permite interactuar y disolver diversas



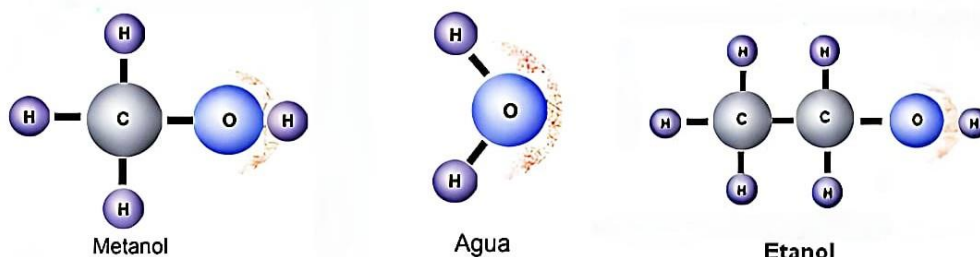
sustancias ya sean iónicas y polares, así como, ácidos y bases y sales (Morales y Vázquez, 2013).

El disolvente (metanol) rodeando la molécula de fenol simple en base a su polaridad, formando puentes de hidrogeno para su arrastre.



**Figura 11.** Representación molecular del arrastre producido por metanol a una molécula simple de fenol. Fuente:(Núñez, 2008).

Ejemplos de diferentes disolventes polares: agua, etanol, metanol, isopropanol, acetona, acetonitrilo, dimetilsulfoxido (DMSO), dimetilformamida (DMF) (Figura 12).



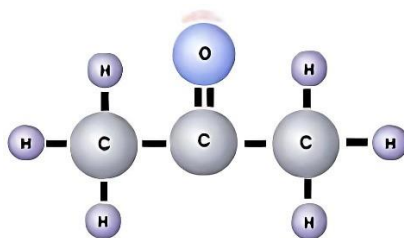
**Figura 12.** Estructuras de disolventes polares proticos de las moléculas. Fuente: (Núñez, 2008)

### 2.19. Disolventes polares proticos

Se caracterizan por tener por lo menos un átomo de hidrogeno que se encuentra unido de manera directa a un átomo electronegativo (H-N, H-O), se consideran buenos disolventes para compuestos iónicos (sales) por su capacidad de poder formar enlaces de hidrogeno con aniones y teniendo los pares de electrones no enlazantes en el átomo de nitrógeno u oxigeno interaccionando con los cationes a los que recibe el nombre de ion-dipolo. Ejemplos: metanol, agua, ácido acético, amoniaco, etanol, etc. (Morales y Vázquez, 2013).

### 2.20. Disolventes polares apróticos

Se caracterizan porque no poseen átomos de hidrogeno que se encuentren unidos directamente a un átomo electronegativo. Pueden estabilizar muy bien los cationes (+) en cambio no los aniones (-). Un ejemplo de este grupo es la acetona (Figura 13) (Morales y Vázquez, 2013).



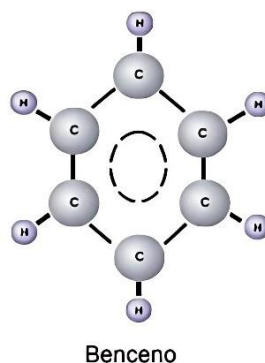
Acetona

**Figura 13.** Estructura de un disolvente polar aprótico: acetona. Fuente: (Núñez, 2008).

### 2.21. Disolventes no polares o apolares

Poseen una distribución simétrica de su nube electrónica (careciendo de una distribución en sus cargas eléctricas) y sus polos no están bien definidos. Por lo tanto, carecen de un dipolo permanente (Aguirre Domínguez, 2023). Asimismo, presentan afinidad por compuestos no polares o que presentan poca polaridad, interactuando con compuestos cuya distribución de carga se encuentra de manera más uniforme. No obstante, su uso se ve limitado como solventes de sustancias

iónicas o altamente polares. Un ejemplo de estos disolventes es el benceno (Figura 14) (Morales y Vázquez, 2013).



**Figura 14.** Estructura del benceno, un disolvente no polar o apolar (Núñez, 2008).

Otros aspectos a considerar a la hora de elegir el solvente de extracción adecuado se enlistan en el cuadro 2 (Chapa Barrios, 2023).

**Cuadro 2.** Consideraciones importantes para tomar en cuenta al momento de seleccionar un solvente a utilizar.

Características para elegir un solvente	Consideraciones
Selectividad	El disolvente debe ser selectivo y afin con el compuesto bioactivo para llevar a cabo un buen arrastre.
Reactividad	El disolvente no debe presentar reactividad química con algunos otros compuestos que pueda contener el extracto.
Punto de ebullición	Un punto bajo permite eliminar el disolvente de extracción.
Viscosidad	El disolvente debe tener baja viscosidad ósea líquido fluido y no líquido espeso.

Costos	Que no sean altos.
Seguridad	El disolvente debe ser lo menos tóxico, inflamable o corrosivo y de ser preferente en lo absoluto para reducir el impacto al medio ambiente y salud en humanos.
Recuperación	Es importante para una correcta separación y recuperación del disolvente.
Presión de vapor	Una presión de vapor baja y así evitar la pérdida de solvente por evaporación al momento de realizar la extracción.

---

## **2.22. Uso de extractos de plantas en la agricultura**

En la agricultura el uso de pesticidas de manera indiscriminada en la agricultura ha sido una de las prácticas que ha causado contaminación ambiental, incluyendo problemas de salud humana y generando la resistencia en patógenos. En la búsqueda de diversas alternativas para la disminución del impacto generado por estos productos fitosanitarios utilizados en la agricultura, surgen el uso de plantas que contienen una amplia variedad de compuestos con actividad fungicida, bactericida, insecticida, y nematocida, siendo esta una excelente alternativa ante la problemática del control de plagas y enfermedades (Ferdin & Aguilar, 2015).

Se ha reportado que algunos extractos de plantas presentan actividad como estimuladores de desarrollo fisiológico y en otros casos como mecanismos de defensa contra diversas plagas y enfermedades (García-García, 2019).

En los últimos 25 años se han incrementado las investigaciones con respecto a los metabolitos secundarios, los cuales ejercen un control biológico directo contra diversas plagas y patógenos que atacan plantas o cultivos de importancia agrícola. De acuerdo a su mecanismo de acción, los extractos vegetales pueden actuar como repelentes o como biocidas o bioestáticos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Extractos vegetales y sus posibles mecanismos de acción.

<b>Tipo</b>	<b>Mecanismo</b>
Repelentes	Sustancias presentes en plantas que pueden ser no deseables para las plagas.
Biocidas o Bioestaticos	Sustancias que pueden matar o inhibir a un microorganismo por cierto periodo de tiempo.

El uso de extractos vegetales en la agricultura presenta diversas ventajas, como una rápida y eficiente acción, baja toxicidad en mamíferos, no generan resistencia, se pueden utilizar en agricultura orgánica y son biodegradables (Celis *et al.*, 2009; Neyra & Armas, 2018).

### **2.23. Estrategias de control de *F. oxysporum***

Existen múltiples formas de reducir la incidencia de las enfermedades causadas por *F. oxysporum*, como eliminar restos de cultivos, desinfectar herramientas y agua de riego, asegurar un buen drenaje del suelo, aplicar fungicidas, rotar cultivos, solarizar el suelo y seleccionar cultivares resistentes (De Lamo & Takken, 2020). Sin embargo, no existe una variedad que sea inmune a todas las enfermedades que ocasiona este fitopatógeno, ya que los mecanismos de resistencia se llegan a perder o modificarse en gran medida que los organismos van evolucionando.

### **2.24. Extractos vegetales como biofungicidas**

Si bien todas las especies vegetales contienen fitoquímicos, el tipo de compuestos y su concentración es diferente en cada planta. A los extractos vegetales y sus compuestos obtenidos se les evalúa su potencial biológico mediante diversos modelos biológicos in vitro o in vivo. En el caso de hongos el método de evaluación consiste en la exposición del organismo (hongo) a diferentes concentraciones de extracto en un medio agar papa dextrosa (PDA) (Mesa *et al.*, 2019).

En la búsqueda de alternativas más benéficas y confiables para el control de enfermedades en cultivos, el uso de extractos vegetales es considerada hoy en día una opción promisoriosa importante para contrarrestar los efectos negativos producidos por diversos microorganismos fitopatógenos, además de su bajo costo,

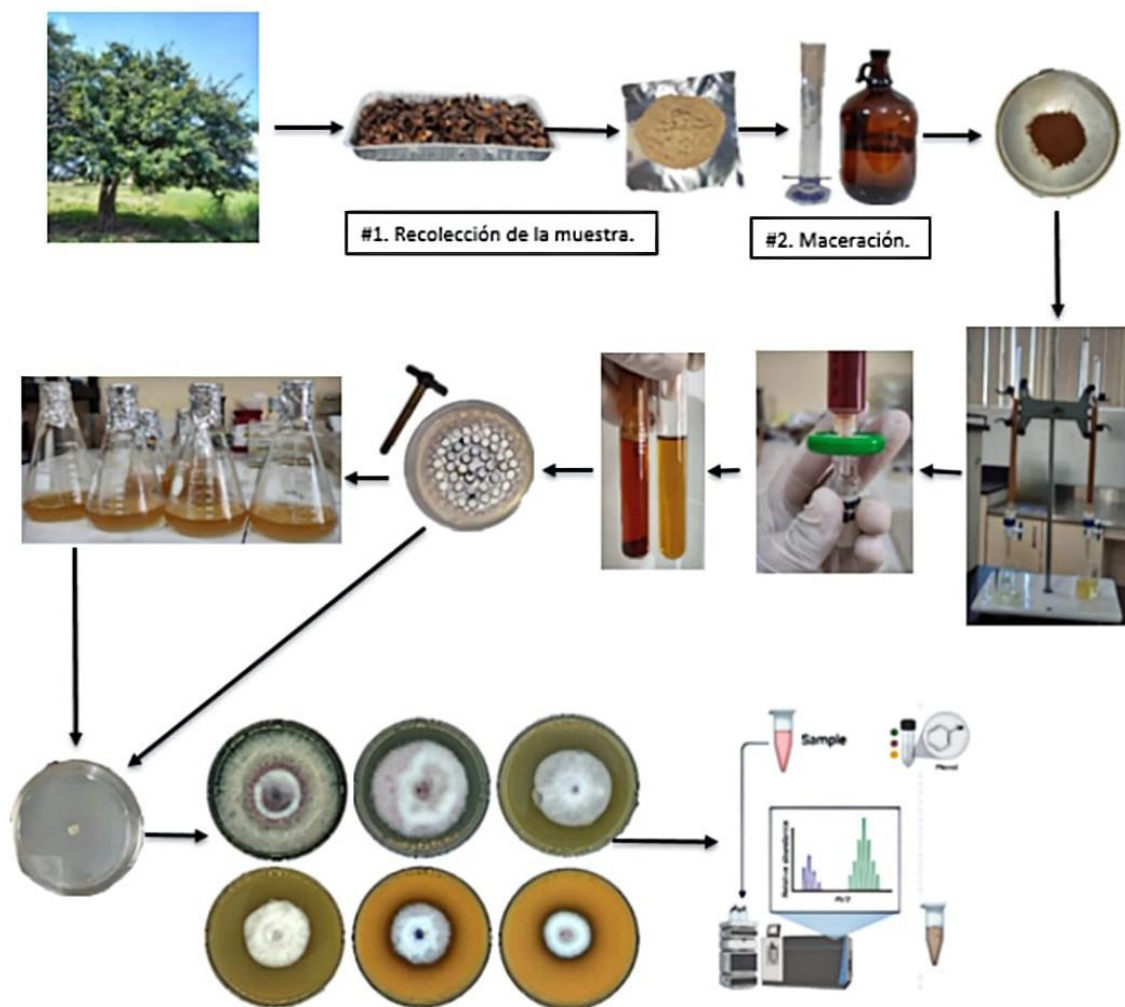
son amigables con el medio ambiente y producen un mínimo impacto en la salud en general (Villa Martínez *et al.*, 2015).

Los metabolitos secundarios de extractos vegetales pueden presentar diversos mecanismos de acción variables contra hongos. Tucuch et al. (2021) mencionan que los compuestos fenólicos ejercen un efecto tóxico sobre el microorganismo al ocasionar una inhibición enzimática debido a la oxidación de compuestos. En el caso de terpenos y algunos aceites esenciales, actúan rompiendo la membrana mediante la acción de compuestos lipofílicos. Los alcaloides por su parte, pueden intercalarse con el ADN logrando su degradación.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

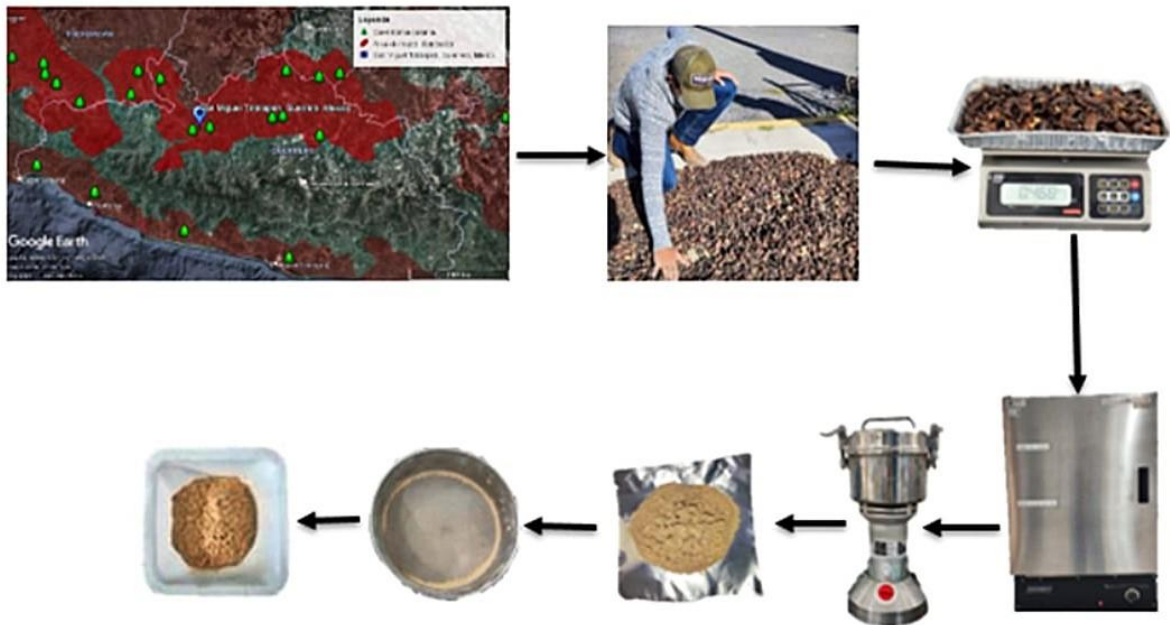
El proceso de extracción se realizó en seis etapas, tal como se muestra en la figura 15. Etapa I: Recolección y procesamiento del material vegetal. Etapa II: Extracción mediante maceración-baño ultrasónico de cascalote. Etapa III: Extracción de polifenoles mediante purificación por columna. Etapa IV: Caracterización del perfil de compuestos bioactivos. Etapa V: Aislamiento y crecimiento de la cepa *F. oxysporum*. Etapa VI: Evaluación del potencial biológico *in vitro* vs *F. oxysporum*.



**Figura 15.** Diagrama del proceso general de recolección, extracción, purificación, caracterización del potencial biológico *in vitro* y caracterización de compuestos bioactivos.

### 3.1. Recolección y procesamiento del material vegetal. Primera fase.

Las vainas de cascalote fueron recolectadas en el municipio de San Miguel Totolapan, Guerrero, México (Coordenadas 18°09'40"N 100°23'27"O), y se trasladaron al laboratorio de Biotecnología y Biología Molecular de la UAAAN. Se secaron al sol durante 48 h y posteriormente se colocaron en charolas de aluminio para deshidratar a 45-50°C durante 48 h en una estufa (Novatech®). Finalmente, el material fue triturado en un molino (Omend®) para obtener un polvo fino que se tamizó hasta obtener un tamaño de partícula de 250 µm (tamiz #60) (Figura 16).



**Figura 16.** Recolección, secado y molienda del fruto del cascalote.

### 3.2. Extracción mediante maceración-baño ultrasónico de Cascalote.

#### Segunda fase.

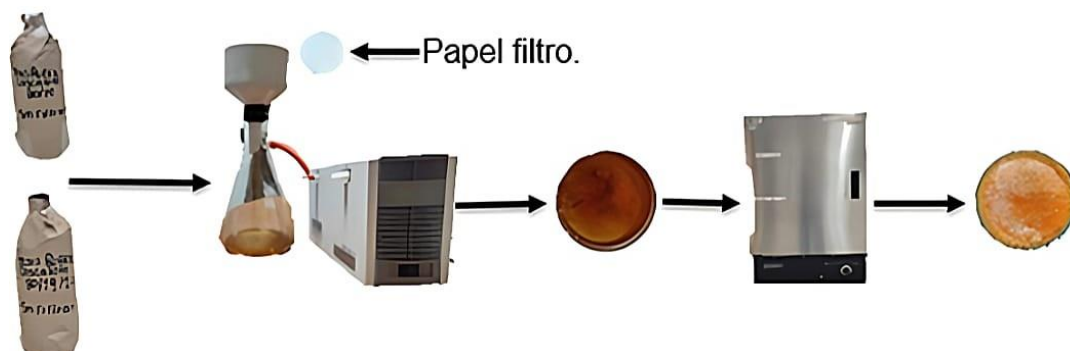
Para realizar las extracciones se emplearon dos mezclas de solventes metanol-agua 80:20 y metanol-agua-ácido láctico 80:19:1 (Figura 17). De las muestras secas en polvo se tomaron 100 g para cada solución de 1 litro preparada en una relación m/v de 1:10 en frascos de vidrio color ámbar (Olmedo-Juárez *et al.*, 2019). Se emplearon dos sistemas de extracción: ultrasonido y maceración. Para el primer sistema se utilizó un baño ultrasónico (CO-Z digital Ultrasonic Cleaner®) por 20 min

a 35 °C con una potencia de 40 KHz. Posteriormente, las muestras se dejaron reposar por 24 h a 4 °C (Mohana & Raveesha, 2006).



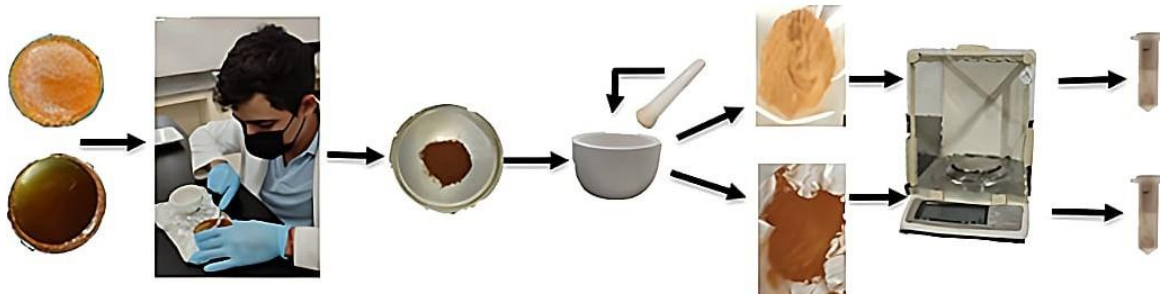
**Figura 17.** Extracción mediante maceración a) 80:20 metanol-agua y b) 80:19:1 metanol: agua: ácido láctico.

Una vez obtenidos los extractos, se filtraron (Whatman #4) para eliminar impurezas. Finalmente, se colocaron en la estufa (Novatech®) a 45°C para eliminar el metanol (Figura 18).



**Figura 18.** Filtrado mediante presión de vacío.

Los extractos fueron recuperados mediante un raspado y molienda en mortero hasta obtener un polvo fino (Figura 19). Se registró el peso para calcular el rendimiento, y se colocaron en tubos falcón protegidos de la luz para evitar su degradación.



**Figura 19.** Obtención del extracto crudo.

### **3.3. Purificación en columna de amberlita XAD-16N. Tercera fase**

Se realizó siguiendo el protocolo en dos fases (Ascacio-Valdés et al. 2010), una fase inmóvil o estacionaria utilizando la resina Amberlita™ XAD-16N y otra móvil (agua y etanol) la cual pasa a través de la fase estacionaria produciendo un arrastre de los compuestos polifenólicos. Para realizar este proceso se tomaron 5 g de la muestra en polvo resuspendiendo en 10 mL de agua destilada en una relación 1:2 m/v utilizando un agitador magnético para homogenizar. Se hizo un lavado con agua para eluir los compuestos solubles, y posteriormente se eluyó con etanol para recuperar la fracción rica en compuestos fenólicos, la cual se llevó a la estufa a 30 °C para evaporar el etanol y obtener un polvo que se almacenó en viales de 1.5 mL hasta su análisis (Figura 20).

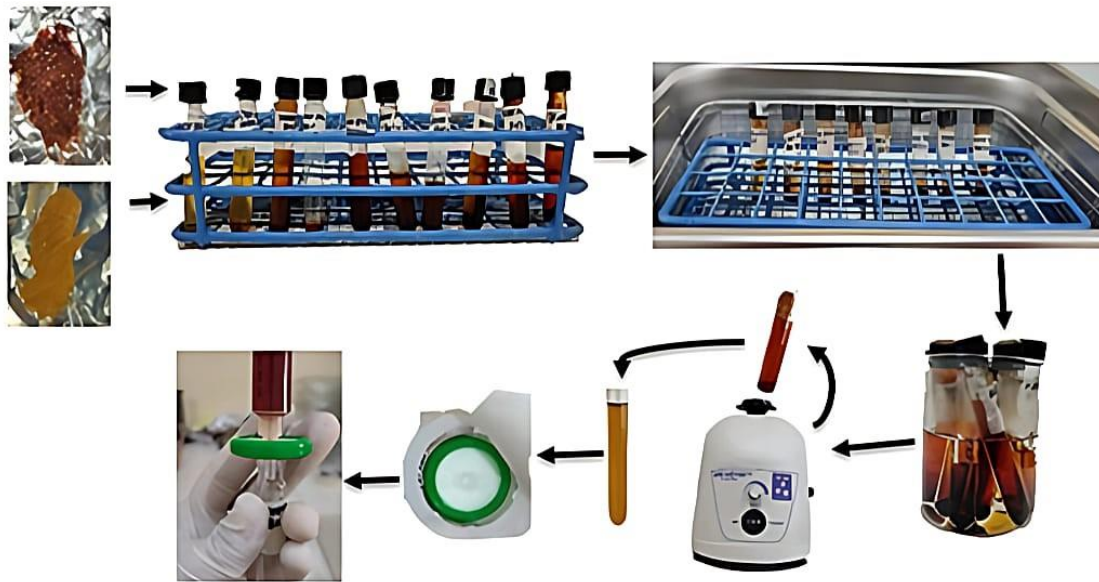


**Figura 20.** Extracción de polifenoles mediante cromatografía en columna.

### 3.4. Esterilización del extracto rico en polifenoles mediante de membrana hidrofílica.

Se utilizaron 12 viales de vidrio a los cuales se les agregaron 10 mL de agua destilada a cada uno. Se pesaron y resuspendieron en cada vial las cantidades necesarias de muestras de extractos secos purificados para los dos tratamientos a) 80:20 y b) 80:19:1 partiendo de sus respectivas concentraciones: 2,000, 4,000, 6,000, 8,000, 10,000 ppm (mg/L). Cada muestra se ultrasonizó mediante el equipo co-z digital ultrasonic cleaner® por 40 min a 45 °C con una potencia de 40 KHz. Posteriormente se utilizó un vortex para agitar por un minuto y homogeneizar el sobrenadante de la solución de cada vial (Fig. 21). Posteriormente, se esterilizaron mediante filtración empleando filtros de membrana de PES (Polietersulfona hidrofílica) de 30 mm de diámetro, 0.22 µm (Biomed Scientific®).





**Figura 21.** Esterilización mediante membrana hidrofílica.

### **3.5. Caracterización del perfil de compuestos bioactivos por espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR). Cuarta fase.**

El análisis fue realizado en un espectrómetro FTIR Agilent Cary 630® acoplado a una unidad accesorio de cristal de seleniuro de Zinc ATR (Reflectancia Total Atenuada). Se realizó la lectura utilizando el programa de PC MicroLab en un rango del espectro de 4000 a 500 utilizando un cíclico de 32 barridos con una resolución de 2 cm. Para la parte del análisis del espectro completo y los grupos funcionales se utilizó el programa Micro Lab Expert y la construcción de datos se realizó utilizando Origin-Pro 8.

### **3.6. Aislamiento de *F. oxysporum*. Quinta fase**

La cepa del hongo se adquirió del cepario del Laboratorio de Entomología Molecular y Alternativas de Control de Plagas (LEMyACP) en el Departamento de Parasitología de la UAAAN. Se obtuvo la raza III *F. oxysporum* f. sp. lycopersici.

### **3.7. Crecimiento de la cepa *F. oxysporum***

Para la evaluación de la actividad antifúngica primero se tomaron explantes de las cepas de hongos adquiridos del cepario en cajas Petri en medio PDA a una

temperatura de incubación a  $25 \pm 2$  °C en cámara de incubación-crecimiento (Yamato®) por  $\pm 5$  días (Figura 22).



**Figura 22.** Crecimiento de cepa *F. oxysporum*.

### 3.8. Evaluación del potencial biológico *in vitro* vs *F. oxysporum*. Sexta fase.

Para la evaluación se utilizó la técnica de medio de envenenado. Se utilizó medio PDA en base a las recomendaciones del fabricante (Bioxon®) y protocolos ya estandarizados de 39 g/L. Para la preparación se utilizó un matraz por cada concentración de extracto a evaluar, y se mezclaron 7.8 g de PDA con 190 mL de agua destilada, y 200 mL en los dos testigos (0). Se calentaron para solubilizar el agar y posteriormente se esterilizaron a  $121^{\circ}\text{C}/15$  min. Se agregaron 10 mL de la solución de extracto a las diferentes concentraciones (0, 2,000, 4,000, 6,000, 8,000, 10,000 ppm). Una vez homogenizado, se vació el medio en placas Petri (90 x 15 mm) y se dejó solidificar, antes de colocar un explante de 5 mm de *Fusarium oxysporum*. Las placas Petri se incubaron a  $25 \pm 2$  °C en cámara de crecimiento (Yamato®) y se tomaron mediciones del crecimiento radial cada 24 h del crecimiento micelial, en dos ejes (horizontal y vertical) del fitopatógeno, cada 24 h, hasta el llenado del testigo, utilizando como apoyo un calibrador (vernier) con compuesto digital (Titan®). Con los datos obtenidos se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial mediante la fórmula descrita por Orberá-Ratón *et al.*, (2009), tomando como 100% el crecimiento micelial y 100% de las esporas, del testigo (0 ppm):

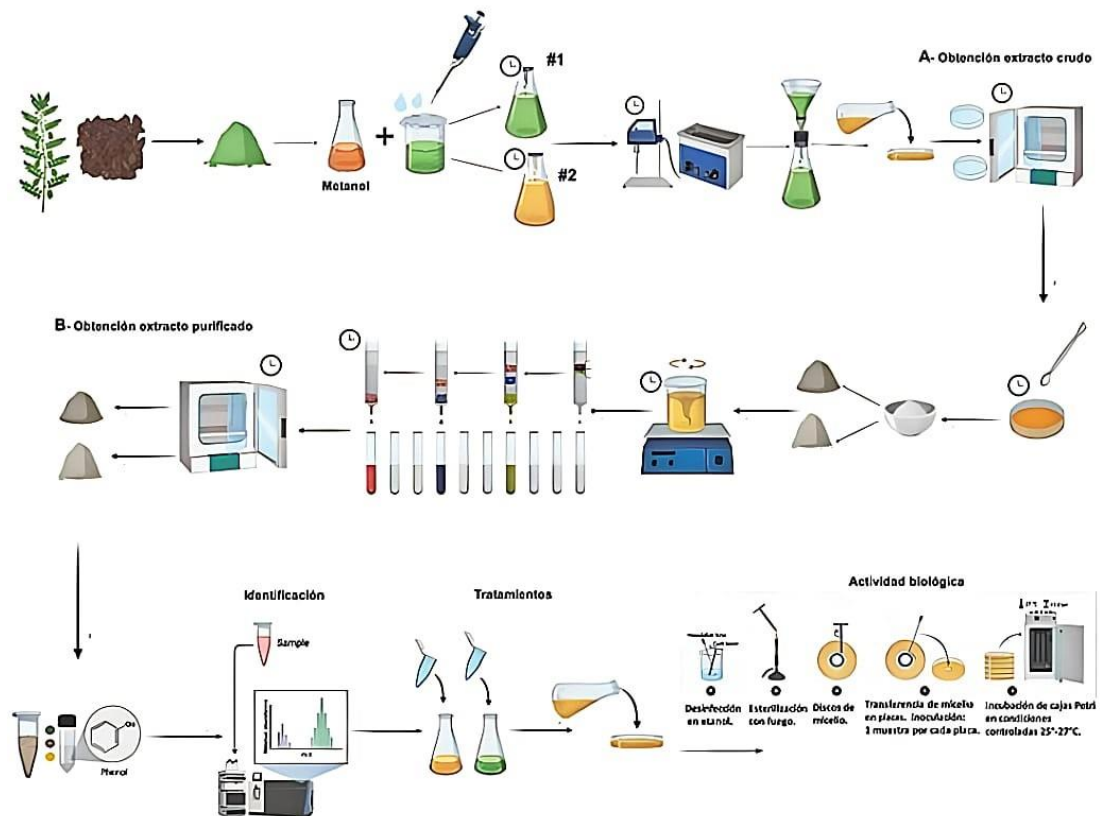
Donde:

PIR: es el porcentaje de inhibición del crecimiento radial

R1: representa el valor promedio del radio del crecimiento del hongo (testigo)

R2: es el valor promedio del radio de la colonia inhibida (tratamiento).

En la figura 23 se presenta un diagrama del proceso general de extracción de compuestos fenólicos semipurificados a partir de vainas de cascalote y su evaluación del potencial antimicrobiano contra *F. oxysporum*.



**Figura 23.** Diagrama completo del protocolo de extracción de compuestos fenólicos a partir de vainas de cascalote.

### **3.9. Diseño experimental**

Se evaluaron cada uno de los extractos metanólicos purificados in vitro sobre *F. oxysporum* en un diseño completamente al azar estableciendo diferentes concentraciones (2,000; 4,000; 6,000; 8,000; 10,000 ppm o mg/L) con un testigo sin extracto (0 mg/L) y 10 repeticiones por cada tratamiento reconocida como una unidad experimental una caja de Petri (medio envenenado).

### **3.10. Análisis estadístico**

Con los porcentajes de inhibición micelial se realizó un análisis Probit y se determinaron los valores de la concentración inhibitoria ( $IC_{50}$ ) y sus límites fiduciales al 95% de confiabilidad. Los datos de inhibición micelial expresados en porcentaje se transformaron por raíz cuadrada del arcoseno para su análisis. Para determinar el efecto de los tratamientos sobre la inhibición micelial, se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de los tratamientos con una prueba de rango múltiple de Tukey ( $P < 0.05$ ), empleando el software estadístico SAS 9.0 (SAS Institute Inc, 2002).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Rendimiento de polifenoles en las diferentes etapas del extracto crudo-purificado

En el cuadro 4 se observa el rendimiento obtenido de los dos extractos a) 80:20 y b) 80:19:1 en peso seco de: extracto crudo y extracto purificado. El mayor rendimiento se obtuvo en el extracto 80:19:1, con 1.495 g más que en el extracto 80:20.

**Cuadro 4.** Rendimiento de polifenoles a partir de 100 g de vainas de cascalote.

Muestra	Extracto crudo (g)	Extracto purificado (g)	Rendimiento (%)
a) 80:20	45.3032	11.2008	11.2
b) 80:19:1	43.3472	12.6951	12.6

### 4.2. Evaluación del potencial biológico contra *F. oxysporum*

En esta fase se emplearon los extractos obtenidos de vainas de cascalote para evaluar su potencial antifúngico contra el hongo fitopatógeno *F. oxysporum*. Como se aprecia en la figura 24, de todos los tratamientos, solamente los extractos 80:20 y 80:19:1 purificados presentaron un efecto antifúngico bajo las concentraciones evaluadas.

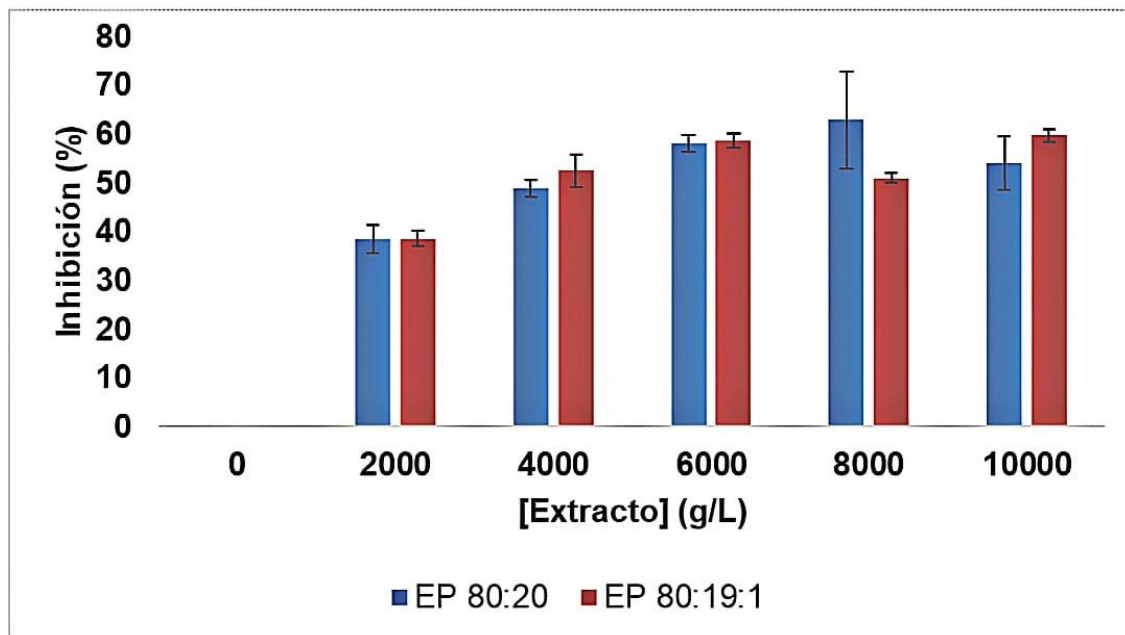




**Figura 24.** Diferencias de inhibición entre los tres extractos: 100% etanólico y los dos extractos purificados 80:20 y 80:19:1.

En la Figura 25 se muestra el efecto de la concentración de los extractos 80:20 y 80:19:1 purificados sobre la inhibición del crecimiento de *F. oxysporum*. Como se puede observar, la inhibición del hongo aumenta con respecto a la concentración de extracto, alcanzando los mayores valores entre los 4000 y 6000 mg/mL para

ambos extractos. Sin embargo, al aumentar la concentración de extracto, no se observa un aumento significativo de la inhibición.



**Figura 25.** Efecto de la concentración de extracto de purificado 80:20 y 80:19:1 sobre la inhibición del crecimiento de *F. oxysporum* a los 8 días.

A partir de los datos obtenidos para las diversas concentraciones de extractos evaluados, se determinó la cantidad de extracto necesario para inhibir el 50% del crecimiento de *F. oxysporum* definido como  $IC_{50}$ . Con base en los resultados (Cuadro 5), se presentaron valores de  $IC_{50}$  de  $4,741.34 \pm 161.99$  y  $3,498.77 \pm 180.20$  para los extractos 80:20 y 80:19:1, respectivamente. Lo anterior indica que el extracto 80:19:1 presentó un mayor efecto inhibitorio contra el hongo, comparado con el extracto 80:20, lo cual podría estar asociado a los grupos funcionales de los fenoles, taninos y flavonoides.

**Cuadro 5.** Valores de IC<sub>50</sub> para los extractos purificados de vainas de cascalote contra *F. oxysporum*.

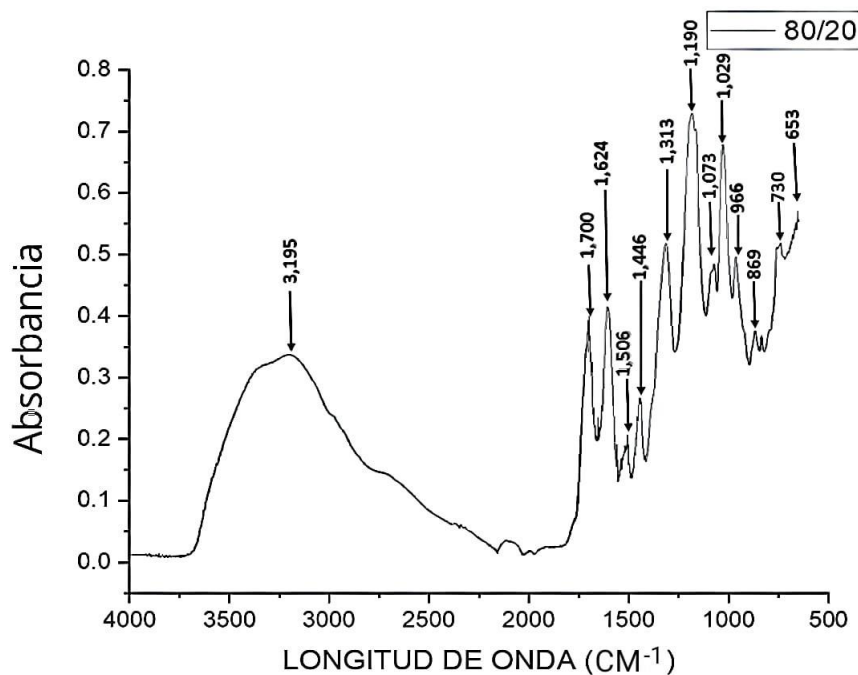
Extracto	IC <sub>50</sub> (mg/L)
<b>80:19:1</b>	4741.35±161.99b
<b>80:20</b>	3498.775±180.20a

Los valores de IC<sub>50</sub> en el presente estudio son los esperados se alcanza un nivel de inhibición por arriba del 50% el ensayo antifúngico demostró la capacidad de estos compuestos in vitro logran inhibir *Fusarium oxysporum* f.sp. lycopersici. Sin embargo, no se han reportado estudios similares de extractos purificados evaluados en *F. oxysporum*. En un trabajo similar, Veloz-García *et al.*, (2012) utilizaron concentrados de taninos de cascalote y reportaron valores de inhibición de 68.54% en concentraciones del 1% para *Fusarium* spp. Los valores obtenidos pueden estar relacionados a diversos factores dosis-respuesta, se sabe que *Fusarium oxysporum* f.sp. lycopersici es un organismo fitopatógeno sumamente evolucionado con la capacidad de adaptarse a la mayoría de condiciones ambientales, por lo cual se considerada una especie cosmopolita, sumado a eso la versatilidad que posee para producir metabolitos secundarios de importancia, cuenta con una maquinaria celular evolucionada con diversos mecanismos que le confiere la capacidad de crecer en infinidad de sustratos logrando degradarlos y utilizarlos como fuente de alimento (carbono, nitrógeno, fósforo, glucosa, etc.), debido a su capacidad de producir enzimas hidrolasas y óxidoreductasas como tanasas y lacasas (*Dhiman et al.*, 2017; Macías *et al.*, 2015). Estas enzimas son capaces de degradar compuestos fenólicos, las tanasas son capaces de degradar taninos condensados e hidrolizables (Palacio-Arango *et al.*, 2018), mientras que las lacasas presentan afinidad por diversos polifenoles incluidos también los taninos hidrolizables y condensados (Macías *et al.*, 2015). Por esta versatilidad para degradar sustratos, *Fusarium* es un organismo con una extraordinaria capacidad de adaptación.

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, los extractos purificados de vainas de cascalote presentaron un efecto fungistático sobre *F. oxysporum*, y dicho efecto se atribuye a compuestos fenólicos presentes en el extracto. Sin embargo, es necesario realizar investigaciones a futuro sobre el efecto a nivel molecular, morfológicos, bioquímicos en la interacción de los mecanismos de defensa del fitopatógeno *Fusarium* (Mesa *et al.*, 2019).

#### 4.3. Espectroscopia Infrarroja Por Transformada de Fourier (FTIR).

En la figura 26 se presenta el espectro obtenido mediante el análisis por FTIR del extracto 80:20 de vainas de cascalote. En el espectro se muestra la intensidad de radiación infrarroja que absorbe la muestra en función de la longitud de onda, formando picos o bandas que se asocian a vibraciones moleculares de los enlaces químicos presentes en la muestra. De esta forma, cada sustancia tiene una huella espectral única.



**Figura 26.** Espectro infrarrojo de la extracción 80/20.

De acuerdo a Tondi & Petutschnigg (2015), en el rango del espectro entre 1800 y 600  $\text{cm}^{-1}$  se pueden identificar bandas de perfiles típicos de moléculas diversas hidroxilo-aromáticas que corresponden a extractos de taninos. Se encontró una señal cercana 3198  $\text{cm}^{-1}$ , asociada a estiramientos en el grupo hidroxilo O-H (Ossai *et al.*, 2020).

La señal ubicada en 1700  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al estiramiento del grupo carbonilo C=O que se encuentran estrechamente relacionados a ácidos carboxílicos, cetonas y/o amidas (Quintero *et al.*, 2014). Solis-Vizcaino *et al.* (2023) mencionan que la señal reportada en el 1624  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al enlace de tipo carbonilo C=O, perteneciente al grupo amida. Ley Flores (2018) asocia la banda de 1624  $\text{cm}^{-1}$  a la vibración que corresponde al conjunto de tipo amina II.

Otros autores como Hellwig (2015) indican que la señal 1624  $\text{cm}^{-1}$  pertenece al estiramiento del doble enlace carbono- carbono C=C relacionado a compuestos conocidos como quinonas, dentro de los cuales existen infinidad de los cuales pertenecen a esta familia de compuestos fenólicos.

La señal a 1506  $\text{cm}^{-1}$  es característica de enlaces C-N (Díaz Acosta 2014), mientras que aquéllas señales en las bandas 1506  $\text{cm}^{-1}$  y 1453  $\text{cm}^{-1}$  pueden estar relacionadas a los cambios en algunos grupos funcionales: estructuras de lignina, carbonilo, hemicelulosa o estructuras de tipo quinoideas que tienen una relación estrecha al ser causantes de la coloración en la madera, las variaciones en estas señales pueden estar relacionadas por el leve aumento en la temperatura o el tratamiento térmico aplicado en el proceso de extracción (Méndez-Mejías, 2016).

Dentro de las estructuras orgánicas, las vibraciones (deformaciones) de los grupos metilos y metilenos pueden generar diferentes bandas entre 1400 y 1300  $\text{cm}^{-1}$  siendo parte de la huella dactilar en el espectro infrarrojo (Terán-Enríquez *et al.*, 2023). Por otro lado, las señales a 1190  $\text{cm}^{-1}$  y 1272  $\text{cm}^{-1}$  se atribuyen a las vibraciones en el enlace CH y COH correspondientes al anillo fenilo y a la distorsión y vibración en la misma (Barrera *et al.*, 2013). Otros autores mencionan que la banda a 1190  $\text{cm}^{-1}$  se relaciona al estiramiento en el enlace C-N en la amina alifática (Flores-Espinosa *et al.*, 2011).



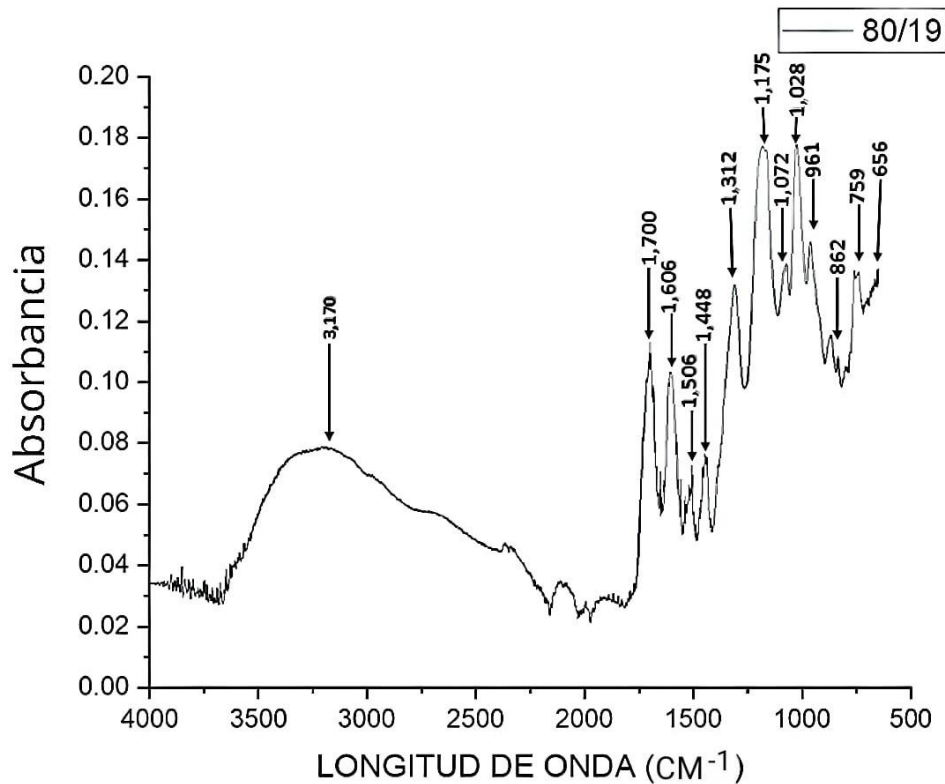
Existen diferentes tipos de carbohidratos, los cuales se han clasificado en: azúcares, pectinas, almidones, celulosas, etc. En la espectroscopia de infrarrojo los espectros de los carbohidratos diluidos en agua pueden presentar señales en las regiones entre 1200 y 900  $\text{cm}^{-1}$ ; estas señales pueden ser un pico intenso (dos o algunas de las veces) (Rubinson *et al.*, 2001). La banda que corresponde al pico 1073  $\text{cm}^{-1}$  se relaciona al estiramiento del enlace C-O (Contreras Martínez *et al.*, 2023). La región 1029  $\text{cm}^{-1}$  puede estar relacionada al estiramiento del enlace del grupo C-O (Montiel-Juárez *et al.*, 2015).

La señal ubicada en la banda 966  $\text{cm}^{-1}$  está asociada a la flexión trans C-H que se pueden encontrar fuera del plano. En la espectroscopia FTIR, la región 991-966  $\text{cm}^{-1}$  se asocia a la absorción de la deformación del grupo C-H fuera del plano y la absorción infrarroja de la banda aproximadamente en 966  $\text{cm}^{-1}$  puede estar asociado a dobles enlaces de ácidos grasos y ésteres (González *et al.*, 2015).

En la espectroscopia FTIR mediante la determinación cuantitativa de los ácidos grasos trans aislados se basa en la medición de área del pico de la grasa trans en la región específica 991-966  $\text{cm}^{-1}$ , que puede estar relacionada a diferentes grupos funcionales y los modos de vibración, y representa la absorción de la deformación C-H fuera del plano. Las vibraciones de deformación de C-H de isómeros aislados trans de los dobles enlaces en los ácidos grasos y ésteres dan la banda de absorción infrarroja en aproximadamente 966  $\text{cm}^{-1}$  (Bernal & Chávez, 2016). Los picos a 869  $\text{cm}^{-1}$  pueden estar relacionados a enlaces C-C (Fragoso-Ángeles *et al.*, 2018), y puede deberse al efecto de estiramiento del grupo O-H y las vibraciones de deformación O-H respectivamente (Andrade, 2019).

La señal atribuida al pico en la región 730  $\text{cm}^{-1}$  se relaciona a diversos grupos funcionales y modos de vibración. Giaroli *et al.* (2021) la atribuyen a vibraciones de flexión en los grupos  $-(\text{CH}_2)-$ . Esta misma señal puede aparecer cuando existan más de cuatro grupos metileno seguidos (Cadena & Acosta 2014). Por último, la señal 653  $\text{cm}^{-1}$  puede estar relacionada al enlace C-C (Rameshkumarr *et al.*, 2021), mientras que la presencia de cloro se confirma en el enlace C-X y corresponde a cloruro, bromuro o ioduro, según lo reportado por Rubinson *et al.* (2001).

En la figura 27 se presenta el espectro obtenido mediante el análisis por FTIR del extracto 80:19:1 de vainas de cascalote, observando diferencias respecto al extracto 80:20.



**Figura 27.** Espectro infrarrojo FTIR del extracto 80:19:1.

Se observa una señal a 3170 cm<sup>-1</sup>, relacionada a la señal de estiramiento del enlace =C-H (Montes & Muro, 2019). Dahiya & Onker (2015) mencionan que la señal puede estar relacionada al estiramiento del enlace NH. La región en el espectro FTIR 1606 cm<sup>-1</sup> puede estar relacionada a varios grupos funcionales. Quintero *et al.* (2014) mencionan que la región ubicada en 1700 cm<sup>-1</sup> corresponde al estiramiento del grupo carbonilo C=O y puede estar relacionado a ácidos carboxílicos, cetonas y/o amidas, así como algunas vibraciones o estiramientos en los enlaces N-H (Vicente-Escobar *et al.*, 2018). La señal a 1506 cm<sup>-1</sup> es característica de enlaces C-N. Asimismo podemos encontrar que la señal 1506 cm<sup>-1</sup> se le atribuye una vibración de deformación de flexión del enlace N-H del grupo amida (Díaz-Acosta 2014).

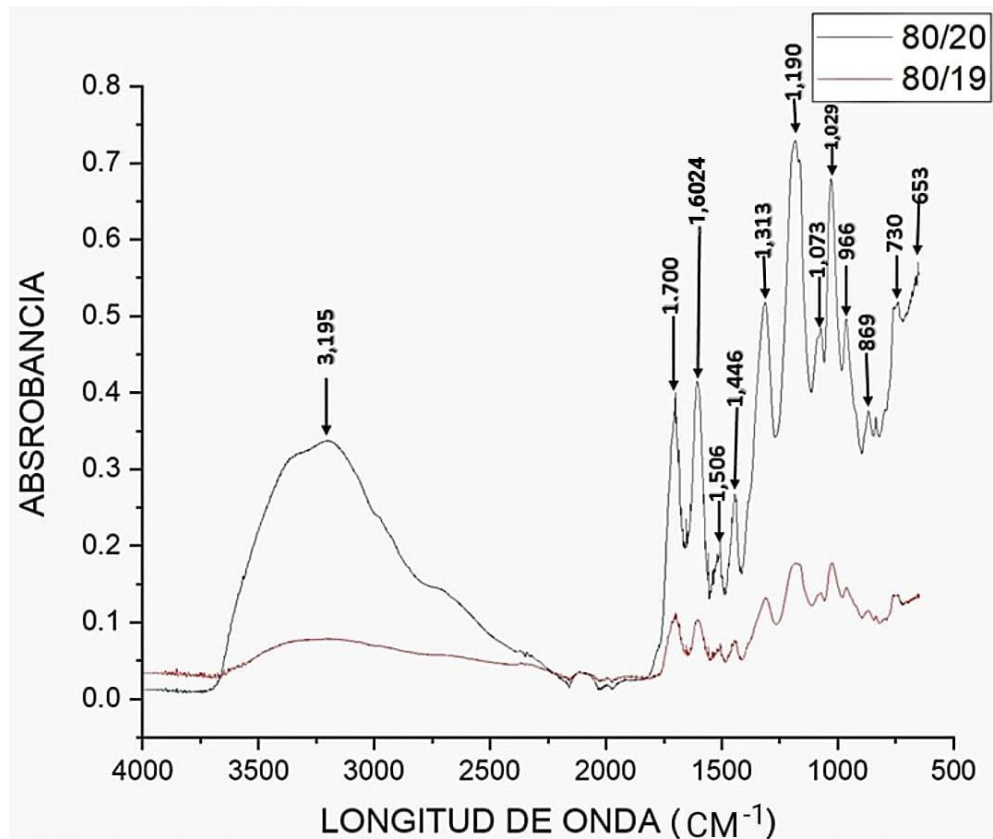
El espectro de las señales en las bandas  $1506\text{ cm}^{-1}$  y  $1453\text{ cm}^{-1}$  se encuentran relacionados a diversos grupos funcionales con respecto a: estructuras de lignina, carbonilo, hemicelulosa o estructuras de quinoides que pueden estar relacionadas a dar coloración a la madera. Los cambios en estas señales pueden estar dados por el aumento en la temperatura o el tratamiento térmico aplicado en el proceso de extracción (Méndez-Mejías, 2016).

La región de la señal  $1448\text{ cm}^{-1}$  en el espectro FTIR puede estar atribuido a las vibraciones en los grupos metilos y metilenos ( $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CH}_2$ ). Lozano Álvarez et al. (2019) mencionan que puede estar relacionada a la vibración del enlace N-N. A  $1312\text{ cm}^{-1}$  se encuentra otra señal, asociada a enlaces C-O (Juárez-Montiel et al., 2013).

La banda que se presenta en la señal  $1072\text{ cm}^{-1}$  puede estar asociada a diferentes grupos funcionales, estiramiento del enlace C-N y C-O. Si la señal es de intensidad fuerte, se asocia a estiramiento C-O-C (Cuadra Granados, 2017).

La región ubicada en  $1028\text{ cm}^{-1}$  indica vibración del enlace C-O (Lozano-Álvarez et al., 2019). Rubinson et al. (2001) mencionan que esta región comprendida entre  $1350\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$  puede ser asignada a alcoholes, ésteres, éteres,  $-\text{COOH}$ , anhídridos. Así también a la región comprendida entre  $1400\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$  podría estar relacionada a tensión entre los enlaces Fluoruro C-F. La señal  $961\text{ cm}^{-1}$  ha sido relacionada al estiramiento asimétrico en el enlace P-O (Hernández Ortiz, 2020), mientras que las señales  $1025$  y  $961\text{ cm}^{-1}$  se asocian a grupos fosfato (Molina-Paredes, 2019; Aquino et al., 2018). Guerrero & Maier (2018) reportaron que la señal  $961\text{ cm}^{-1}$  se relaciona a vibraciones de tensión en enlaces C-O y C-C. La señal  $862\text{ cm}^{-1}$  puede estar relacionada al estiramiento C-C y la vibración del C-H (Solorzano et al., 2011).

En la figura 28 se presenta el espectro FTIR de ambos extractos, y se observan diferencias significativas por efecto de la mezcla de solventes usados para la extracción.



**Figura 28.** Espectros infrarrojos FTIR de los dos extractos 80:20 y 80:19:1.

En el extracto metanol-agua (80:20) se presentaron señales mayormente pronunciadas, alcanzando valores de absorbancia de hasta 0.7, a diferencia del extracto metanol-agua-ácido láctico (80:19:1), donde la absorbancia no supera el 0.2. Estos resultados coinciden con el análisis antifúngico, ya que el mayor efecto se presentó al emplear el extracto metanol-agua (80:20). Esto puede deberse a diversos factores, ya que, si bien no existe un disolvente universal, los más utilizados son el metanol acidificado y etanol. Sin embargo, el metanol es el más eficiente (Dzul *et al.*, 2014). Arenas-Nemoga (2020) demostró que el contenido de compuestos fenólicos depende de la polaridad o afinidad del compuesto a extraer con el solvente empleado. Por ello, la variación de absorbancia de los dos extractos puede deberse a la acidificación del (pH) del medio. Algunos compuestos como las quinonas son ácidos débiles que se pueden extraer en medios alcalinos y al momento de acidificar no se solubilizaron o fueron arrastrados correctamente en la

extracción lo que existe que una posibilidad de la fracción se quedara en el material vegetal.

## VI. CONCLUSIONES

La aplicación del extracto metanol-agua-ácido láctico (80:19:1) presentó un efecto antifúngico contra *Fusarium oxysporum*, con un IC<sub>50</sub> de 4741.35 mg/L.

Se obtuvo un rendimiento de extracción de 11.2 a 12.6 g/100 g de vainas de cascalote, siendo ligeramente mayor al emplear la mezcla de metanol-agua-ácido láctico (80:19:1), comparado con el uso de metanol-agua (80:20).

El espectro FTIR del extracto 80:20 presenta una mayor intensidad en la banda de 3195 cm<sup>-1</sup>, asociado a la presencia de flavonoides, taninos y ácidos fenólicos, compuestos con actividad antifúngica reportada en la literatura. Estos compuestos pueden actuar contra *Fusarium oxysporum* mediante mecanismos como la alteración de la permeabilidad de la membrana celular, la inhibición de enzimas clave y la generación de estrés oxidativo.



## VII. LITERATURA CITADA

- Aguirre-Domínguez, R. (2023). Disolventes eutécticos naturales para la extracción de indio implementando el efecto Hofmeister. Tesis maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp.1-103. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000842159/3/0842159.pdf>.
- Amaguaña, R. F. J., & Churuchumbi, R. E. F. (2018). Estandarización fitoquímica del extracto de calendula (*Calendula officinalis*). Tesis Ingeniería. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Pp.1-94. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16149>.
- Andrade, M. R. (2019). Síntesis y caracterización de partículas luminiscentes de Fe: ZnSe estabilizadas con ácido mercaptoacético. Universidade da Coruña. Faculdade de Ciências. Trabajos académicos (UDC.CIE). Química. <http://hdl.handle.net/2183/24340>.
- Arana Torres, N. M. (2021). Una revisión de los beneficios en la salud humana y métodos de extracción de compuestos bioactivos de *Vaccinium meridionale*. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Frontera. 1-93. <https://repositorio.unf.edu.pe/login>.
- Arenas Nemoga, S. A. (2020). Extracción de compuestos fenólicos mediante el uso de disolventes orgánicos a partir del subproducto obtenido en la elaboración de aceite de oliva virgen (alperujo). Universidad Politécnica de Valencia. 83 pp. <https://riunet.upv.es/handle/10251/134096>.
- Ascacio Valdés, J.; Aguilera Carbó, A.; Martínez Hernández, J.; Rodríguez Herrera, R.; Aguilar, C. (2010). *Euphorbia antisyphilitica* residues as a new source of ellagic acid. *Chemical Papers*, 64, 528-532, doi:doi:10.2478/s11696-010-0034-6.
- Aquino, C., Páez, E., Ríos, S., Souberlich-Barúa, R. F., Idoyaga Navarro, M. L., & Herrera, E. Z. (2018). Estudio no destructivo de material sólido extraído en el dragado del Río Paraguay por espectroscopia Raman. <https://repositorio.conacyt.gov.py/handle/20.500.14066/3603>.

- Azuola, R., & Vargas-Aguilar, P. (2007). Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA). *Revista Tecnología En Marcha*, 20(4). [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/449](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/449).
- Barrera, G. S., Losada, J. L., & Vargas-Hernández, C. (2013). Caracterización vibracional por espectroscopia Raman del grano de Café tipo comercial. *Scientia et Technica*, 18(1), 275-279. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84927487040.pdf>.
- Bernal, C. A. G., & Chávez, M. K. A. (2016). Cuantificación de ácidos grasos trans en frituras populares (harinas fritas) por el método de espectroscopia infrarroja FTIR-ATR. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. <https://api.semanticscholar.org/Corpus>. ID:191669932.
- Cadena, C., & Acosta, D. (2014). ANÁLISIS COMPARATIVO REALIZADO SOBRE TRES MATERIALES DEGRADADOS POR LA RADIACIÓN SOLAR UV EN SALTA-ARGENTINA. *Anais Congresso Brasileiro De Energia Solar - CBENS*. <https://doi.org/10.59627/cbens.2014.214>.
- Capistrán-Carabarán, A., Alquino-Bolaños, E., & Chávez-Servia, J. L. (2019). Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos en poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) *Agronomy*, 11 (4), 805 <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/50794/CapistranCarabarinArely.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cardemil, L., Handford, M., & Meisel, L. (2007). Fisiología Vegetal. Capítulo I. La célula vegetal. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile, 1, 1-46. <http://www.biouls.cl/librofv/web/index03.php>.
- Castillo-Lorenzo, E., Peguero, B., Jiménez, F., Encarnación, W., Gómez-Barreiro, P., Clase, T., García, R., & Ulian, T. (2022). Árboles autóctonos de la república dominicana: Conservación de semillas y propagación para una reforestación sustentable (Vol. 0). Santo Domingo. República dominicana. Pp. 57-60. <https://bvearmb.do/handle/123456789/3152>.

- Celis, A., Mendoza F, C., & Pachón, M. E. (2009). Review: plant extracts used as biocontrol in management of plagues, diseases and weeds. *Temas Agrarios*, 14(1), 1–12. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122396/records/651199cb60f8dcc51c5facca>.
- Cerda-Mejía, L. (2016). Enzimas modificadoras de la pared celular vegetal. Celulasas de interés biotecnológico papelerero. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona. 194 p. [https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/104248/1/LCM\\_TESIS.pdf](https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/104248/1/LCM_TESIS.pdf)
- Chapa-Barrios, M. G. (2023). Manual metodológico para la extracción de metabolitos secundarios en cereales. Tesis Licenciatura. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Pp. 1-63. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4860>.
- CONABIO (2021). Catálogo taxonómico de especies de México. 1. In Capital Nat. México. CONABIO, Mexico City.
- Contreras-Martínez, M. V. (2023). Síntesis por electrohilado de membranas poliméricas gelificadas y su empleo en baterías Zinc-aire. Tesis Maestría. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C. 97 pp. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/513>.
- Cordero, J., Barrace, A., Beer, J., Boshier, D. H., Chamberlain, J., Chamberlain, J., Detlefsen, G., Finegan, B., Galloway, G., & Gordon, J. (2003). Árboles de Centroamérica: Vol. I (I). CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9730>.
- Cuadra Granados, D. P. (2017). Síntesis de nanopartículas de carboximetilquitosano y su aplicación en tratamiento de aguas residuales (Universidad del Valle de Guatemala). Pp.1-121. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3722>
- Dahiya, S., & Onker, R. (2015). Influence of polymethacrylates and compritol on release profile of a highly water-soluble drug metformin hydrochloride. *Ars Pharmaceutica* (Internet), 56(1), 24-31. <https://scielo.isciii.es/pdf/ars/v56n1/original4.pdf>

- Dávalos-Duarte, R., Ramírez-Sánchez, J., Gutiérrez-Mondragón, J., Cano-Hernández, J.M., & Torres-Quintana, A. (2020). Aprovechamiento de la semilla *Caesalpinia coriaria* para la elaboración de una cerveza artesanal. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol.5, 443-446. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/8/87.pdf>.
- De Jesús-Martínez, X., Olmedo-Juárez, A., Rojas-Hernández, S., Zamilpa, A., de Gives, P. M., López-Arellano, M. E., Villa-Mancera, A., Camacho-Díaz, L. M., Cipriano-Salazar, M., & Olivares-Pérez, J. (2020). Evaluation of the hydroalcoholic extract elaborated with *Caesalpinia coriaria* Jacq Willd tree fruits in the control of *Haemonchus contortus* Rudolphi. *Agroforestry Systems*, 94(4), 1315–1321. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00398-0>.
- De Lamo, F.J. y Takken, F.L. (2020). Biocontrol por *Fusarium oxysporum* mediante resistencia mediada por endófitos. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 11, 37. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00037>.
- De León, M. R. P. D. (2023). Análisis de la técnica de curtido de los amarres de cuero de las campanas antiguas del centro de la ciudad de Guadalajara, México. *Revista internacional de patrimonio, museología social, memoria y territorio*, (12), 165-189. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9305335>.
- Dhiman, S., Mukherjee, G., Kumar, A., Mukherjee, P., Verekar, S. A., & Deshmukh, S. K. (2017). Fungal tannase: Recent advances and industrial applications. In *Developments in Fungal Biology and Applied Mycology* (pp. 295–313). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4768-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4768-8_16).
- Díaz-Acosta, C. M. (2014). Preparación de fotoánodos para la construcción de celdas solares Grätzel empleando placas de Ti grado industrial recubiertas con nanotubos de TiO<sub>2</sub>, tintes de tipo bipyridina-rutenio y dendrímeros de poliamidoamina. Tesis Maestría. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. 1-106. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1021/122>.

- Dzul, L. V. B., Sánchez Contreras, A., SUCRE, M. O. R., López, N. P., & Buenfil, I. M. R. (2014). Efecto del Secado Sobre la Concentración de Polifenoles y Actividad Biológica de Subproductos Cítricos. *Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín*, 2(Supl 2), 67. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/651>.
- Enciclopedia Guerrerense. 2020. Cascalote <https://enciclopediagro.mx/flora-y-fauna/cascalote/> (Accesado el 25/02/2025).
- Ferdin, E. Y. M. I. E., & Aguilar, I. (2015). Agroquímicos. Panamá: Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá. 1–33. [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Ferdin%2C+E.%2C+%26+Aguilar%2C+I.+2015&btnG](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Ferdin%2C+E.%2C+%26+Aguilar%2C+I.+2015&btnG).
- Flores-Espinosa, R.M., Ortiz-Oliveros, H.B., Bonifacio-Martínez, J., Rivero-Espejel, I. (2011). Termodegradación de resinas agotadas de intercambio iónico de lecho mixto. Revista internacional de contaminación ambiental, *Rev. Int. Contam. Ambient* [online]. vol.27, n.3, pp.223-230. ISSN 0188-4999. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992011000300007&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992011000300007&script=sci_abstract&tlng=pt).
- Fragoso-Ángeles, S., Vera-Graziano, R., Pérez-González, G.L., Iglesias, A.L., Gómez-Pineda, L.E., & Villarreal-Gómez, L.J. (2018). Síntesis y Caracterización de Hidroxiapatita Sintética para la Preparación de Filmes de PLGA/HAp con Potencial Uso en Aplicaciones Biomédicas. Recibe. *Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 7 (2),93-116. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=512257487005>.
- Garcés-De Granada, E., Orozco de Amézquita, M.C., Bautista-Mendoza, G.R., & Valencia-Zapata, H. A. (2001). *Fusarium oxysporum*. EL HONGO QUE NOS FALTA CONOCER. *Acta Biológica Colombiana*, 6, 7–25. <https://doi.org/https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/63462>.

- García-García, E. (2019). Potenciales usos y aplicaciones del ácido hialurónico en la agricultura y la poscosecha. Caso de estudio/ Especialización en química aplicada. Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Pp 1-64. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/656>.
- García-Hernández, C., Rojo-Rubio, R., Olmedo-Juárez, A., Zamilpa, A., Mendoza de Gives, P., Antonio-Romo, I. A., Aguilar-Marcelino, L., Arece-García, J., Tapia-Maruri, D., & González-Cortazar, M. (2019). Galloyl derivatives from *Caesalpinia coriaria* exhibit in vitro ovicidal activity against cattle gastrointestinal parasitic nematodes. *Experimental Parasitology*, 200, 16–23. <https://doi.org/10.1016/J.EXPPARA.2019.03.012>.
- Ghini, R., & Hiroshi, K. (2002). Resistencia de hongos a Fungicidas. 2nd ed., Vol. 2. *Embrapa Meio Ambiente*. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/13231>.
- Giaroli, M. C., Ciolino, A. E., & Ninago, M. D. (2021). Effects of Branches on the Isothermal Crystallization of Copolymers Based on Poly( $\epsilon$ -caprolactone). *Revista Macromolecular Sympisia*. <https://doi.org/10.1002/masy.201700082>.
- Global Register of Introduced and Invasive Species. (2022). GBIF | Global Biodiversity Information Facility. *Caesalpinia coriaria*. <https://www.gbif.org/es/>.
- González, I., Oliva, H., Cedeño, Y., Inicarte, H., Soto, D., & Velásquez, E. (2015). Efecto de las condiciones de hidrofobización de una arcilla natural sobre su distribución y dispersión en mezclas de poliestireno/polibutadieno/estireno. *Revista Tecnocientífica URU*, (8), 69-78. <https://ojs.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/view/gonzalezolivacedenoinc iartesotovelasquezn8a15>.
- Guerrero, A. C. B., & Maier, M. S. (2018). Análisis de materiales artísticos mediante espectroscopia infrarroja por reflectancia total atenuada. *Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)*, Vol. 15(30), 267-276. <https://doi.org/10.15210/lepaarq.v15i30.13157>.



- Hellwig, P. (2015). Infrared spectroscopic markers of quinones in proteins from the respiratory chain. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1847(1), 126-133. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005272814005301>.
- Hernández, L. N. A., Baños, S. Bautista, & Velázquez-Del Valle, G. M. (2007). PROSPECTIVE OF PLANT EXTRACTS FOR CONTROLLING POSTHARVEST DISEASES OF HORTICULTURAL PRODUCTS. *Rev. Fitotec. Mex*, 30(2), 119–123. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61030202.pdf>.
- Hernández-Ortiz, G. M. (2020). Biocerámicos porosos compuestos de hidroxapatita y dióxido de titanio (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina). 161 pp. <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/484>.
- Hernández-Ruiz, P.E., Yasseen-Elghandour, M.M.M., Ponce-Covarrubias, J.L., Pineda-Burgos, B.C., Adegbeye, M.J., Mellado, M., Salem, M., Salem, A. (2024). Exploring the potential of phenolic and antioxidant compounds identified and quantified of *Caesalpinia coriaria* fruit and their impacts on lambs performance and health. *The EuroBiotech Journal*, VIII, 74–94. <https://doi.org/10.2478/ebtj-2024-000>.
- Herrera-Pool, I. E., Pacheco-López, N. A., Ramos-Díaz, A. L., Ayora-Talavera, T. R. Cuevas-Bernardo, J. C. (2019). Evaluación del cambio en el contenido y perfil de compuestos fenolicos en *Capsicum chinense* en interaccion con el oomiceto fitopatogeno *Pythium ultimum*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ, AC) <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/656>.
- Huarhua Zaquinaula, M. H. (2018). “RAZAS DE *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* AISLADAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) PROVENIENTE DE COSTA CENTRAL DEL PERÚ.” Tesis Maestria en Fitopatología. Universidad Nacional Agraria la Molina Fitopatología. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/b283a999-0316-4503-9f3d-625433959d48>.

- Juárez-0Montiel, R. G., Pinto-Apaza, N., & Cano-de Terrones, T. (2013). Polimerización de compuestos antociánicos presentes en el colorante de la hierba santa (*Cestrum hediondinum* D.) y prueba de adsorción de iones Aluminio (III). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1), 71-79.
- Ley Flores, M. del C. (2018). *Síntesis y caracterización de moléculas anfifílicas basadas en L-Cisteína*. Tesis de Ingeniería. Universidad de Sonora. departamento de ingeniería química y metalurgia <http://repositorioinstitucional.unison.mx/bitstream/20.500.12984/2767/1/leyfloresmariadelcarmenl.pdf>
- Lozano-Álvarez, J. A. Marañón-Ruiz, V. F., Jáuregui-Rincón, J., Medina-Ramírez, I., Salinas-Gutiérrez, R. & Frausto-Reyes, C. (2019). REMOCIÓN DE COLORANTES AZO CON ALGINATO: RELACIÓN ENTRE ESTRUCTURA DE COLORANTE Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1), 223-236. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.16>.
- Macías, S. K. L., García-Soto, J., Roncero, M. I. G., Hernández-Monjaraz, W., Caudillo-Pérez, C., & Martínez-Cadena, M. G. (2015). Isolation and Expression of Enolase Gene in *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Applied biochemistry and biotechnology*, 175, 902-908. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-014-1338-8>.
- Manuel Pablo, Armando. (2018). Efecto de los taninos del fruto del cascalote (*caesalpinia coriaria* JACQ. WILLD) sobre el comportamiento productivo, parámetros de fermentación ruminal, rendimiento y calidad de canal caprina. Tesis Maestría. MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y GESTIÓN LOCAL. 1-16. URI: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/98924>.
- Martín-Gordo, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>.

- Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Espinosa-Andrews, H., Sánchez-Contreras, A., & Pacheco, N. (2017). Extracción asistida por ultrasonidos para la recuperación de compuestos fenólicos de fuentes vegetales. *Agronomía*, 7 (3), 47. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030047>.
- Méndez Mejías, L. D. (2016). Efectos del termotratamiento sobre las propiedades físicas, químicas y mecánicas en la madera de *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* proveniente de plantaciones forestales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Maestría en Ciencias Forestales. Cartago, Costa Rica. <https://agris.fao.org/search/en/providers/124451/records/66470d5ee62948cba00acdac>.
- Mesa, V. A. M., Marín, P., Ocampo, O., Calle, J., & Monsalve, Z. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 45(1), 23-30. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S166923142019000100023&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S166923142019000100023&script=sci_arttext).
- Mohana, D. C., & Raveesha, K. A. (2006). Anti-bacterial activity of *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd. against plant pathogenic *Xanthomonas* pathovars: an eco-friendly approach. *Journal of Agricultural Technology*, 2(2), 317-327. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/IJAT/10843175.pdf>.
- Molina-Paredes, A. A. (2019). Evaluación de la degradación por luminiscencia de un compósito (fibroína de seda/hidroxiapatita) mediante el uso de compuestos de boro. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciencias Químicas. 100 pp. <http://eprints.uanl.mx/18460/>.
- Montes, A. J. A. K., & Muro, C. S. D. C. (2019). Síntesis de aciltioureas heterocíclicas a partir de ácidos carboxílicos. Tesis. Universidad Nacional de Trujillo <https://hdl.handle.net/20.500.14414/12411>.

- Montiel-Juárez, L., Rojas-López, M., Martínez-Ayala, A. L., Orduña-Díaz, A., Gayou, V. L., Delgad-Macuil, R., & Zaca-Moran, P. (2015). Análisis FTIR de la incorporación de nanoestructuras de TiO<sub>2</sub> en películas de proteína de *Jatropha curcas* L. XII *Encuentro Participación de La Mujer En La Ciencia*, 5. [https://congresos.cio.mx/memorias\\_congreso\\_mujer/archivos/extensos/sesion1/S1-BCA35.pdf](https://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/extensos/sesion1/S1-BCA35.pdf)
- Morales, V. X., & Vázquez, L. E. (2013). Los disolventes en la química verde. Instituto Politécnico Nacional. Proyecto de investigación SIP. 20110525. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17043/25-1-16614.pdf>.
- Mora Santacruz, A., Román, M. M., González-Cuevas, G., & Barrientos-Ramírez, L. (2018). Chemical composition of cascalote *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd. and diversity of uses in the rural areas of dry tropics. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 4(12), 24-28. [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Investigacion\\_y\\_Desarrollo/vol4num12/Revista\\_de\\_Investigacion\\_y\\_Desarrollo\\_V4\\_N12\\_4.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Investigacion_y_Desarrollo/vol4num12/Revista_de_Investigacion_y_Desarrollo_V4_N12_4.pdf).
- Muñoz, S. M., Moreira, M. A., & Moreira, E. S. (2012). Name origin of the native genera of vascular plants from Chile and its presence in Chile and the world. *Gayana Bot*, 309–359. <https://www.scielo.cl/pdf/gbot/v69n2/art11.pdf>.
- Neyra, E. L. C. J., & Armas, G. N. M. (2018). Evaluación in vitro de la actividad fungicida y fungistática del extracto metanólico de la *Minthostachys mollis* (muña) sobre cepa de *Candida albicans* ATCC®1023. Tesis. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 27 pp. <https://doi.org/10.19083/tesis/625175>.
- Núñez, C. E. (2008). COMENTARIOS SOBRE SOLVENTES Y SOLUBILIDADES DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS. Solventes y Sustancias. Pg. 1-10 [https://cursa.ihmc.us/rid=1MT4G2DLD-DJV4Y4-1TTM/Comentarios sobre solventes y solubilidades.pdf](https://cursa.ihmc.us/rid=1MT4G2DLD-DJV4Y4-1TTM/Comentarios_sobre_solventes_y_solubilidades.pdf).

- Olmedo Juárez, A., Briones Robles, T. I., Zaragoza Bastida, A., Zamilpa, A., Ojeda Ramírez, D., Mendoza de Gives, P., Olivares Pérez, J., & Rivero Perez, N. (2019). Antibacterial activity of compounds isolated from *Caesalpinia coriaria* (Jacq) Willd against important bacteria in public health. *Microbial Pathogenesis*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103660>.
- Orberá Ratón, T. M., Serrat-Díaz, M. J., González-Giro, Z. (2009). Potencialidades de bacterias aerobias formadoras de endosporas para el biocontrol en plantas ornamentales. *Fitosanidad*, 13(2), 95-100. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1562-30092009000200004&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1562-30092009000200004&script=sci_arttext)
- Ossai, A. N., Alabi, A. B., Ezike, S. C., & Aina, A. O. (2020). Zinc oxide-based dye-sensitized solar cells using natural and synthetic sensitizers. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.100043>.
- Palacio Arango, M. A., Cano Vanegas, I. C., Múnera Porras, L. M., Pino Rodríguez, N. J., & Peñuela-Mesa, G. A. (2018). Evaluation of capacity of tannin degradation with microorganisms isolated from a tannery effluent in Copacabana, Antioquia. *Actualidades Biológicas*, 40(108), 17-23. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S030435842018000100017&script=sci\\_abstract&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S030435842018000100017&script=sci_abstract&lng=en).
- Perea Domínguez, X. P., Hernández Gastelum, L. Z., Olivas Olguín, H. R., Espinosa Alonso, L. G., Valdez Morales, M., & Medina Godoy, S. (2018). Phenolic composition of tomato varieties and an industrial tomato by-product: free, conjugated and bound phenolics and antioxidant activity. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 3453-3461. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-018-3269-9>.
- Piñol, M., Palazón, J., Cusidó, R., Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). Fundamentos de fisiología vegetal. Vol 2, 323-347. *McGraw-Hill Interamericana Publicaciones I Edicions de la Universitat de Barcelona*, Madrid.

- Pitre Ruiz, L., Galván Ayala, D., Castro Uriana, O., Mendez, K. J. Á., & Lopez Pazos, S. A. (2021). In vitro antimicrobial activity of *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd extracts on *Streptococcus pyogenes* and *Candida albicans*. *Vitae*, 28(2). <https://doi.org/10.17533/UDEA.VITAE.V28N2A345381>.
- Quezada, J.B., Garmendia-Zapata, M., Khiem-Meyrat, A. (2010). ESPECIES ARBOREAS DEL ARBORETUM: Vol. I (Universidad Nacional Agraria, Ed.). <https://doi.org/978-99924-1-007-3>.
- Quintero, K., López, L., & De Lima, L. (2014). Espectroscopía infrarroja con transformadas de Fourier-Reflectancia total atenuada (IRTF/RTA) aplicada a la caracterización de crudos y su relación con la gravedad API. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 29(2), 93-102. [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-40652014000200009&script=sci\\_arttext](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-40652014000200009&script=sci_arttext)
- Rameshkumarr, C., Anderson, A., & Ravichandran, S. (2021). UV, FIRT and surface properties of fiber reinforced low-density polyethylene laminated composites. *Materials Today: Proceedings*, 45, 6216-6223. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.565>.
- Ramón, C., Gil-Garzón, M. A. (2021). Efecto de los parámetros de operación de la extracción asistida por ultrasonido en la obtención de polifenoles de uva: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), e1822. <https://doi.org/10.22430/22565337.1822>.
- Roa-Cáceres, S. A., López-Giraldo, L. J., Muvdi-Nova, C. J. (2023). Polyphenol extraction: a comparison from wet cocoa husk vs. dried cocoa husk. *Ingeniería y Competitividad*, 25(2), 20612223. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.12223>.
- Rubinson, K. A., Rubinson, J. F., Ros, L. L., & Albarrán, Y. M. (2001). Análisis instrumental (pp. 445-479). Madrid, España: Libro Prentice Hall. [https://www.academia.edu/44228594/An%C3%A1lisis\\_instrumental\\_Kenneth\\_A\\_Rubinson](https://www.academia.edu/44228594/An%C3%A1lisis_instrumental_Kenneth_A_Rubinson).



- Salinas Flores, A., Guevara Aguilar, A., Natividad Torres, E. A., Baeza Jiménez, R., & Buenrostro Figueroa, J. J. (2019). Effect of the extraction conditions on the antioxidant capacity of phenolic compounds from pomegranate shell. *Mexican Journal of Biotechnology*, 4(2), 33–46. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2019.4.2.33>.
- SAS. (2002) Statistical Analysis System: Version 9.0. SAS Institute Inc., Cary.
- Segovia Gómez, F., Corral, J.J., & Almajano, M.P. (2013). Estudio cinético de la extracción Sólido-Líquido de los compuestos polifenólicos del Residuo del Aguacate. *JORNADES DE RECERCA EUETIB 2013*, 1–8. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/14999>.
- Solís Vizcaino, I., Rubio Rosas, E., Águila Almanza, E., Marín Castro, M., & Hernández Cocoltzi, H. (2024). Producción Ultrasónica de Nanopartículas de Quitosano y su Aplicación Contra *Colletotrichum gloeosporioides* Presente en el Mango Ataulfo. *Polímeros*, 16 (21), 3058. doi: 10.3390/polym16213058.
- Solorzano, S., Balsamo, V., & Ehrmann, E. (2011). Modificación química del almidón de yuca con anhídrido maleico vía microondas. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.* S3: 4-5. Memorias del “XIV Coloquio Venezolano de Polímeros”. [www.rlm.org](http://www.rlm.org).
- Tarazona-Díaz, M., Becerra, N., Piedra, J., & Beltrán, R. (2020). Obtaining a dye from passion fruit cortex with the use of conventional extraction techniques. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1303>.
- Terán-Enríquez, A. S., Gómez-Vásquez, L. C., & Posada-Salazar, S. (2023). Cuantificación de cannabinoides en dos formas farmacéuticas 3 mediante PLS-ATR-FTIR. <https://hdl.handle.net/10946/7996>.
- Tondi, G., & Petutschnigg, A. (2015). Middle infrared (ATR FT-MIR) characterization of industrial tannin extracts. *Industrial Crops and Products*, 65, 422-428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.005>

- Torres Cruz, T. J., Whitaker, B. K., Proctor, R. H., Broders, K., Laraba, I., Kim, H. S., Brown, D. W., O'Donnell, K., Estrada-Rodríguez, T. L., Lee, Y. H., Cheong, K., Wallace, E. C., McGee, C. T., Kang, S., & Geiser, D. M. (2022). FUSARIUM-ID v.3.0: An Updated, Downloadable Resource for Fusarium Species Identification. *Plant Disease*, 106(6), 1610–1616. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-2105-SR>.
- Tucuch Perez, M. A., Arredondo-Valdes, R., & Hernandez Castillo, F. D. (2020). Antifungal activity of phytochemical compounds of extracts from Mexican semi-desert plants against *Fusarium oxysporum* from tomato by microdilution in plate method. *Nova Scientia*, 12(25). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2345>.
- Ulibarri, E. A. (2008). Los géneros de Caesalpinioideae (Leguminosae) presentes en Sudamérica. *Darwiniana, nueva serie*, 46(1), 69-163. <https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0011-67932008000100007>.
- Ullauri, P. G. (2010). Transporte de masa en extracción fase sólido-líquido. *Revista ReCiTeIA. Libro Vol.10 n.2*.
- Valencia Avilés, E., Ignacio Figueroa, I., Sosa-Martínez, E., Bartolomé Camacho, M. C., Martínez Flores, H. E., & García-Pérez, M. E. (2017). Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (16), 15-29. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1583>.
- Veloz Garcia, R. A., Marín Martínez, R., López Vázquez, M., Veloz Rodríguez, R., Guevara Olvera, L., Muñoz Sánchez Claudia, Torres Pacheco, I., González Chavira, M., & Guevara González, R. (2012). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE CONCENTRADOS DE TANINOS SOBRE EL CRECIMIENTO MICELIAL DE HONGOS FITOPATOGENOS*. Recuperado de: [bit.ly/3Dxdpwm](http://bit.ly/3Dxdpwm)

- Vicente Escobar, J. O., García Sánchez, M. Á., & Tello Solís, S. R. (2018). Estudio preliminar del mecanismo de apagamiento de la fluorescencia de la lisozima por tetrakis-para-carboxifenil porfirina. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, Departamento de Química. 1-7. <https://zaloamati.azc.uam.mx/server/api/core/bitstreams/b1351f83-8473-407c-a223-e34520259405/content>.
- Villa Martínez, A., Pérez Leal, R., Morales Morales, H. A., Basurto Sotelo, M., Soto Parra, J. M., & Martínez Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta agronómica*, 64(2), 194-205. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43358>.
- Wong Paz, J. E., Aguilar Zárate, P., Veana, F., & Muñoz-Márquez, D. B. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23(1), 1-11. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.25>