

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Uso de Extractos Vegetales Adicionados con Carbón Activado y Nano Partículas de Hidróxido de Silicio para el Control de *Alternaria alternata*

Por:

**JOSÉ JAVIER JAIMES ECHEVERRÍA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Uso de Extractos Vegetales Adicionados con Carbón Activado y Nano Partículas  
de Hidróxido de Silicio para el Control de *Alternaria alternata*

Por:

**JOSÉ JAVIER JAIMES ECHEVERRÍA**

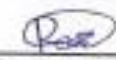
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**


Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ernesto Cerna Chávez  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Rocio de Jesús Díaz Aguilar  
Asesor Principal Externo

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Yisa María Ochoa Fuentes  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Roque Enriquez  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Marzo, 2024

## DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, 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, graficas, 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 las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

Jose Javier Jaimes E.

Jose Javier Jaimes Echeverría.

Firma y nombre

## AGRADECIMIENTOS

En el cierre de esta etapa académica, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a aquellos que han sido pilares fundamentales en el éxito de esta tesis.

**A Dios**, mi guía constante, a quien agradezco por otorgarme la fortaleza, la perseverancia y la sabiduría necesarias para superar los desafíos y alcanzar esta meta.

**A mi querida ALMA MATER, LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.** A esta institución, mi hogar intelectual durante estos años, le debo no solo la educación recibida, sino también las experiencias que han moldeado mi crecimiento personal y profesional. Así mismo ha sido el crisol donde forjé no solo conocimientos, sino también valores, amistades duraderas y un sentido de pertenencia que llevaré conmigo a lo largo de mi vida.

**A mi querida Tía Mónica** por su constante apoyo y aliento a lo largo de esta travesía académica.

**Al Dr. Ernesto Cerna Chávez**, el cual es mi asesor principal y quien me brindó la oportunidad de ser parte de este proyecto. Su confianza y orientación me permitieron crecer tanto personal como profesionalmente durante este proceso.

También le agradezco **a la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes** por su valiosa ayuda en resolver un pequeño percance que llegue a tener dentro del departamento. Además de su generosidad al permitirme trabajar con su equipo de investigación. Como también, contar con su apoyo incondicional que ha sido fundamental para mi crecimiento académico.

**A las doctoras Rocío de Jesús Díaz Aguilar y Dra. Jazmín J. Velázquez Guerrero**, parte esencial de mi comité de asesoría, agradezco su experiencia, paciencia y orientación experta. Además de su amistad, han sido faros de conocimiento que han iluminado mi camino hacia el éxito académico.

**A mi mejor amigo de la carrera, Martin Flores Juárez**, tu presencia ha sido una luz constante a lo largo de estos años. Más que un compañero, has sido un confidente leal y un amigo incondicional. Tu apoyo desinteresado, tu sabiduría compartida y tu inquebrantable amistad han enriquecido mi experiencia universitaria de maneras que van más allá de las palabras.

**A mi mejor amigo desde la preparatoria, Ulises Rayo Nolasco**, con quien he compartido risas, desafíos y triunfos a lo largo de los años. Nuestra amistad ha resistido el paso del tiempo, y por ello le estoy agradecido.

**A mis dos mejores amigos de la preparatoria, Carlos Guzmán Alcauter y Sergio Mauricio Checo Nieto**, quienes han sido testigos de mi crecimiento y me han brindado su amistad constante.

A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento. Este logro no habría sido posible sin su presencia y apoyo. Gracias por ser parte fundamental de este capítulo de mi vida.

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres:**

#### **Ma. De Los Ángeles Echeverría Quiroz y Javier Jaimes Castro**

Ustedes cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido la fuerza propulsora detrás de cada logro. Su dedicación ha sido mi mayor inspiración y motivación. Y son el sólido cimiento sobre el cual construí cada página de esta tesis.

### **A mis hermanos:**

#### **Montserrat, Joshua Antoni y Giovani Jaimes Echeverría**

Porque han compartido conmigo este viaje, brindándome aliento, comprensión y risas cuando más los necesitaba. Además de ser cómplices de travesuras y confidentes en cada paso de este camino académico. Juntos también hemos compartido los desafíos y triunfos, creando recuerdos que atesoro profundamente. Su presencia ha sido el soporte emocional que ha enriquecido esta travesía.

### **A mi abuela:**

#### **Pánfila Quiroz Domínguez**

Porque su amor Incondicional y sabiduría han iluminado mi camino desde el inicio. Tu legado es la inspiración que impulsa mis logros y la razón por la cual persigo la excelencia.

### **A mi amada:**

#### **Estefanía Libertad Espino García**

quien ha iluminado cada página de mi vida con su amor y apoyo. Este logro también es tuyo, ya que cada paso fue acompañado por tu inspiración. Gracias por ser mi fuente constante de motivación y por compartir este viaje académico y emocional a lo largo de tres años y medio. Te amo más de lo que las palabras pueden expresar.

**A mis queridos tíos maternos:**

**Andrés y Marcoantonio Echeverría Quiroz**

Porque son quienes han compartido conmigo su apoyo inquebrantable y sabios consejos. Su presencia ha enriquecido mi vida, y este logro también lleva su influencia.

Esta tesis es más que un documento académico; es un tributo a aquellos que han sido mi fuente de inspiración y fortaleza. A cada uno de ustedes, mi dedicación con gratitud y amor.

## RESUMEN

El desafío en el control del fitopatógeno *Alternaria alternata* ha sido significativo, ya que compromete la calidad y rendimiento de cultivos clave, como tomate, papa, cítricos, manzana, entre otros. Este se fundamenta principalmente en el uso de fungicidas químicos, los cuales no solo pueden generar impactos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, sino también propiciar el desarrollo de resistencia. Por ello, se están buscando estrategias de control más eficientes y con menor impacto ambiental, como la utilización de extractos vegetales. Se evaluaron extractos de Gobernadora, Canela y Cítricos, solos y adicionados con carbón activado y nanopartículas de hidróxido de silicio para el control de *A. alternata*, mediante la técnica de medio envenenado en cajas Petri utilizando medio de cultivo Papa-Dextrosa-Agar a diferentes concentraciones 500, 700, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm, cada tratamiento constaba de cuatro repeticiones además de un testigo absoluto y uno químico, se evaluó el porcentaje de inhibición y la esporulación, dichos resultados se analizaron mediante el programa estadístico SAS. Los resultados destacan que el mejor extracto fue el de gobernadora solo obteniendo un porcentaje de inhibición de un 50 % a una concentración de 3000 ppm, por otra parte, el extracto de cítricos obtuvo una reducción total en la producción de esporas a concentraciones significativas y para el caso del extracto de canela también afectó tanto el crecimiento micelial como la producción de esporas. Estos resultados sugieren que los extractos vegetales evaluados en este trabajo, especialmente el de gobernadora, podrían ser alternativas prometedoras en el control de *A. alternata*, ofreciendo opciones más sostenibles para la agricultura.

**Palabras clave:** Extractos, *Alternaria alternata*, Nano partículas, Hongo.



## ABSTRACT

The challenge in controlling the phytopathogen *Alternaria alternata* has been significant, as it compromises the quality and yield of key crops such as tomato, potato, citrus, apple, among others. This is mainly based on the use of chemical fungicides, which can not only generate negative impacts on human health and the environment, but also lead to the development of resistance. For this reason, more efficient control strategies with less environmental impact are being sought, such as the use of plant extracts. Extracts of Gobernadora, Cinnamon and Citrus, alone and added with activated carbon and silicon hydroxide nanoparticles were evaluated for the control of *A. alternata*, by means of the technique of poisoned medium in Petri boxes using Potato-Dextrose-Agar culture medium at different concentrations 500, 700, 1500, 2000, 2500 and 3000 ppm, each treatment consisted of four replicates in addition to an absolute control and a chemical control, the percentage of inhibition and sporulation were evaluated, these results were analyzed using the SAS statistical program. The results show that the best extract was that of gobernadora only, obtaining an inhibition percentage of 50% at a concentration of 3000 ppm, on the other hand, the citrus extract obtained a total reduction in spore production at significant concentrations and in the case of cinnamon extract also affected both mycelial growth and spore production. These results suggest that the plant extracts evaluated in this work, especially that of gobernadora, could be promising alternatives in the control of *A. alternata*, offering more sustainable options for agriculture.

**Key words:** Extracts, *Alternaria alternata*, Nano particles, Fungus.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA .....	iii
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo General .....	2
Objetivos Específicos .....	2
Hipótesis .....	2
REVISIÓN LITERATURA .....	3
<i>Alternaria</i> spp.....	3
Historia y morfología .....	3
Ecología .....	4
Importancia Económica .....	4
Especies de mayor importancia en todo el mundo .....	5
<i>Alternaria alternata</i> .....	6
Ubicación taxonómica .....	6
Morfología .....	6
Distribución Mundial .....	7
Distribución en México .....	7
Principales cultivos afectados .....	8
Signos y síntomas .....	8
Ciclo biológico de <i>Alternaría alternata</i> .....	9
Estrategias de control.....	9

Extractos Botánicos.....	11
Extracto de gobernadora .....	11
Extracto de canela .....	11
Extracto de cítricos.....	12
Nanotecnología.....	13
Nano Partículas De Hidróxido De Silicio .....	14
Carbón activo .....	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
Ubicación del Experimento .....	17
Obtención del Fitopatógeno .....	17
Extractos Botánicos.....	17
Diseño Experimental .....	17
Reactivación de la Cepa .....	17
Evaluación de la efectividad biológica .....	17
Conteo de Esporas.....	18
Análisis Estadístico .....	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
Inhibición del crecimiento Micelial.....	20
Inhibición de la producción de esporas .....	26
CONCLUSIÓN.....	30
LITERATURA CITADA .....	31

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación de las principales especies de <i>Alternaria</i> spp. según su modelo de esporulación. ....	3
<b>Cuadro 2.</b> Porcentajes de Inhibición del crecimiento micelial de <i>A. alternata</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de gobernadora. ....	21
<b>Cuadro 3.</b> Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de gobernadora contra el hongo <i>A. alternata</i> . ....	22
<b>Cuadro 4.</b> Porcentajes de Inhibición del crecimiento micelial de <i>A. alternata</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de canela. ....	23
<b>Cuadro 5.</b> Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de canela contra el hongo <i>A. alternata</i> . ....	24
<b>Cuadro 6.</b> Porcentajes de Inhibición del crecimiento micelial de <i>A. alternata</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de cítricos. ....	25
<b>Cuadro 7.</b> Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de cítricos contra el hongo <i>A. alternata</i> . ....	26
<b>Cuadro 8.</b> Inhibición de producción de esporas de <i>A. alternata</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de gobernadora. ....	27
<b>Cuadro 9.</b> Inhibición de producción de esporas de <i>A. alternata</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de canela. ....	28
<b>Cuadro 10.</b> Inhibición de producción de esporas de <i>A. alternata</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de cítricos. ....	29

## INTRODUCCIÓN

El hongo patógeno *Alternaria alternata* de la clase *Dothideomycetes*, dispone de una vasta gama de hospederos siendo más de 380 especies vegetales, entre ellos destacan: cítricos, tomate, trigo, papaya, entre otros (Lawrence y Gannibal, 2014). Este microorganismo está presente en todos lados ya que perjudica no solo a la agricultura y sus productos, sí no también a la salud humana y animales, siendo normal su presencia en el ambiente, incitando el desarrollo de enfermedades graves y difíciles de tratar, como alergia nasal y asma bronquial (Kumar *et al.*, 2020). En el sector agrícola tiende a ser un hongo polífago, ya que afecta a muchos tipos de plantas y cultivos causando pudriciones, manchas en las hojas y decoloraciones, este hongo es beneficiado por la madurez, estrés y senescencia del hospedero (López *et al.*, 2019). En tal sentido si no se toman las medidas de manera oportuna para detener la infección, los daños pueden extenderse a toda la planta y afectarla severamente, para ello existen diferentes formas para controlar la proliferación de este hongo y una de ellas es el control químico mediante el uso de fungicidas pertenecientes a los grupos de estrobilurinas, triazoles, benzimidazoles y dicarboximidias (Cunha *et al.*, 2019). Es importante tener en cuenta que el uso de fungicidas químicos puede ser costoso y tener efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, por lo tanto, se buscan alternativas ecológicas y sostenibles mediante la utilización de extractos vegetales, que a diferencia de los productos químicos sintéticos tienen la virtud de ser menos tóxicos para el ambiente y para los seres humanos (Bezerra *et al.*, 2021).

El uso de extractos vegetales para el control de *A. alternata* puede ser efectivo siempre y cuando se elija el tipo de extracto adecuado y se aplique en el momento oportuno (Mujawar y Misal, 2017). Sin embargo, en muchos casos, su eficacia puede ser limitada por diversos factores, como su baja estabilidad y la posibilidad de degradación por la acción de factores ambientales (Yadav y Kumar, 2017). Se han desarrollado nuevas estrategias para potencializar la eficacia de los extractos vegetales, como la adición de carbón activo y nano partículas de hidróxido de silicio;

el carbón activo es un material poroso que se obtiene a partir de materiales orgánicos y que se caracteriza por su alta capacidad de absorción, ya que puede absorber una variedad de compuestos orgánicos, incluyendo productos químicos tóxicos y contaminantes (García y Múzquiz, 2020). Por otro lado, las nanopartículas de hidróxido de silicio tienen propiedades antimicrobianas y fúngicas, pudiendo mejorar la estabilidad y la biodisponibilidad de los extractos vegetales (Florensa, 2019). En este contexto se ha demostrado que la combinación de extractos vegetales con carbón activo y nano partículas de hidróxido de silicio pueden mejorar significativamente su actividad como controladores de *A. alternata* aumentando su capacidad para inhibir el crecimiento de hongos (Chen *et al.*, 2021).

### **Objetivo General**

Evaluar *in vitro* la capacidad inhibitoria de los extractos vegetales de gobernadora (*Larrea tridentata*), canela (*Cinnamomum verum*) y cítricos (*Citrus spp.*), tanto de manera individual, como adicionados con carbón activo y nano partículas de hidróxido de silicio en el control de *Alternaria alternata*.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar la actividad antifúngica de los extractos de Gobernadora, Canela y Citricos solos y adicionados con carbón activo y nano partículas de hidróxido de silicio para determinar la capacidad de inhibición en el crecimiento de *A. alternata*.
- Determinar la efectividad de los extractos vegetales en cada uno de los tratamientos para inhibir la producción de esporas de *A. alternata*.

### **Hipótesis**

Al menos uno de los extractos solos o en combinación serán efectivos para el control de *A. alternata*.

## REVISIÓN LITERATURA

### ***Alternaria* spp.**

#### Historia y morfología

El género *Alternaria* fue nombrado "*Alternaria*" en 1887 por el micólogo alemán Heinrich Anton de Bary, debido a la forma de "alternancia" en la que las esporas de estos hongos se producen durante su ciclo de vida (De Bary, 1887). Debido a la falta de un ciclo de reproducción sexual, *Alternaria* ha sido clasificado como un género de hongos mitospóricos o imperfectos (Pavón *et al.*, 2015).

*Alternaria* spp. pertenece al orden Pleosporales y a la familia Pleosporaceae, este género de hongos es ampliamente distribuido y comprende cientos de especies diferentes, habiendo alrededor de 300 especies de *Alternaria* identificadas, que se agrupan en seis grandes categorías según las características de sus conidios y su patrón de esporulación Cuadro 1. (Simmons, 2007). La mayoría de las especies de *Alternaria* son saprofitas, lo que significa que obtienen su nutrición de materia orgánica muerta. Estos hongos pueden causar enfermedades en plantas y animales, incluyendo al ser humano, se encuentran comúnmente en el suelo, aire, y materiales orgánicos en descomposición y se caracterizan morfológicamente por generar conidióforos simples y erectos que producen cadenas de conidios, ya sean simples o ramificados, también llamados dictiosporas, son multicelulares, de color pardo, con septos transversales y longitudinales (Rivas y Mühlhauser, 2014).

**Cuadro 1.** Clasificación de las principales especies de *Alternaria* spp. según su modelo de esporulación (Pavón *et al.*, 2015).

Grupo	Modelo de Esporulación	Especies
<i>Alternaria porri</i>	Conidios alargados, generalmente solitarios. Presencia de un apéndice terminal heterogéneo.	<i>A. brassicae</i> , <i>A. cucumerina</i> , <i>A. dauci</i> , <i>A. limicola</i> , <i>A. macrospora</i> , <i>A. porri</i> y <i>A. solani</i> .
<i>A. radicina</i>	Conidios solitarios o en pequeñas cadenas.	<i>A. japonica</i> , <i>A. petroselini</i> , <i>A. radicina</i> y <i>A. smyrnii</i> .

<b><i>A. tenuissima</i></b>	Conidióforos primarios cortos. Cadenas de conidios, ocasionalmente ramificadas.	<i>A. gaisen</i> , <i>A. longipes</i> , <i>A. mali</i> y <i>A. tenuissima</i> .
<b><i>A. alternata</i></b>	Conidióforos primarios cortos. Cadenas de conidios ramificadas.	<i>A. alternata</i> , <i>A. citri</i> y <i>A. dumosa</i> .
<b><i>A. arborescens</i></b>	Conidióforos primarios alargadas. Cadenas de conidios apicales, en ocasiones ramificadas.	<i>A. arborescens</i> , <i>A. armoraciae</i> y <i>A. senecionicola</i> .
<b><i>A. infectoria</i></b>	Conidios en forma de agregados o cadenas. Elevado número de conidios secundarios.	<i>A. conjuncta</i> , <i>A. infectoria</i> , <i>A. novae-zelandiae</i> y <i>A. oregonensis</i> .

## Ecología

*Alternaria* spp. experimenta variaciones en su desarrollo debido a factores ambientales, especialmente temperatura y humedad. Aunque su rango óptimo de crecimiento es de 22 a 28°C, la temperatura más propicia es de 25°C para la esporulación, pudiendo sobrevivir en un intervalo de -3°C a 35°C (Sommer, 1985). Esto la hace responsable de alteraciones en alimentos almacenados en condiciones de refrigeración o congelación. Su crecimiento se favorece con altos niveles de actividad de agua ( $a_w$ ), alcanzando un desarrollo mínimo a 0,84  $a_w$ , pero con un óptimo crecimiento a 0,99  $a_w$  (Oviedo *et al.*, 2011). A pesar de que se estudia en entornos y medios de cultivo adecuados para su desarrollo, su crecimiento puede ser alterado en piensos, alimentos y otros materiales debido a la presencia de elementos inhibidores que dificultan su desarrollo (Magan y Baxter, 1994).

## Importancia Económica

*Alternaria* spp. es un género de hongos que tiene gran importancia a nivel mundial debido a su impacto en la agricultura y la producción de alimentos, estos hongos son conocidos por causar enfermedades en una amplia variedad de plantas,



incluyendo cultivos importantes como soja, trigo, cebada, tomate, manzana y otros (Cooke, 2014). La presencia de *Alternaria* spp. en los cultivos puede reducir significativamente su rendimiento y calidad, lo que puede tener un impacto negativo en la economía global y en la seguridad alimentaria. Además, algunos hongos del género *Alternaria* pueden producir micotoxinas, que pueden ser perjudiciales (Magan y Aldred, 2007).

La presencia de *Alternaria* spp. también es un problema en la industria alimentaria, ya que estos hongos pueden contaminar los alimentos durante su producción, almacenamiento y distribución (Ballester *et al.*, 2014). Esto puede llevar a la aparición de mohos en los alimentos y a la producción de micotoxinas como: altertoxinas, ácido tenuazónico, y alternariol y sus derivados, mismos que se han demostrado tienen efectos citotóxicos, mutagénicos y carcinogénicos en estudios *in vitro*, lo que puede ser perjudicial para la salud humana y animal (Prados, 2022).

Especies de mayor importancia en todo el mundo

Entre las especies más importantes de *Alternaria* a nivel mundial se encuentran *A. solani*, que causa el tizón temprano en la papa (Castellanos, 2004); *A. alternata*, que produce alternariosis en tomate (Alcedo *et al.*, 2018); *A. tenuissima*, que puede causar asma y otros problemas respiratorios en seres humanos (Velázquez-González, 2022); *A. citri*, que es un patógeno importante de los cítricos en todo el mundo; *A. brassicicola*, que afecta principalmente a los cultivos de brócoli, coliflor y otros miembros de la familia *Brassicaceae* (Ferreira y Boley, 1991); *A. dauci*, que causa manchas en las hojas de la zanahoria y puede disminuir la producción; *A. mali*, que afecta el manzano y puede causar manchas en las hojas, ramas y frutos (Jones y Aldwinckle, 2002) ; *A. porri*, que causa manchas foliares y bulbosas en las cebollas y los puerros; *A. raphani*, que afecta los cultivos de rábano y puede causar manchas en las hojas y los frutos; y *A. cucumerina*, que puede afectar los cultivos de pepino y calabaza, causando manchas y descomposición de los frutos. Cada especie tiene características específicas que las hacen importantes en la industria agrícola y la salud humana (Kumar *et al.*, 2018).

### ***Alternaria alternata***

Este hongo fitopatógono causa la enfermedad conocida como Alternariosis que afecta a diversas especies de plantas de importancia económica. Las infecciones de *A. alternata* pueden resultar en la pérdida de rendimiento y calidad de los cultivos, lo que puede tener un impacto económico negativo en los agricultores y la industria alimentaria. Además, la presencia de *A. alternata* en los productos agrícolas puede representar un riesgo para la salud pública debido a la producción de micotoxinas por parte del hongo (SENASA, 2015; Chen *et al.*, 2019).

#### Ubicación taxonómica

Kumar *et al.*, (2019), ubican a este hongo de la siguiente forma:

Reino: Fungi

División: Ascomycota

Clase: Dothideomycetes

Orden: Pleosporales

Familia: Pleosporaceae

Género: *Alternaria*

Especie: *Alternaria alternata*

De Bary, A. (1884).

#### Morfología

*A. alternata* es un hongo filamentoso que se caracteriza por presentar conidióforos simples y tabicados, en la extremidad de estos conidióforos se forman cadenas largas y a menudo ramificadas de conidios de múltiples formas, que tienen un color marrón oscuro y están marcados por septos transversales y verticales (Rubio *et al.*, 2007). Los conidios se forman en conidióforos erectos, ramificados y miden aproximadamente 100-150  $\mu\text{m}$  de longitud; Los conidios son oblongos, con una forma variable y miden alrededor de 20-60  $\mu\text{m}$  de longitud y 10-25  $\mu\text{m}$  de ancho;

Los conidios pueden ser solitarios o se pueden formar en cadenas. Las cadenas de conidios tienen una forma de racimo de uvas; Los conidios tienen una pared celular gruesa y una superficie lisa o rugosa (Ma *et al.*, 2021). Sus hifas son delgadas, ramificadas y septadas. Se extienden radialmente desde el centro de la colonia y forman un patrón de crecimiento característico. Las hifas tienen un diámetro de 3-5  $\mu\text{m}$  y están pigmentadas de manera variable, transparentes hasta ligeramente marrón. Las colonias de *A. alternata* crecen rápidamente en el medio de cultivo alcanzan un tamaño de 5-7 cm de diámetro en 7 días. La colonia es inicialmente de color blanco o grisáceo y se vuelve de color marrón oscuro a negro con el tiempo, la textura de la colonia es terrosa y aterciopelada (Pandey *et al.*, 2019).

#### Distribución Mundial

*A. alternata*, un hongo fitopatógeno de amplia distribución a nivel mundial, ejerce un impacto significativo en cultivos de importancia económica (Kumar *et al.*, 2017). Esta especie afecta a una diversidad de cultivos cruciales. Su presencia se extiende desde regiones tropicales hasta templadas, adaptándose a diversas condiciones climáticas (Bensch *et al.*, 2012). La capacidad de *A. alternata* para colonizar una extensa variedad de hospedantes agrícolas contribuye a su relevancia como un desafío constante para la producción agrícola global (Woudenberg *et al.*, 2013). La dispersión de esporas a través del viento y otros vectores, además de la resistencia a diferentes condiciones ambientales, hace que este hongo sea un agente patogénico persistente que requiere estrategias de manejo integrado para minimizar sus impactos en la producción y calidad de los cultivos (Perelló *et al.*, 2016).

#### Distribución en México

Se ha investigado el hongo fitopatógeno *A. alternata* en varios cultivos importantes en México; ya que puede afectar una amplia gama de plantas, como hortalizas, tomate, papa, cítricos y algodón (Gómez-Leyva *et al.*, 2019). Su propagación se ve favorecida por condiciones climáticas específicas, como temperaturas cálidas y humedad, creando un entorno favorable para su desarrollo. La presencia de *A. alternata* en diversas regiones del país ha generado preocupaciones en la

comunidad agrícola, ya que las infecciones pueden causar pérdidas significativas en la producción y calidad de los cultivos, lo cual afecta la economía agrícola nacional (González-Hernández *et al.*, 2016).

#### Principales cultivos afectados

*A. alternata*, un fitopatógeno de amplia incidencia, entre los cultivos más afectados se encuentran el tomate, papa, cítricos, manzana, plátano y hortalizas de hojas verdes como la lechuga y la espinaca. En el tomate y papa, la presencia del fitopatógeno puede resultar en daños considerables en los campos y afectar la calidad de los productos finales. En los cultivos de cítricos, provoca la conocida "mancha marrón", reduciendo el valor comercial de las frutas. Asimismo, en manzana, plátano y hortalizas de hojas verdes, esta enfermedad compromete la apariencia, calidad y rendimiento de los cultivos (Patel y Sarma, 2019).

#### Signos y síntomas

Algunos de los signos y síntomas más comunes de la infección por *A. alternata* como fitopatógeno de plantas son pequeñas manchas circulares o irregulares de color marrón, rodeadas por un anillo de color amarillento en las hojas inferiores de la planta, extendiéndose gradualmente hacia las hojas superiores y eventualmente provocar su marchitamiento y caída; En el caso de los frutos, las lesiones aparecen como manchas redondeadas, ligeramente hundidas y de color marrón oscuro con bordes bien definidos; Estas lesiones son duras y secas al tacto, y suelen localizarse en la zona del tallo o del cáliz del fruto (Ruesta y Rodríguez, 1992). En condiciones de alta humedad y temperatura, la infección progresa rápidamente y se desarrolla un moho gris-negro sobre la superficie de los frutos infectados; En el interior de los frutos, se produce una pudrición de olor desagradable de consistencia firme y esponjosa de color obscuro que avanza en forma de cuña y puede llegar hasta la zona de las semillas; A veces, es posible encontrar signos de pudrición interna en frutos que parecen sanos en su superficie (SENASA, 2015). En algunos cultivos como las hortalizas de raíz, la infección por *A. alternata* puede provocar la pudrición de las raíces, con un aspecto marrón oscuro y una textura suave y acuosa. En casos más graves de infección, las plantas pueden experimentar un marchitamiento

generalizado, con una disminución en su crecimiento y eventual muerte. El marchitamiento se produce cuando el patógeno invade los tejidos vasculares de la planta, lo que impide la circulación normal de agua y nutrientes. Con el tiempo, las hojas y tallos de las plantas afectadas pueden mostrar un aspecto seco y quebradizo, lo que indica la pérdida de turgencia de las células (Atanasova *et al.*, 2021).

#### Ciclo biológico de *Alternaría alternata*

El ciclo biológico de *A. alternata* en plantas comienza con la producción de esporas, estos conidios pueden ser liberados al aire o transportados por el agua, el viento, los insectos y otros animales. Cuando los conidios entran en contacto con una superficie adecuada, pueden germinar y producir un tubo germinal que penetra la superficie de la planta a través de heridas o aberturas naturales como las estomas de las hojas, el hongo comienza a colonizar y alimentarse de los tejidos vegetales, y produce toxinas que pueden dañar aún más la planta (Marín *et al.*, 2018). A medida que el hongo coloniza la planta, también produce más conidios que pueden ser liberados y diseminados a otras plantas cercanas por el viento, la lluvia, los animales y otros medios. Los conidios pueden infectar otras plantas cercanas o residuos vegetales en el suelo, y esto resulta en un ciclo repetido de la infección y la propagación de la enfermedad, lo que finalmente provoca una mayor propagación de la enfermedad y una disminución en la salud de las plantas afectadas (Zhang *et al.*, 2020; Bueno *et al.*, 2021). El hongo *A. alternata* se puede aislar y crecer en medios de cultivo, como el Agar-Sabouraud, Papa-Dextrosa-Agar (PDA) y harina de maíz, no obstante, se utiliza principalmente el Agar-Papa-Zanahoria para su identificación (Rivas y Mühlhauser, 2014).

#### Estrategias de control

Para prevenir el hongo *A. alternata*, se recomienda evitar cultivar plantas sensibles en zonas húmedas, poco ventiladas y evitar todas las situaciones que favorezcan la humedad y dificulten la circulación del aire. Además, es importante no regar en exceso los cultivos, especialmente usando sistemas de riego por inundación, y evitar el exceso de abono en las últimas fases del crecimiento de los frutos, ya que

esto puede favorecer el desarrollo del hongo; De igual forma la eliminación de restos vegetales y la desinfección de herramientas, puede reducir la incidencia y severidad de la infección (Sánchez y Bush, 2001). No obstante, cuando ya se tiene la invasión del patógeno sobre el cultivo o ya se encuentra presente la enfermedad se pueden implementar diversas prácticas de control, como lo es el químico, donde se usa fungicidas como estrategia común para controlar *A. alternata* valiéndose de los triazoles, estrobilurinas, benzimidazoles y ditiocarbamatos, entre otros (Mustafa *et al.*, 2022). El control químico es una estrategia comúnmente utilizada para combatir la infección por *A. alternata* en cultivos agrícolas, sin embargo, el uso de fungicidas sintéticos tiene algunas desventajas ya que pueden generar resistencia en las poblaciones de hongos, lo que limita la eficacia de los tratamientos y aumenta el riesgo de brotes de infección. Además, algunos fungicidas pueden tener efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente, incluyendo la contaminación del agua y la reducción de la biodiversidad (Köhl *et al.*, 2019). Como alternativa al control químico, se han identificado algunos extractos vegetales con propiedades antifúngicas que pueden ser utilizados para el control de *A. alternata*, estos extractos se obtienen de diversas especies vegetales, como ajo, jengibre, clavo de olor, romero, entre otros (Flores-González *et al.*, 2020).

Los extractos vegetales contienen compuestos bioactivos que pueden inhibir el crecimiento y la propagación de *A. alternata*, como polifenoles, terpenoides, alcaloides y ácidos grasos, estos compuestos actúan sobre diferentes aspectos del ciclo de vida del hongo, como la germinación de esporas, la penetración del tejido vegetal y la formación de micelio (Goudjal *et al.*, 2014). Además, los extractos vegetales son una alternativa más sostenible y amigable con el medio ambiente al control químico, ya que se obtienen de fuentes naturales y no generan residuos tóxicos, también pueden tener efectos beneficiosos sobre la calidad de los cultivos, como el aumento del contenido de antioxidantes y otros compuestos bioactivos (González-Delgado *et al.*, 2018).

## Extractos Botánicos

Los extractos botánicos ganan popularidad como alternativa en el control de enfermedades agrícolas, estos extractos contienen compuestos antifúngicos y antibacterianos, siendo una opción más asequible y económica que los pesticidas químicos. Los agricultores encuentran atractiva esta alternativa, especialmente por su eficacia en el control de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos (Paul *et al.*, 2020). En este contexto, se ha investigado ampliamente el uso de extractos botánicos como método alternativo en ensayos de campo y laboratorio con alta efectividad antifúngica. Además, pueden tener efectos beneficiosos en la nutrición y crecimiento de las plantas (Gómez-López *et al.*, 2020).

### Extracto de gobernadora

La planta gobernadora "*Larrea tridentata*", también conocida como creosota, chaparral o jarilla, es un arbusto perenne que se encuentra principalmente en regiones áridas y semiáridas de América del Norte, incluyendo el suroeste de los Estados Unidos y México (Lara *et al.*, 2019). El extracto de gobernadora tiene compuestos bioactivos como los flavonoides, lignanos, terpenoides y alcaloides, (López-Martínez *et al.*, 2017). Por lo tanto, cuenta con un potencial significativo como inhibidor de hongos fitopatógenos en la agricultura; Además, se ha demostrado que el extracto de gobernadora tiene efectos positivos en la actividad antioxidante de los cultivos tratados, lo que sugiere que el extracto de gobernadora no solo puede prevenir la propagación de hongos patógenos, sino que también puede mejorar la salud general de los cultivos (Ramos-López *et al.*, 2019).

### Extracto de canela

La canela es un árbol perenne pertenece a la familia de las Lauráceas y es originaria de Sri Lanka y el sur de la India, la planta de canela es cultivada en muchas partes del mundo tropical y subtropical, incluyendo Indonesia, Vietnam, China, Madagascar, Brasil y varios países de América Latina (FAO, 2018). La canela es una especia muy popular que se obtiene de la corteza interna de los árboles del género *Cinnamomum*. existen muchas especies de canela, pero las más utilizadas son la canela de Ceilán o canela verdadera (*Cinnamomum verum*) y la canela de

*Cassia* (*Cinnamomum cassia*) (Pérez-Morales *et al.*, 2021). El extracto de canela presenta un potencial antifúngico en la agricultura debido a sus propiedades naturales. Los compuestos activos de la canela, como el cinamaldehído, eugenol y ácido cinámico, han demostrado una actividad antifúngica contra una amplia variedad de hongos patógenos de plantas (Claramunt, 2015).

El uso de extracto de canela como fungicida en la agricultura presenta varias ventajas en comparación con los fungicidas químicos convencionales. En primer lugar, es una alternativa sostenible y segura para el medio ambiente y para la salud humana debido que el uso de la canela puede reducir la cantidad de residuos químicos en los cultivos, además, los compuestos activos de la canela son naturales y biodegradables (Mishra *et al.*, 2013). El uso prolongado de fungicidas químicos ha generado resistencia en los hongos patógenos, mientras que el extracto de canela presenta una actividad antifúngica multifuncional ya que actúa sobre los hongos patógenos de varias maneras, incluyendo la inhibición de la germinación de las esporas, la interrupción de la síntesis de la pared celular de los hongos y la inhibición de la actividad enzimática de los hongos; Por otra parte, puede combatir diferentes patógenos simultáneamente (Zhou *et al.*, 2018). El extracto de canela también es fácil de obtener y aplicar en la agricultura, ya que puede ser obtenido a partir de la corteza del árbol de canela y aplicado en forma de extracto acuoso, aceite esencial o polvo. Además, el extracto de canela tiene una amplia gama de efectos positivos en las plantas, incluyendo la estimulación del crecimiento y la resistencia, lo que puede mejorar la salud general de las plantas y reducir su susceptibilidad a enfermedades, convirtiéndolo en una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente que los fungicidas químicos convencionales, ya que no tiene efectos negativos sobre la salud humana ni sobre la biodiversidad, y no deja residuos tóxicos en el suelo y en las plantas (López-Gómez *et al.*, 2020).

#### Extracto de cítricos

El género *Citrus* incluye varias especies como *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus limon* (limón), *Citrus aurantifolia* (lima) y *Citrus reticulata* (mandarina), entre otros, de igual manera el extracto de cítricos es un producto natural obtenido de los residuos de



dicho género, el cual, se produce mediante la extracción de los aceites esenciales y los compuestos bioactivos presentes en la piel y la pulpa de los cítricos; este extracto ha demostrado tener propiedades antimicrobianas y antifúngicas en diferentes aplicaciones, incluyendo en la agricultura (Alves *et al.*, 2019). Los cítricos contienen compuestos bioactivos como los flavonoides, limonoides, ácido cítrico, ácido ascórbico, entre otros, que tienen efectos biocidas sobre una variedad de microorganismos (Nunes y Marques, 2021).

Estudios han demostrado que el extracto de cítricos puede inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos como *Alternaria*, *Fusarium*, *Botrytis*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Sclerotinia*; encima, puede estimular la actividad microbiana beneficiosa en el suelo, lo que puede mejorar la salud de las plantas y reducir la incidencia de enfermedades (Marinozzi *et al.*, 2020).

La utilización del extracto de cítricos como fungicida puede presentar diversos beneficios sobre los pesticidas químicos convencionales. Por ejemplo, los pesticidas químicos pueden tener efectos tóxicos no deseados en el medio ambiente y la salud humana, mientras que el extracto de cítricos es biodegradable y seguro para su uso en la agricultura orgánica ya que puede mejorar la calidad de los cultivos y aumentar los rendimientos. Adicionalmente, el uso de dicho extracto puede ayudar a reducir la resistencia a los pesticidas químicos (Zhang *et al.*, 2020).

### **Nanotecnología**

La nanotecnología está enfocada en materiales a escala atómica y molecular como; las nanopartículas metálicas y derivadas del carbón, para su uso en la agricultura (Carrasco-Flores, 2013). Mostrando resultados positivos sobre su efectividad en el crecimiento de plantas, siendo diversas sus aplicaciones, como nano-fertilizantes, inductores de crecimiento y formas especializadas de liberar fertilizantes, además de su uso como plaguicidas. Dada la necesidad de mejorar la productividad agrícola, estos nano productos están jugando un papel importante en la agricultura sostenible. También se exploran sus posibles contribuciones en la detección temprana de enfermedades y la modificación genética de plantas para resistir distintas amenazas (Lira-Saldivar, 2016).

## Nano partículas de hidróxido de silicio

Las nano partículas de hidróxido de silicio son partículas extremadamente pequeñas de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) que tienen un diámetro de menos de 100 nanómetros; Al igual que poseen una gran área de superficie y propiedades únicas que las hacen atractivas para su uso en diversas aplicaciones (NIOSH, 2020). Destacando en sectores como el agrícola ya que optimiza la calidad de los cultivos, debido a que pueden aumentar la absorción de nutrientes y reducir la pérdida de agua en las plantas. Esto se debe a que pueden formar una capa protectora en la superficie de las raíces, lo que reduce la evaporación y la pérdida de agua y nutrientes, también pueden aumentar el tamaño y la calidad de los frutos y reducir la oxidación y la descomposición de los productos agrícolas después de la cosecha (Tsuji, 2001). Además, se ha demostrado que pueden estimular la síntesis de compuestos de defensa en las plantas, como la lignina y los polifenoles, lo que aumenta su resistencia a las enfermedades, de todas estas aplicaciones la más atractiva es su potencial como potenciador de extractos vegetales con fines de bio-fungicida (García-Sánchez *et al.*, 2019).

Se ha explorado el uso de nano partículas de hidróxido de silicio para mejorar la eficacia de los extractos vegetales como fungicidas naturales. Estas nano partículas tiene una alta superficie específica recubierta de grupos hidroxilo (-OH), lo que les confiere una carga eléctrica positiva, que a su vez les permite interactuar con las moléculas y superficies cargadas negativamente, como las membranas celulares de los microorganismos, esto puede aumentar la eficacia y estabilidad del extracto vegetal como fungicida natural y reducir la cantidad necesaria para lograr un control eficaz de las enfermedades de las plantas (Marin-Felix *et al.*, 2018).

Además, las nano partículas de hidróxido de silicio también pueden proteger los compuestos bioactivos de los extractos vegetales de la oxidación y la degradación, lo que aumenta su estabilidad y prolonga su vida útil; Esto es particularmente importante para los extractos vegetales que son sensibles al calor y a la luz, lo que limita su uso práctico debido a la estabilidad y eficacia que estos factores le restan,

ya que la encapsulación en las nano partículas de hidróxido de silicio puede protegerlos de los diversos factores ambientales (Li *et al.*, 2019).

### Carbón activo

El carbón activo se produce a partir de materiales carbonosos como la cáscara de coco, la turba, la madera y otros materiales orgánicos. Este tiene un potencial significativo como bio-controlador de hongos fitopatógenos en la agricultura debido a su estructura porosa única y su alta área superficial hacen que sea capaz de adsorber una amplia variedad de compuestos químicos y biológicos del ambiente, de igual modo eliminar toxinas, compuestos orgánicos volátiles y patógenos del suelo y el agua (Kaur *et al.*, 2019). Se ha demostrado que la aplicación de carbón activo en el suelo puede reducir la incidencia de enfermedades fúngicas como la pudrición de la raíz y la pudrición de la corona (Yao *et al.*, 2012). Al igual que puede mejorar la salud del suelo al estimular el crecimiento de microorganismos beneficiosos y mejorar la retención de agua y nutrientes en el suelo. Adicionalmente, puede ayudar a reducir la toxicidad del suelo al adsorber y eliminar los contaminantes químicos (Huang *et al.*, 2018)

El carbón activo al ser combinado con extractos vegetales puede aumentar la capacidad de los extractos para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos en el suelo y las plantas. Ya que el mismo puede adsorber y estabilizar los compuestos bioactivos en los extractos, lo que aumenta su biodisponibilidad y prolonga su acción en el suelo (Gómez-López, 2020).

Además, la combinación de adsorción por parte del carbón activado y la acción fungicida de los compuestos vegetales crea una sinergia. Mientras que el carbón activado elimina físicamente patógenos del entorno, los compuestos fungicidas de los extractos vegetales actúan directamente sobre los hongos, proporcionando así una defensa integral contra las enfermedades (Uysal *et al.*, 2016). Estudios han demostrado que el carbón activado puede adsorber microorganismos como bacterias y virus en su superficie debido a su estructura porosa (Nakano *et al.*, 2008).

También, el uso de extractos vegetales combinados con carbón activo puede tener un impacto beneficioso en el medio ambiente y la salud humana, debido a que, el carbón activo es un material biodegradable y no tóxico, lo que lo hace seguro para su uso en la agricultura orgánica, incluso, al ser un material renovable y fácil de producir, lo convierte en una alternativa rentable y sostenible a los fungicidas químicos convencionales (Kumar y Sharma, 2021).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Ubicación del Experimento**

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Saltillo, Coahuila, México.

### **Obtención del Fitopatógeno**

La cepa de *Alternaria alternata* utilizada en este proyecto fue proporcionada por el cepario del Laboratorio de Toxicología.

### **Extractos Botánicos**

En esta investigación, se evaluaron tres extractos de origen vegetal: Gobernadora (*Larrea tridentata*), Canela (*Cinnamomum verum*) y Cítricos (*Citru* spp.), solos y adicionados al 5% de nano partículas de hidróxido de silicio y carbón activado.

### **Diseño Experimental**

Se ejecutó un diseño experimental completamente al azar. Se evaluaron seis concentraciones distintas (500, 700, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm) para cada uno de los extractos solos y en combinación. Además de un testigo químico (tiabendazol) y un testigo absoluto conformados por cuatro repeticiones.

### **Reactivación de la Cepa**

La reactivación de la cepa, se llevó a cabo colocando un explante de 5 mm de diámetro en cajas Petri adicionadas con Papa Dextrosa Agar (PDA), incubándose a una temperatura constante de  $27 \pm 2$  °C.

### **Evaluación de la efectividad biológica**

Se evaluó la capacidad antifúngica de los extractos vegetales mediante la técnica del medio de cultivo envenenado en agar, para ello se llenaron matraces Erlenmeyer con agua destilada, y se añadieron las cantidades apropiadas de PDA siguiendo la recomendación del fabricante MCD LAB, Los matraces se cubrieron con papel aluminio y se agitaron suavemente y con frecuencia, hasta lograr una completa disolución. Una vez obtenida una mezcla homogénea, se procedió a la esterilización

en autoclave a 121°C y a una presión de 15 PSI durante 15 minutos. Posteriormente, se añadió la cantidad necesaria de extracto para alcanzar las concentraciones deseadas de (500, 700, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm), junto con la combinación predefinida de carbón activado y nanopartículas de hidróxido de silicio en dichas concentraciones, después, se vaciaron los medios en cajas Petri estériles de 8.5 cm de diámetro, transcurridas 24 horas se colocó un explante de 5 mm de diámetro de la cepa.

Para realizar la evaluación de la inhibición, se utilizó un vernier milimétrico, tomando el crecimiento radial de los hongos cada 24 hrs y hasta que el testigo cubrió completamente el diámetro de la caja, se realizaron diariamente dos lecturas radiales cruzadas. Los valores promedio de las medidas se registraron en milímetros (mm). El porcentaje de inhibición se derivó de los valores finales mediante el siguiente cálculo o fórmula:

$$\% \text{ inhibición} = \frac{C-T}{C} * 100$$

Donde:

C = Al diámetro del crecimiento micelial en el testigo (mm)

T = Al diámetro del crecimiento micelial en el tratamiento (mm) (Bahekar *et al.*, 2017).

### **Conteo de Esporas**

Después de completar las mediciones de la evaluación de la efectividad biológica de los extractos botánicos, se procedió a realizar el conteo de esporas en cada una de las unidades experimentales. Para ello, se utilizaron sacabocados de 5 mm de diámetro para tomar cinco explantes, los cuales se colocaron en tubos Falcon. A continuación, se añadieron 10 mL de agua destilada estéril a cada tubo utilizando una pipeta. Cada tubo se etiquetó y se agitó con un vórtex para desprender las esporas del hongo *A. alternata* y homogeneizar la suspensión. Posteriormente, se tomaron 100 microlitros (ul) de la suspensión de esporas y se vertieron en una

cámara de Neubauer, donde se procedió al conteo de esporas para cada uno de los tratamientos. Este proceso se llevó a cabo con la ayuda de un microscopio con un aumento de 40X.

### **Análisis Estadístico**

Con los datos recopilados referentes al porcentaje de inhibición, se llevó a cabo un análisis PROBIT utilizando el software SAS (Statistical Analysis Software) Versión 9.0. Este análisis se efectuó con el propósito de determinar la Concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>) y la Concentración Letal 95 (CL<sub>95</sub>) del fitopatógeno *A. alternata* para cada uno de los extractos botánicos evaluados. Además, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar el porcentaje de inhibición en la producción de esporas de dicho hongo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inhibición del crecimiento Micelial

El crecimiento micelial del testigo de *A. alternata*, se consideró como la referencia total, del cual se calcularon los porcentajes de inhibición para cada uno de los tratamientos. Además, se determinaron los valores de CL50 y CL95 para cada uno de los extractos.

Para el control de *A. alternata*, utilizando el extracto de gobernadora, se observó (Cuadro 2), que el tratamiento que causó mayor inhibición del hongo, fue el extracto solo, que, en sus dos concentraciones más altas de 2500 y 3000 ppm, logró una inhibición del 46.25 y 50.83% respectivamente. Por otro lado, el segundo mejor tratamiento fue gobernadora con nanopartículas de hidróxido de silicio al 5%, alcanzando una reducción del crecimiento del 49.21% a 3000 ppm. Los tratamientos de gobernadora y carbón activado al 5%, mostraron porcentajes de inhibición más bajos, siendo el mayor a 2500 ppm con un 39.53%, ligeramente superando al obtenido en la concentración a 3000 ppm (37.29%) en el mismo tratamiento.

Asimismo, se observó en los resultados del porcentaje de inhibición de *A. alternata* con el tratamiento de extracto solo de gobernadora, que había un mayor control conforme aumentaba la concentración del extracto en el medio, lo que se atribuyó a la presencia de compuestos fenólicos en el extracto, los cuales tienen actividad antifúngica. Esto confirma lo reportado por Bouyahya *et al.*, (2018), que destaca el ácido nordihidroguaiarético (NDGA) presente en la gobernadora, un compuesto fenólico que fortalece las defensas de las plantas para combatir hongos perjudiciales. Además, dicho resultado se asemeja al estudio de Jasso *et al.*, (2007), que informaron una inhibición del 66.4% a 4000 ppm de *L. tridentata* contra *A. alternata*. No obstante, difiere de los hallazgos de Lira-Saldivar *et al.*, (2006), que señalaron una inhibición del 99.5% a 4000 ppm del mismo extracto contra *B. cinerea*. Por otra parte, el resultado obtenido por el segundo mejor tratamiento que fue la combinación de gobernadora con nanopartículas de hidróxido de silicio, respalda lo mencionado por Tejeda *et al.*, (2022), quienes destacan las propiedades



de las nanopartículas de silicio, como son: alta estabilidad química-térmica y amplia área superficial, lo que le permite anclar una gran cantidad de moléculas en su superficie para ser usadas en la agricultura.

**Cuadro 2.** Porcentajes de Inhibición del crecimiento micelial de *A. alternata* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de gobernadora.

Concentración En (ppm).	Tratamientos			
	Extracto de gobernadora solo	Gobernadora + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	Gobernadora + C.A.	Tratamiento químico
<b>500</b>	27.083 ijkl	34.167 ghijk	22.813 kl	52.969 abc
<b>700</b>	25.781 jkl	43.906 cdefg	21.25 l	50.469 abcd
<b>1500</b>	38.333 efghi	36.563 fghij	30.938 hijkl	59.844 ab
<b>2000</b>	43.75 cdefg	36.563 fghij	34.063 ghijk	58.75 ab
<b>2500</b>	<b>46.25</b> cdef	43.281 cdefg	<b>39.531</b> defgh	61.406 a
<b>3000</b>	<b>50.833</b> abcd	<b>49.219</b> bcde	37.292 efghij	61.406 a

Los datos recopilados sobre *A. alternata* permitieron calcular la CL50 y CL95 para cada tratamiento del extracto de gobernadora (Cuadro 3). Donde se determinó que la dosis letal media necesaria del tratamiento, extracto solo de gobernadora para detener el crecimiento del hongo *A. alternata* es de 3096 ppm, mientras que se requiere de 12,965 ppm del tratamiento de gobernadora y nanopartículas de hidróxido de silicio para reducir el desarrollo del fitopatógeno en un 50%, Asimismo, encontramos que 7,861 ppm es la CL50 del tratamiento de gobernadora con carbón activado para controlar el hongo. Demostrando todos estos resultados, una mayor susceptibilidad del fitopatógeno al extracto de gobernadora solo, evidenciado por su CL50 más baja de 3,096 ppm. Estos hallazgos difieren con los informes de (Malacara-Herrera *et al.*, 2023), quienes indicaron una CL50 de 1355 ppm para el crecimiento micelial de *Fusarium acuminatum* con el extracto de gobernadora solo.

**Cuadro 3.** Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de gobernadora contra el hongo *A. alternata*.

Tratamientos	N	CL50	(ppm)		Ecuación de Predicción	
			Límites Fiduciales	CL95		
Extracto de gobernadora solo	4	3096	2238 - 5923	238287	51691 - 10010207	Y=-3.0441 +0.8720(x)
Gobernadora + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	4	12965	-	59,000,000,000	-	Y=-1.0161 +0.2471(x)
Gobernadora + C.A.	4	7861	4042 - 69387	2090920	153040 - 20,535,600,000.	Y=-2.6424 + 0.6783(x)
Tratamiento químico	4	403.90	-	21132913	-	Y=-0.9085 +0.3486(x)

En las pruebas con el extracto de canela (Cuadro 4), el tratamiento con extracto solo, produjo una inhibición del hongo del 32.65% a una concentración de 2500 ppm, siendo la concentración más efectiva. De igual forma el tratamiento combinado de canela con nanopartículas de hidróxido de silicio, demostró ser la más funcional contra *A. alternata*, a una concentración de 500 ppm con un promedio de inhibición del 31.25%. Además, las concentraciones restantes de 700, 1500 y 2000 ppm del mismo tratamiento mostraron promedios de inhibición del 28.90, 16.71 y 18.90% respectivamente, observándose una tendencia inversa. Por otro lado, el tratamiento que combinó canela y carbón activado, presentó un efecto antifúngico menor en comparación con los dos tratamientos previos, ya que la concentración más efectiva fue de 1500 ppm, que mostró un porcentaje de inhibición ante el hongo del 22.18%. Ochoa-Fuentes *et al.*, (2012) reportan que a una concentración mucho menor de 300 ppm inhibió al hongo *Fusarium solani* con un 45.58%, mientras que en las investigaciones hechas por Allam *et al.*, (2017), informaron que una concentración más alta de 20 ppm del extracto de canela inhibía por completo el crecimiento micelial de *B. cinerea*. Por su parte, Barrera y García (2008) encontraron que el aceite esencial de *C. zeylanicum* inhibió en un 35% el crecimiento micelial de

*Fusarium sp.* a una concentración 150 ppm. Resultados similares a lo descrito por Barceloux, (2009) y Tzortzakis, (2009), donde se vincula la aplicación del aceite esencial de canela con actividades de fungicidas, debido a su contenido principal de aldehído cinámico,  $\beta$ -cariofileno, linalool y otros terpenos.

**Cuadro 4.** Porcentajes de Inhibición del crecimiento micelial de *A. alternata* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de canela.

Concentración En (ppm).	Tratamientos			
	Extracto de Canela solo	Canela + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	Canela + C.A.	Tratamiento químico
<b>500</b>	13.438 d	<b>31.25</b> abcd	2.969 d	52.969 ab
<b>700</b>	10 d	<b>28.906</b> abcd	11.406 d	50.469 abc
<b>1500</b>	25 bcd	<b>16.719</b> d	<b>22.188</b> bcd	59.844 a
<b>2000</b>	18.906 cd	<b>18.906</b> cd	9.531 d	58.75 a
<b>2500</b>	<b>32.656</b> abcd	4.688 d	21.25 bcd	61.406 a
<b>3000</b>	22.50 bcd	10.469 d	10.625 d	61.406 a

Basándonos en los datos anteriores sobre el hongo *A. alternata*, se calcularon los valores de CL50 y CL95 para los distintos tratamientos (Cuadro 5), se menciona que la concentración necesaria para controlar al 50% del hongo fue de 18,770 ppm para el extracto solo de canela, 207.33 ppm para la canela con nanopartículas de hidróxido de silicio y 84,766 ppm para la canela con carbón activado, sobresaliendo de estos tres el tratamiento de canela con nanopartículas de hidróxido silicio demostrando una mayor susceptibilidad del fitopatógeno debido a la baja concentración que requiere .

En relación a la CL50 del tratamiento de extracto de canela solo, difiere con lo reportado por Ochoa-Fuentes *et al.*, (2012), quienes reportaron que el extracto de canela tenía una CL50 de 2060 ppm sobre el crecimiento micelial de *F. oxysporum*.

**Cuadro 5.** Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de canela contra el hongo *A. alternata*.

Tratamientos	N	(ppm)				Ecuación de Predicción
		CL50	Límites Fiduciales	CL95	Límites Fiduciales	
Extracto de canela solo	4	18770	-	2820542	-	$Y = -3.2290 + 0.7556(X)$
Canela + NPs de $Si(OH)_4$	4	<b>207.33</b>	72.41052 - 347.40145	7.33058	0.39449 - 29.03157	$Y = +2.6252 - 1.1332(x)$
Canela + C.A.	4	84766	-	30356629	-	$Y = -3.1739 + 0.6440(x)$
Tratamiento químico	4	403.90	-	21132913	-	$Y = -0.9085 + 0.3486(x)$

En relación a los tratamientos con extracto de cítricos, los resultados obtenidos mostraron cierta capacidad para inhibir el crecimiento micelial de *A. alternata* (Cuadro 6.), aunque no alcanzaron la misma efectividad que los extractos mencionados anteriormente. Entre los tratamientos evaluados, se destacó que la combinación de cítricos con nanopartículas de hidróxido de silicio, a una concentración de 500 ppm, logró la mayor inhibición registrada en todos los tratamientos, alcanzando un 12.96%. El tratamiento combinado de cítricos con carbón activado logró una inhibición máxima del 8.12% a la misma concentración de 500 ppm. Por otro lado, el tratamiento de extracto solo de cítricos logró inhibir al hongo *A. alternata* en un 7.96% a esa misma concentración, mostrando una capacidad de inhibición inferior en comparación con los tratamientos combinados.

Estos resultados difieren con lo reportado por Gerardo *et al.*, (1995), quienes observaron una alta inhibición del 94% en el crecimiento de *A. alternata* utilizando un producto natural llamado Bio-C, teniendo como ingrediente activo el citrex, el cual es un extracto de semillas de cítricos, a una concentración de 2000 ppm. Por otro lado, Rodríguez-Prieto (2019) informó que el extracto de cítricos a 300 ppm demostró una inhibición del 20% en *Fusarium oxysporum*. En este sentido, se destaca el estudio de Aristizábal-González (2011), señala que los cítricos como naranja, toronja y mandarina contienen flavonas metoxiladas como la nobiletina,

sinensetina y tangeretina que inhiben el crecimiento de hongos. Estas flavonas son más efectivas que otros flavonoides presentes en la cáscara, lo que sugiere el potencial de los cítricos como fuente de biopesticidas en la agricultura.

**Cuadro 6.** Porcentajes de Inhibición del crecimiento micelial de *A. alternata* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de cítricos.

Concentración En (ppm).	Tratamientos			
	Extracto de cítricos solo	Cítricos + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	Cítricos + C.A.	Tratamiento químico
<b>500</b>	7.969 b	12.969 b	8.125 b	52.969 a
<b>700</b>	0 b	7.188 b	4.844 b	50.469 a
<b>1500</b>	0 b	10.625 b	2.031 b	59.844 a
<b>2000</b>	7.5 b	5.938 b	5.313 b	58.75 a
<b>2500</b>	2.031 b	3.281 b	6.25 b	61.406 a
<b>3000</b>	0 b	7.969 b	3.125 b	61.406 a

Con los datos anteriores se obtuvieron las CL50 y CL95 (Cuadro 7) revelando que el extracto de cítricos junto con carbón activado mostró la CL50 más baja, con una concentración de 0.01116 ppm, seguido por el extracto solo de cítricos con 0.58239 ppm, mientras que el extracto de cítricos con nanopartículas de hidróxido de silicio demostró una dosis efectiva media de 397.77 ppm sobre *A. alternata*. Es importante destacar que estos resultados difieren de lo informado por Landero-Valenzuela (2013), quien indicó que *Colletotrichum gloeosporioides* requiere una concentración de 16.34 ppm del extracto de cáscara de limón para inhibir el 50% del crecimiento del hongo; Por otro lado, Cerna-Chávez *et al.*, (2019) informaron que el compuesto bioactivo D-limoneno, presente en el aceite esencial de cítricos, controlaba el 50% del crecimiento de los hongos *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* y *Alternaria solani* a concentraciones de 2336, 4040 y 1435 ppm, respectivamente.

**Cuadro 7.** Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de cítricos contra el hongo *A. alternata*.

Tratamientos	(ppm)					
	N	CL50	Límites Fiduciales	CL95	Límites Fiduciales	Ecuación de Predicción
Extracto de cítricos solo	4	0.58239	-	0.0007311	-	Y= -0.1331 -0.5669 (x)
Cítricos + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	4	397.77	-	67.00062	-	Y= +5.5277 -2.1264(x)
Cítricos + C.A.	4	0.01116	-	0.0000000963.	-	Y= -0.6341 -0.3248(x)
Tratamiento químico	4	403.90	-	21132913	-	Y= -0.9085 + 0.3486(x)

### Inhibición de la producción de esporas

De acuerdo con los resultados obtenidos en el conteo de esporas del extracto de gobernadora (Cuadro 8) se muestra que el testigo absoluto produjo 1,750,000 esporas/mL, sirviendo como punto de referencia. Al evaluar el porcentaje de inhibición de la producción de esporas en *A. alternata* para cada tratamiento con este extracto, se observa que el extracto de gobernadora y carbón activado, en todas sus concentraciones, inhibieron por completo la producción de esporas, superando incluso al tratamiento químico que logró una inhibición de aproximadamente 92% y 85%; Así mismo, el extracto de gobernadora por sí solo logró inhibir el 100% la producción de esporas a concentraciones de 500, 1500 y 2000 ppm, mientras que la combinación con nanopartículas de hidróxido de silicio logró lo mismo a concentraciones de 1500, 2000 y 3000 ppm. Estos resultados difieren de estudios anteriores (Lira-Saldivar *et al.*, 2006) que encontraron promedios de esporas para *B. cinérea*, *C. coccodes* y *F. oxysporum* de 17,000, 28,000 y 158,000 esporas/mL, respectivamente, al aplicar extracto de *L. tridentata* a 4000 ppm. Por su parte, Malacara-Herrera *et al.*, (2023) informaron que la adición de nanopartículas de óxido de silicio al 5% al extracto de gobernadora a una concentración de 3000 ppm resultaba en un promedio de  $1.17 \times 10^6$  esporas/mL en *Fusarium acuminatum*.

**Cuadro 8.** Inhibición de producción de esporas de *A. alternata* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de gobernadora.

Concentración En (ppm).	Tratamientos			
	Extracto de governadora solo	Governadora + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	Governadora + C.A.	Tratamiento químico
<b>500</b>	<b>0 b</b>	125000 b	<b>0 b</b>	250000 b
<b>700</b>	125000 b	250000 b	<b>0 b</b>	125000 b
<b>1500</b>	<b>0 b</b>	<b>0 ab</b>	<b>0 b</b>	125000 b
<b>2000</b>	<b>0 b</b>	<b>0 a</b>	<b>0 b</b>	250000 b
<b>2500</b>	250000 b	125000 b	<b>0 b</b>	125000 b
<b>3000</b>	1750000 b	<b>0 b</b>	<b>0 a</b>	1000000 b
<b>Testigo</b>	1750000 b			

Para el caso del extracto de canela (Cuadro 9) mostró resultados notables en la inhibición de esporas. El extracto solo de canela eliminó completamente la producción de esporas entre 2000 y 3000 ppm, mientras que la combinación de extracto de canela y nanopartículas de hidróxido de silicio logró el mismo efecto al llegar a 3000 ppm. Por otro lado, la mezcla de cítricos y carbón activado inhibió por completo la formación de esporas de *A. alternata* a 2000 ppm. Sin embargo, estos resultados difieren de estudios previos como Bakalli *et al.*, (2008), donde se informó que el extracto de canela a 600 ppm inhibió por completo varios hongos como *Aspergillus flavus*, *A. ochraceus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Penicillium citrium* y *Penicillium viridicatum*. Además, Bravo-Luna *et al.*, (1998) encontraron un efecto inhibitor del aceite esencial de *C. zeylanicum* en la esporulación de *Fusarium moniliforme* en dosis de 150 a 300 ppm.

**Cuadro 9.** Inhibición de producción de esporas de *A. alternata* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de canela.

Concentración En (ppm).	Tratamientos			
	Extracto de canela solo	Canela + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	Canela + C.A.	Tratamiento químico
<b>500</b>	125000 bc	375000 c	500000 c	250000 bc
<b>700</b>	125000 bc	750000 c	250000 bc	125000 bc
<b>1500</b>	125000 bc	125000 bc	125000 bc	125000 bc
<b>2000</b>	<b>0 ab</b>	375000 bc	<b>0 bc</b>	250000 bc
<b>2500</b>	<b>0 a</b>	250000 bc	250000 bc	125000 bc
<b>3000</b>	<b>0 bc</b>	<b>0 bc</b>	125000 bc	1000000 c
<b>Testigo</b>	1750000 c			

En cuanto al extracto de cítricos (Cuadro 10), se logró una inhibición del 100% en la esporulación en los tres tratamientos a una concentración de 1500 ppm. Los resultados más destacados fueron obtenidos por el extracto de cítricos solo, el cual logró inhibir completamente la producción de esporas de *A. alternata* a concentraciones de 500, 1500 y 2000 ppm. Por otro lado, la combinación de cítricos y nanopartículas de hidróxido de silicio también logró una inhibición total, pero a concentraciones de 500, 1500 y 2500 ppm en adelante. Mientras tanto, el tratamiento de cítricos y carbón activado inhibió la esporulación al 100% en forma sucesiva a partir de 700 a 2000 ppm. Sin embargo, estos resultados difieren con los hallazgos reportados por Alzate *et al.*, (2009), quienes no observaron un efecto inhibitorio en ninguna de las concentraciones evaluadas (de 100 a 12000 ppm) del extracto de cáscara de cítricos rico en limoneno, sobre *F. oxysporum*. Asimismo, Daquilema (2016) encontró que el aceite esencial de corteza de naranja, a una concentración de 2500 ppm, logró inhibir a *Fusarium* sp. hasta un 79.80%.



**Cuadro 10.** Inhibición de producción de esporas de *A. alternata* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de cítricos.

Concentración En (ppm).	Tratamientos			
	Extracto de cítricos solo	Cítricos + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	Cítricos + C.A.	Tratamiento químico
<b>500</b>	<b>0 bc</b>	<b>0 bc</b>	125000 c	250000 c
<b>700</b>	250000 c	250000 c	<b>0 bc</b>	125000 bc
<b>1500</b>	<b>0 bc</b>	<b>0 bc</b>	<b>0 bc</b>	125000 c
<b>2000</b>	<b>0 ab</b>	125000 bc	<b>0 bc</b>	250000 c
<b>2500</b>	125000 c	<b>0 a</b>	125000 bc	125000 c
<b>3000</b>	<b>0 bc</b>	<b>0 bc</b>	125000 c	1000000 b
<b>Testigo</b>	1750000 b			

## CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el extracto de gobernadora es una opción efectiva para combatir al hongo *A. alternata*, ya que no solo disminuyó el crecimiento del hongo, sino también la producción de esporas.

El extracto de canela y cítricos, por su parte, no lograron inhibir al 100% el crecimiento del hongo, pero sí redujeron la producción de esporas.

Las nanopartículas de hidróxido de silicio y el carbón activado redujeron la producción de esporas al combinarse con cada uno de los extractos, siendo una alternativa para su uso en la agricultura.

## LITERATURA CITADA

- Alves, M. A., Pires, J. M., Dias, M. I., Almeida, J. M., Pintado, M. E., y Castro, M. F. (2019). Citrus extracts: ecological and sustainable alternatives for plant disease and pest control. *Industrial Crops and Products*, 121-138.
- Allam, S. A., Elkot, G. A., Elzaawely, A. A., y El-Zahaby, H. M. (2017). Control potencial del moho gris poscosecha de frutos de granada causado por *Botrytis cinerea*. *Reinar. Biodiversores. Suelo seguro*, 1, 145–156.
- Alzate, N. A. G., López, K., Marín, A., y Murillo, W. (2009). Evaluación preliminar de la actividad fungicida de los aceites esenciales de eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*, *Myrtaceae*) y cáscara de naranja (*Citrus sinensis*, *Rutaceae*) sobre algunos hongos filamentosos. *Tumbaga*, 1(4), 59-71.
- Aristizábal-González, J. D. (2011). Evaluación de la actividad antifúngica de los extractos de las cáscaras y semillas de tres especies de cítricos contra el hongo fitopatógeno *Fusarium roseum*. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. Recuperado el 06/12/2023 de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8842/tesis787.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcedo, Y. C., y Reyes, I. (2018). Microorganismos promotores de crecimiento en el biocontrol de *Alternaria alternata* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Bioagro*, 30(1), 59-66. ISSN 1316-3361.
- Atanasova, L., Lebeda, A., Denev, I., Krastanov, A., y Karapetrova, M. (2021). *Alternaria* species, their associated mycotoxins and essential oils for control of plant pathogenic fungi. *Pathogens*, 10(3), 328.
- Bahekar, A. M., Ingle, R. W., y Kendre, V. P. (2017). Efficacy of fungicides and bioagent against fungal pathogens of Aloe vera. *International Journal of Chemical Studies*, 5(4), 1540-1543.

- Barceloux, D. G. (2009). *Cinnamon (Cinnamomum Species)*. Disease Month, 55(6), 327-335.
- Bravo Luna, L., Bermúdez Torres, K., y Montes Belmont, R. (1998). Growth mycelial inhibition and sporulation of *Fusarium moniliforme* shield by plant essential oils and some of their chemical components. Mexican Journal of Phytopathology, 16(1), 18-23.
- Barrera Necha, L. L., y García Barrera, L. J. (2008). Actividad antifúngica de aceites esenciales y sus compuestos sobre el crecimiento de *Fusarium sp.* aislado de papaya (*Carica papaya*). Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 10/12/2023 de: <https://www.bioline.org.br/pdf?cg08005>
- Ballester, A. R., Marcó, M. B., y Levin, L. N. (2014). *Alternaria alternata* and *Alternaria tenuissima* produced mycotoxins in preharvest maize ear rot. Obtenido de: Toxins. <https://doi.org/10.3390/toxins6082291>
- Bakalli, F., Averbeck, S., Averbeck, D., y Idaomar, M. (2008). Efectos biológicos de los aceites esenciales: Una revisión. Food and Chemical Toxicology, 46, 464-475.
- Bensch, K., Braun, U., y Crous, P. W. (2012). The genus *Cladosporium*. Studies in Mycology, 1-401.
- Bouyahya, A., Et-Touys, A., Bakri, Y., Talbaoui, A., Bakri, M., Abrini, J., y Dakka, N. (2018). Antifungal activity of *Larrea tridentata* extract and its main compound nordihydroguaiaretic acid against some phytopathogenic fungi. Industrial Crops and Products, 762-768.
- Bueno, C. J., y Rodríguez, L. A. (2021). *Alternaria alternata*: una patología emergente en frutos y hortalizas. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 618-631.

- Chen, P., Zhang, S., Chen, Y., y Liu, Y. (2019). *Alternaria alternata*, an important pathogen in agriculture and food industry: current status and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 2511.
- Cerna-Chávez, E., Alejandro-Rojas, G., Ochoa-Fuentes, Y. M., Aguirre-Uribe, L., Landeros-Flores, J., y Hernández-Bautista, O. (2019). Evaluación in vitro de principios activos de origen botánico para el control de hongos fitopatógenos. *Scientia Fungorum*, 49(e1245). Recuperado el 11/12/2023 de <https://www.scielo.org.mx/pdf/sf/v49/2594-1321-sf-49-e1245.pdf>
- Castellanos, L. (2004). Nocividad, epidemiología y manejo del tizón temprano (*Alternaria solani* Sor.) en el cultivo de la papa. *Fitosanidad*, 8(2), 57. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal, La Habana, Cuba. URL: <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209117836014.pdf>
- Chen, Y., Luo, Y., Sun, J., Li, C., Hu, Q., y Jiang, S. (2021). La combinación de extractos vegetales, carbón activado y nano partículas de hidróxido de silicio como biofungicida para el control de *Alternaria alternata*. *Journal of Applied Microbiology*, 130(3), 731-740.
- Carrasco Flores, J. E. (2013). Nanotecnología para elaborar películas agrícolas nanoestructuradas y su uso en diversos campos. Recuperado de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/382/1/Jose%20Enrique%20Carrasco%20Flores.pdf>
- Claramunt, R. M. (2015). Efecto antifúngico del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) en hongos fitopatógenos. Obtenido de Tesis de grado, Universitat Politècnica de València: <https://riunet.upv.es/handle/10251/55813>
- Cooke, B. M. (2014). International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Obtenido de Disease assessment: *Alternaria* leaf spot.: <http://www.cimmyt.org/disease/alternaria-leaf-spot/>
- Daquilema Rea, J. A. (2016). Evaluación de las concentraciones de aceites esenciales de *Citrus sinensis* (naranja) en la inhibición de hongos patógenos

- en *Phaseolus vulgaris* (frijol canario) almacenados en las bodegas del Cantón Quevedo 2016. [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. pp. 43-46.
- Cunha, B. P., Furtado, E. L., y Morandi, M. A. B. (2019). Fungicidas en la agricultura: fundamentos, clasificación y mecanismos de acción. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(1), 156-170.
- De Bary, H. A. (1887). *Untersuchungen über die Peronosporen und Saprolegnien*. Jena, Alemania: Gustav Fischer Verlag.
- FAO. (2018). *Cinnamomum verum* (Presl.) Breymer [Fact sheet]. Obtenido de Food and Agriculture Organization of the United Nations.: <http://www.fao.org/3/ap862e/ap862e.pdf>
- Flores-González, J. L., Reyes-Jiménez, J., Castillo-Sánchez, L. E., Martínez-Álvarez, J. C., y Chiquito-Contreras, R. G. (2020). Extractos vegetales como alternativa al control químico de hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 239-252.
- Ferreira, S. A., y Boley, R. A. (1991). *Alternaria brassicae*, *Alternaria brassicicola*. *Crop Knowledge Master - Alternaria raphani*. Recuperado de <https://bit.ly/1b9h4gn>
- Florensa, P. (4 de diciembre de 2019). El silicio como fertilizante y bioestimulante agrícola: *EAFSA*. Recuperado el 18 de 02 de 2023, de: <https://aefa-agronutrientes.org/el-silicio-como-fertilizante-y-bioestimulante-agricola>
- Gerardo, A. M., Apodaca, S., y Quintero, J. A. (1995). Control de patógenos del tomate en postcosecha con extracto de semilla de toronja. En *Memorias del XXII Congreso Nacional de Fitopatología* (p. 68). Guadalajara, Jalisco, México.
- García-Sánchez, S., Torres-Martínez, R., Morales-Cepeda, A. B., y Gómez-Merino, F. C. (2019). Silica nanoparticles in agriculture: promise and risks. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1420.

- Gómez-Leyva, A., Leyva-Mir, S. G., López-Monteon, A., Guzmán-Plazola, R. A., y Fuentes-Dávila, G. (2019). Patógenos fúngicos en cultivos hortícolas en México. *Phyton International Journal of Experimental Botany*, 81-92.
- Gómez-López, M. D., González-Márquez, H., González-Sánchez, M. A., y González-Rodríguez, A. (2020). Botanical extracts: An alternative for plant disease management. *Plants*, 189.
- Gómez-López, M.D., Sánchez-Martín, M.J., Morales-Rodríguez, C., *et al.*, (2020). Use of biochar and activated carbon to improve the antifungal activity of chitosan against *Phytophthora cinnamomi* in pepper plants. *Scientific Reports*, 121.
- González-Delgado, A. D., Rodríguez-Galdón, B., Díaz-Sánchez, M. E., Díaz Romero, C., y Díaz Romero, C. (2018). Plant extracts as alternative to chemical control against *Alternaria alternata* on tomato fruit. *Revista de Protección Vegetal*, 123-129.
- González-Hernández, V.A., Servín-Villegas, R., y Luna-Rodríguez, M. (2016). Aislamiento y caracterización de *Alternaria* spp. en cultivos hortícolas de la región centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1685-1698.
- Goudjal, Y., Toumi, L., y Sabaou, N. (2014). Antifungal activity of some Algerian plant extracts against *Alternaria alternata*, the causal agent of citrus black rot. *Journal de Mycologie Médicale*, e51-e58.
- Hawksworth, D. L., Kirk, P. M., Sutton, B. C., y Pegler, D. N. (1995). *Ainsworth y Bisby's Dictionary of the Fungi*. Commonwealth Mycological Institute.
- Huang, D., Li, H., Chen, X., Li, L., Gong, W., Li, Y., ... y Wei, J. (2018). Preparation and characterization of functionalized activated carbon for efficient removal of Cd(II) from water. *Environmental Science and Pollution Research*, 6513-6523.

- Jones, A. L., y Aldwinckle, H. S. (2002). Plagas y enfermedades del manzano y del peral. The American Phytopathological Society, EEUU.
- Jasso de Rodríguez, D., Rodríguez-García R., Hernández-Castillo, F.D., Villarreal Quintanilla, J.A., Galván-Cendejas, A., 2007. "Antifungal effects in vitro of semiarid plant extracts against postharvest fungi". AAIC Annual Meeting: Bringing Industrial Crops into the Future. October 7-10. Portland, Maine.
- Kaur, M., Singh, A., Kamboj, S., y Gupta, G. (2019). Activated carbon: a potential material for plant growth and development. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 519-539.
- Köhl, J., Verreet, J. A., y Lynge, L. (2019). Crop protection and plant health in Europe: Towards a sustainable future. Burleigh Dodds Science Publishing.
- Kumar, A., y Sharma, S. (2021). Biochar and activated carbon as natural alternatives to fungicides: A review. *Environmental Research*, 193.
- Kumar, A., Singh, P., Kumari, R., Upadhyay, R. S., y Gupta, K. (2018). *Alternaria* toxins: potential virulence factors and genes related to pathogenesis. *Frontiers in Microbiology*, 2802.
- Kumar, A., Singh, P., Singh, S., y Kumar, A. (2020). *Alternaria alternata*: a comprehensive review on its biology, diversity, ecology, and human pathogenicity. *Microbial Pathogenesis*, 140.
- Kumar, A., Singh, P., Singh, S., y Kumar, A. (2020). Identificación y caracterización de *Alternaria alternata* como agente causal de manchas foliares en plantas cultivadas. *Revista de Protección Vegetal*, 130-143.
- Kumar, P., Dubey, R. C., y Maheshwari, D. K. (2019). Fungal Phylogeny and Evolution. En *Fungal Biology*. Springer, Singapore.
- Kumar, S., Kaushik, N., Edraki, N., y Bhardwaj, U. (2017). *Alternaria alternata*: A pathogenic fungus in humans and its importance as a model of host-pathogen interactions. *Mycology*, 112-120.



- Lira-Saldivar, R. H., Hernández-Suárez, M., y Hernández-Castillo, F. D. (2006). Activity of *Larrea tridentata* (D.C.) Coville L. extracts and chitosan against fungi that affect horticultural crops. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 211-216.
- Lira-Saldivar, R. H., Méndez-Argüello, B., Vera-Reyes, I., y de los Santos-Villarreal, G. (Junio de 2016). Potencial de la Nanotecnología Para el Desarrollo de la Agricultura Sustentable. Repositorio CIQA. Recuperado el 3 de diciembre de 2023 de: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/336/1/Potencial%20de%20la%20Nanotecnolog%C3%ADa%20Para%20el%20Desarrollo%20de%20la%20Agricultura%20Sustentable.pdf>
- Landero Valenzuela, N. (2013). Extractos vegetales y *Trichoderma* spp. en el control de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. en frutos de papaya Maradol (*Carica papaya* L.) en postcosecha [Tesis de maestría, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas Campus Montecillo, Postgrado de Fitosanidad-Fitopatología]. Recuperado el 11/12/2023 de: [http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2061/Landero\\_Valenzuela\\_N\\_DC\\_Fitopatologia\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2061/Landero_Valenzuela_N_DC_Fitopatologia_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Lara, A., Sánchez-Mata, D., Tardío, J., y Morales, R. (2019). Ethnobotanical uses of *Larrea tridentata* (Sesse y Moc. Ex DC) Coville in Mexico: A review of the last 30 years. *Journal of Ethnopharmacology*, 266-277.
- Lawrence, D. P., y Gannibal, P. B. (2014). Huéspedes alternativos de los hongos: una amenaza creciente. *Micólogo*, 28(2), 59-65.
- Li, X., Xu, H., Chen, Y., Li, M., Chen, L., y Wang, H. (2019). Applications of silica nanoparticles in agriculture and food industry. *Frontiers in Plant Science*, 551.
- López, D. L., y Castillo, M. L. (2019). Identificación y caracterización de *Alternaria alternata* como agente causal de manchas foliares en plantas cultivadas. *Revista de Protección Vegetal*, 130-143.

- López-Gómez, M., Flores-Gómez, C., Hernández-Rodríguez, A., y Mendoza-de Gives, P. (2020). Extracto de canela (*Cinnamomum verum J. Presl*) como biofungicida para el control de hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23-36.
- López-Martínez, L. X., Ochoa-Zarzosa, A., López-Mata, M. A., y García-Mateos, R. (2017). Antifungal activity of extracts from *Larrea tridentata* (DC) Coville against *Candida albicans*: Characterization of an inhibitory compound. *Journal of Ethnopharmacology*, 10-16.
- Magan, N., y Aldred, D. (2007). Postharvest control strategies: Minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology*. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.035>
- Marín, S., Sanchis, V., y Ramos, A. J. (2018). *Alternaria* toxins in food: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 244-258.
- Marin-Felix, Y., y Van Bael, S. A. (2018). A review of the applications of nanosilica in agriculture. *Agrochimica*, 73-89.
- Marinozzi, M., y Vicente, A. R. (2020). *Citrus* Byproducts as Source of Antimicrobial Compounds and Biostimulants: Review. *Trends in Food Science y Technology*, 156-166.
- Mishra, A. K., Mishra, A., y Chowdary, K. A. (2013). *Cinnamon* oil as a sustainable fungicide in agriculture. *International Journal of Agriculture and Biology*, 1185-1190.
- Malacara-Herrera, I. R., Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna-Chávez, E., Velázquez-Guerrero, J. J., Orozco-Plancarte, A., Hernández-Juárez, A., y Aguirre-Uribe, L. A. (31 de enero de 2023). Manejo in vitro de *Fusarium acuminatum* con extractos vegetales adicionados con nanopartículas de óxido de silicio y zinc. Recuperado el 03 de diciembre de 2023 de [URL: <file:///C:/Users/jja69/Downloads/Dialnet-ManejoInVitroDeFusariumAcuminatumConExtractosVeget-9181301.pdf>]

- Mühlhauser, M. y Rivas, M. (2014). *Alternaria* spp.. *SCIELO*. Recuperado el 26 de 03 de 2023, de :  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-10182014000500013#f2](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182014000500013#f2)
- Ma, G., Bao, S., Zhao, J., Sui, Y., y Wu, X. (2021, enero). Caracterización morfológica y molecular de especies de *Alternaria* causantes del tizón foliar de la sandía en China. *Planta Dis.*, 105(1), 60-70.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33170772/>
- Magan, N., y Baxter, E. S. (1994). Environmental factors and tenuazonic acid production by *Alternaria* spp., isolated from sorghum. En E. Highley, E. J. Wright, H. J. Banks, y B. R. Champ (Eds.), *Stored Product Protection* (pp. 1043-1046). CAB International.
- Mustafa, S., Aatif, H. M., Mansha, M. Z., Hanif, C. M. S., Ali, M. U., Mansoor, M. Z.,... Khalid, B. (2022). Evaluación de diferentes fungicidas para el control de la mancha foliar de rosas por *Alternaria* causada por "*Alternaria alternata*". *Boletín de Planta*, 1(1), 09–17.
- Mujawar, S. S., y Misal, M. B. (2017). Evaluación de extractos de plantas y aceites esenciales por su actividad antifúngica contra *Alternaria alternata*. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 47(1), 66-70.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2020). Nanoparticle exposure control methods. Recuperado de <https://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/controlmethods.html>
- Nakano, Y., Kojima, T., Tsuno, H., Matsui, Y., y Nakano, M. (2008). Removal and inactivation of hepatitis A virus by a combination treatment of bacteriophages and a sand/anthracite filter. *Journal of Applied Microbiology*, 105(2), 491–501.
- Nunes, I. L., y Marques, J. T. (2021). *Citrus* Essential Oils: A Review on Extraction Techniques, Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities. *Molecules*, 718.

- Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna Chávez, E., Landeros Flores, J., Hernández Camacho, S., y Delgado Ortiz, J. C. (2012). Evaluación in vitro de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 81(1), 69-73. Recuperado el 05 de diciembre de 2023 de: <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v81n1/v81n1a10.pdf>
- Oviedo, M.S., Ramirez, M.L., Barros, G.G. y Chulze, S.N. (2011). Influence of water activity and temperature on growth and mycotoxin production by *Alternaria alternata* on irradiated soya beans. *International Journal of Food Microbiology* 149, 127-132.
- Prados Pagès, T. (05/07/2022). Micotoxinas de *Alternaria*. Mérieux NutriSciences. Recuperado de <https://www.merieuxnutrisciences.com/es/contaminantes-y-residuos/micotoxinas-de-alternaria/>
- Pandey, K.K., *et al.*, (2019). Morphological and molecular identification of *Alternaria* species causing leaf blight disease of pomegranate. *Journal of Applied and Natural Science*, 326-331.
- Patel, S., y Sarma, Y.R. (2019). Impact of *Alternaria alternata* on multiple agricultural crops. *Journal of Phytopathology*, 167(3), 139-152.
- Paul, N. C., y Sharma, N. (2020). Botanicals and their derivatives as an alternative to conventional fungicides in the management of postharvest diseases of fruits and vegetables: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 783-807.
- Perelló, A. E., Moreno, M. V., Stenglein, S. A., y Saparrat, M. C. N. (2016). *Alternaria* species associated with tomato fruit rot in Argentina. *Revista Iberoamericana de Micología*, 83-88.
- Pérez-Morales, R., Vargas-Morales, J. M., García-Díaz, J. A., y Ariza-Castolo, A. (2021). Chemical composition and antioxidant properties of *Cinnamomum verum* and *Cinnamomum cassia* bark essential oils. *Journal of Food Science and Technology*, 2206-2215.

- Ruesta, A., y Rodríguez, R. (1992). Manual Cultivo de la Vid en el Perú (2ª ed.). Ediciones FUNDEAGRO. 15, 39, 161, 173 pp.
- Rubio, M. C., Gil, J., Benito, T. R., Ramírez de Ocariz, I., y Navarro, M. (2007). Micosis más frecuentes en nuestro medio. En Guía práctica de identificación y diagnóstico en micología clínica (2ª ed., Capítulo 2). Revista Iberoamericana de Micología.
- Rodríguez Prieto, A. P. (2019). Compatibilidad de fungicidas químicos, biológicos y de origen vegetal sobre el hongo benéfico *Trichoderma harzianum*, controlador de *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*). Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Programa de Biología Ambiental, Bogotá. Recuperado el 10/12/2023 de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/8628/Trabajo%20de%20grado.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Ramos-López, M. A., Pérez-Pacheco, R., Ruiz-Sánchez, E., Moreno-Martínez, E., y Aragón-Cuevas, F. (2019). Efecto del extracto de creosota sobre el crecimiento micelial de hongos patógenos y la actividad antioxidante en chile serrano (*Capsicum annum L.*). Agrocienza, 331-345.
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. (2015). *Alternaria alternata*. SINAVIMO. Recuperado de <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/alternaria-alternata>
- Silva Bezerra, M., et al., (2021). Potencial de biocontrol de extractos de plantas y sus compuestos activos contra patógenos de plantas. Protección de cultivos, 143.
- Simmons, E. G. (2007). *Alternaria: An Identification Manual*. CBS Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, Holanda.
- Sánchez, H., y Bush, R. K. (2001). Una revisión de la sensibilidad a *Alternaria alternata*. Revista Iberoamericana De Micología, 18(2), 56-59. Recuperado el

08/12/2023 de: <https://typeset.io/papers/a-review-of-alternaria-alternata-sensitivity-4mox9q9pvq>

- Sommer, N. F. (1985). Role of controlled environments in suppression of postharvest diseases. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 7, 331-339.
- Tsuji, K. (2001). Microencapsulation of pesticides and their improved handling safety. *Journal of Microencapsulation*, 18(2), 137-147.
- Tzortzakis, N. G. (2009). Impact of *cinnamon* oil enrichment on microbial spoilage of fresh produce. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(1), 97-102.
- Tejeda Villagómez, E. A., Hernández-Adame, L., Nieto Navarro, F., y Anzaldo Montoya, M. (2022). Nanopartículas de silicio como vehículos de transporte para moléculas de interés agrícola. *SciELO*. Recuperado el 01 de diciembre de 2023 de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-56912023000100304&ssp=1&darkschemeovr=1&setlang=es-MX&safesearch=moderate](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912023000100304&ssp=1&darkschemeovr=1&setlang=es-MX&safesearch=moderate)
- Uysal, Y., Demir, A., y Saygideger, S. D. (2016). Comparison of bacteriophage and *Cryptosporidium parvum* removal efficiency of GAC and anthracite in rapid biofilter. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), 1468–1476.
- Velázquez González, O. B. (2022). Importancia de los hongos del género *Alternaria* en el desarrollo de afecciones alérgicas en México. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Recuperado de <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/29448>
- Woudenberg, J. H. C., Groenewald, J. Z., Binder, M., Crous, P. W. (2013). *Alternaria* redefined. *Studies in Mycology*, 75, 171-212.
- Yadav, D., y Kumar, A. (2017). Potencial de extractos de plantas y fitoquímicos contra patógenos transmitidos por alimentos. *Microbial Pathogenesis*, 107, 243-254.

Yao, Y., Gao, B., Inyang, M., Zimmerman, A. R., Cao, X., Pullammanappallil, P., y Yang, L. (2012). Removal of phosphate from aqueous solution by biochar derived from anaerobically digested sugar beet tailings. *Journal of Hazardous Materials*, 209-210.

Zhang, H., *et al.*, (2020). *Alternaria alternata*: a new pathogen of rubber tree. *Forests*, 447.

Zhang, J., Chen, Y., Jiang, X., y Chen, J. (2020). The *citrus* extract and its potential applications in the food industry: A review. *Food Research International*, 137.

Zhou, Y., Li, Y., Zhou, T., Zheng, J., Li, S., y Li, H. (2018). The antifungal effects and possible mechanisms of *cinnamon* oil against three species of *Aspergillus* spp. *Journal of Food Science and Technology*, 2681-2688.