

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Actividad Biológica *in vitro* de Extractos Vegetales Potencializados con Nanopartículas de Hidróxido de Silicio y Carbón Activado en el Control de *Sclerotium rolfsii*.

Por:

ADA JENNIFER AMEZCUA SUAREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

JUNIO, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Actividad Biológica *in vitro* de Extractos Vegetales Potencializados con Nanopartículas de Hidróxido de Silicio y Carbón Activado en el Control de *Sclerotium rolfsii*

Por:

ADA JENNIFER AMEZCUA SUAREZ

TESIS

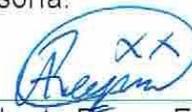
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Ernesto Cerna Chávez

Asesor Principal


Dr. Alberto Roque Enriquez

Asesor Principal Externo


Dra. Yisa María Ochoa Fuentes

Coasesor


Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar

Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.
Junio, 2024

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor principal 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.

Autor principal



Ada Jennifer Amezcua Suarez

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A Dios, Por protegerme, guiarme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar todos los obstáculos, dificultades que se han presentado a lo largo de mi vida, por siempre llenarme de grandes bendiciones, como a mis seres queridos, por darme licencia de concluir mi carrera universitaria en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

A MI ALMA MATER, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por ser mi segundo hogar y por brindarme una formación integral esencial. Reconozco al Departamento de Parasitología por impartirme sabiduría durante más de cuatro años, impulsando mi crecimiento personal y profesional. Una vez buitre, siempre buitre.

AL Dr. Ernesto Cerna Chávez, mi asesor principal gracias por su confianza y orientación experta son esenciales para mi crecimiento personal y profesional. Su dedicación y apoyo han sido fundamentales en mi desarrollo, y le estoy sinceramente agradecida por la influencia positiva que ha tenido en mi trayectoria.

A la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes, por su invaluable contribución a mi desarrollo académico. Su experiencia, paciencia y orientación experta han sido pilares fundamentales en cada etapa. Gracias a su guía, he avanzado con confianza y alcanzado nuevos niveles de excelencia.

A la Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar, Extiendo mi más sincero agradecimiento por su invaluable apoyo desde el inicio hasta la culminación de mi investigación. Su dedicación incansable, paciencia y orientación experta fueron fundamentales para resolver mis dudas y mantenerme enfocada. Estoy profundamente agradecida por su compromiso y apoyo inquebrantable que han sido cruciales para el éxito de mi proyecto.

Al Dr. Alberto Roque Enriquez, por su invaluable apoyo durante mi investigación, su dedicación y paciencia fueron clave. Valoré mucho su compromiso y disposición constante. Su apoyo y orientación fueron fundamentales para el éxito de mi proyecto.

También quiero expresar mi profundo agradecimiento a la **Dra. Miriam Sánchez Vega**, por su excelencia docente y generosidad en compartir conocimientos. Más allá de ser una maestra excepcional, su sincera amistad, apoyo incondicional y cariño genuino son gestos que valoro enormemente.

Expreso mi agradecimiento al **Dr. Fidel Cabezas Melara**, por su generosidad en compartir conocimientos y su apoyo invaluable a lo largo de mi carrera universitaria. Su dedicación, consejos y creencia constante en mí han sido pilares fundamentales en mi desarrollo académico y personal.

A Rosalinda Reyes Alfaro, eres más que una amiga, eres familia, tu constante creencia en mí ha sido un pilar fundamental, desde nuestra infancia, hemos compartido momentos y experiencias inolvidables. Tu apoyo incondicional en

los momentos felices y difíciles ha sido invaluable. Gracias por siempre estar presente cuando más te he necesitado.

A Daniel Ponce Molina, gracias por tu apoyo constante durante mis años universitarios, a pesar de la distancia, siempre estuviste presente, compartiendo momentos de estudio intenso y emociones diversas. Tu fe inquebrantable en mí ha sido mi mayor motivación.

A Jhonni Marín Espinoza García, gracias por tu inmenso apoyo durante mi carrera universitaria, las risas compartidas, tu sostén en momentos difíciles, tu aliento constante y tu amistad incondicional a lo largo del tiempo y las adversidades.

A Juan Pablo Torres Ortiz, por su amistad incondicional, impulsarme, apoyarme, motivarme a continuar con mis sueños.

A mi amiga Karen Carretero, gracias por tu invaluable amistad, ser mi confidente, paño de lágrimas, compañera de aventuras, mejor roomie, y por tu apoyo incondicional y fe en mí.

A Diego Fernando CM, gracias por tu increíble amistad y apoyo incondicional, tu fe en mí es mi faro de inspiración en los momentos más desafiantes; por siempre estar presente y ser un amigo en quien confiar plenamente.

A mis amigos de carrera, Cristian H, Rubicel L, Víctor H, Javier M, Rosa P, Estefany I, Javier G, Leticia S, Antonio R, Omar A, René P, Ezequiel P, Monse García, Naydelin E, Alberto F y Brandon S, gracias por ser parte fundamental de mi vida universitaria, por compartir risas, desafíos y logros juntos.

DEDICATORIA

A Dios,

Quiero expresar mi profundo agradecimiento por haberme brindado la maravillosa oportunidad de existir y por regalarme esta vida tan hermosa y llena de posibilidades, estoy infinitamente agradecida por todas las bendiciones que has colocado en mi camino, por las oportunidades que me has dado y por cada logro que he alcanzado con tu inestimable ayuda, tu amor y tu guía han sido mi fortaleza en los momentos más difíciles y mi alegría en los momentos de felicidad. Gracias por todo lo que me has dado y por estar siempre presente en mi vida.

A mis padres,

A mi padre, el Sr. Rigoberto Amezcua Barrera

A mi madre, la Sra. Mariela Suárez Acevedo

Les expreso mi profunda gratitud y admiración por ser mis pilares inquebrantables. Gracias, papá, por tu fortaleza y determinación, y por enseñarme a perseverar. Mamá, tu amor incondicional y valentía son mi mayor inspiración, su apoyo constante ha sido mi sostén en los momentos difíciles, admiro su dedicación y sacrificio por nuestra familia, gracias por creer en mí y ser mi guía.

Nunca olviden que lo que soy o llegue a ser en esta vida, se los debo a ustedes mis padres los amo con todo mi corazón.

A mis queridos hermanos:

Mariela Amezcua Suárez

Julissa Zuleyma Amezcua Suárez

Jimmy Alexander Amezcua Suárez

Quiero agradecerles por ser los mejores hermanos que pude tener, su presencia en mi vida es un regalo invaluable, y cada momento compartido fortalece nuestro vínculo, aprecio su apoyo incondicional, su fe en mí y sus palabras de aliento que siempre me impulsan, gracias por estar a mi lado en cada paso del camino. Los amo con todo mi corazón.

A mi amada sobrina,

Quetzally Mariel Aguilar Amezcua

Por ser esa niña que nos alegra la vida, una bendición de Dios, por ser esa lucecita que siempre me sacas sonrisas cuando más las necesito te amo mi niña.

A mi amada abuelita,

La Sra. Ma Salud Acevedo Mendoza,

Quiero agradecerte por tu amor incondicional, tu constante apoyo y tu fe en mí, eres un pilar fundamental en mi vida, cada gesto de amor y palabra de aliento significa el mundo para mí, aprecio profundamente tus oraciones y peticiones a Dios por mi bienestar, gracias por tu ternura, sabiduría y por ser mi guía y ejemplo para seguir, tu amor y apoyo son un regalo invaluable. Te amo mucho, abuelita.

RESUMEN

El fitopatógeno *Sclerotium rolfsii* fue descubierto por primera vez por Peter Rolfs en Florida Estados Unidos en el año 1892, este hongo está distribuido alrededor del mundo, principalmente en climas tropicales y sub tropicales, afectando a diversos cultivos provocando principalmente marchitez y podredumbre, hoy en día el excesivo uso de productos químicos para su control ha causado graves problemáticas como resistencia a los ingredientes activos, daños al medio ambiente y salud pública, llevando esto a la búsqueda de estrategias más sustentables para el medio ambiente, siendo una alternativa el uso de extractos vegetales, se evaluaron *in vitro* los extractos de Gobernadora, Canela y Cítricos, solos y adicionados con carbón activado y nanopartículas de hidróxido de silicio para el control de *S. rolfsii* 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 micelial y producción de esclerocios, dichos resultados se analizaron mediante el programa estadístico SAS. De acuerdo a los resultados el extracto de canela logró inhibir el 21.80% del crecimiento micelial a una concentración de 700 ppm, sin embargo, en cuanto a la producción de esclerocios los tres extractos evaluados a diferentes dosis lograron inhibir más del 95% de estos, superando al testigo químico, dichos resultados son prometedores ya que reducen el número de propágulos del patógeno, siendo los extractos una alternativa eficiente para su uso en campo.

Palabras clave: Hongos, Control, Extractos

ABSTRACT

The phytopathogen *Sclerotium rolfsii* was first discovered by Peter Rolfs in Florida, USA in 1892, this fungus is distributed around the world, mainly in tropical and subtropical climates, affecting various crops mainly causing wilt and rot, today the excessive use of chemicals has caused serious problems such as resistance to active ingredients, damage to the environment and public health, leading to the search for more sustainable strategies for the environment, being an alternative the use of plant extracts, extracts of Gobernadora, Cinnamon and Citrus, alone and added with activated carbon and silicon hydroxide nanoparticles were evaluated *in vitro* for the control of *S. rolfsii* by means of the technique of poisoned medium in Petri dishes 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 mycelial inhibition and sclerotia production were evaluated, these results were analyzed using the SAS statistical program. According to the results, the cinnamon extract was able to inhibit 21.80% of mycelial growth at a concentration of 700 ppm; however, in terms of sclerotia production, the three extracts evaluated at different doses were able to inhibit more than 95% of sclerotia production, surpassing the chemical control. These results are promising since they reduce the number of propagules of the pathogen and are an efficient alternative for use in the field.

Key words: Fungi, Control, Extracts

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN LITERATURA.....	3
Generalidades de <i>Sclerotium</i>	3
Especies de importancia.....	4
Morfología.....	4
Síntomas	5
Distribución de <i>S. rolfsii</i>	6
Control químico	7
Uso de extractos vegetales para el control de hongos	9
Extracto de canela.....	10
Extracto de gobernadora	10
Extracto de cítricos	11
Uso de nanopartículas.....	12
Carbón activado	13
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Ubicación del Experimento	14
Obtención del Fitopatógeno.....	14
Extractos Botánicos	14
Diseño Experimental.....	14
Evaluación de la efectividad biológica	15
Análisis Estadístico.....	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
Inhibición del crecimiento micelial.....	17
Inhibición de la producción de esclerocios.....	22
CONCLUSIÓN	26
LITERATURA CITADA.....	27

INDICE DE TABLAS

Cuadro 1. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de <i>S. rolfsii</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de gobernadora.	18
Cuadro 2. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de gobernadora contra el hongo <i>S. rolfsii</i>	19
Cuadro 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de <i>S. rolfsii</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de canela.....	20
Cuadro 4. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de canela contra el hongo <i>S. rolfsii</i>	21
Cuadro 5. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de <i>S. rolfsii</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de cítricos.....	22
Cuadro 6. Inhibición de producción de esclerocios de <i>S. rolfsii</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de gobernadora.	23
Cuadro 7. Inhibición de producción de esclerocios de <i>S. rolfsii</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de canela.	24
Cuadro 8. Inhibición de producción de esclerocios de <i>S. rolfsii</i> en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de cítricos.	25

INTRODUCCIÓN

El hongo *Sclerotium rolfsii* afecta principalmente a plantas dicotiledóneas, así como monocotiledóneas (Flores-Montezuma *et al.*, 2008), este hongo tiene la capacidad de atacar a casi todos los cultivos del mundo como ornamentales y hortícolas, en los cuales causa daños a más de 100 familias y a más de 500 especies vegetales (Gholami *et al.*, 2013). Principalmente a cultivos que pertenecen a las familias; Poaceae, Cucurbitaceae, Fabaceae y Solanaceae, que son cultivos agrícolas económicamente importantes (Membreño y Téllez, 2011). *S. rolfsii* está presente en México provocando diferentes daños a cultivos en los que se encuentran frijol, cebolla, jitomate, manzano (Hernández *et al.*, 2004).

Este patógeno provoca diversas enfermedades que causan podredumbre de la corola y raíz, marchitamiento de plántulas, marchitez en plantas adultas, podredumbre del pie y la podredumbre del tallo (Masoomah *et al.*, 2013). Cuando el cultivo está infectando presenta daños como pudrición de raíces, bulbos, cuellos y frutos, ocasionando que el cultivo empiece a marchitar iniciando por la parte superior de la planta (Marcuzzo y Schuller, 2014). El hongo utiliza el tejido vegetal muerto como sustrato, comienza a producir micelio y esclerocios los cuales le permiten sobrevivir en el suelo (Moreira *et al.*, 2023), este hongo es muy difícil de identificar en los cultivos, ya que presenta síntomas similares a los de otros patógenos de suelo como *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*, sin embargo, este presenta micelio aéreo en grandes cantidades en la base de las plantas principalmente en suelos ácidos y climas calurosos, siendo las regiones tropicales y subtropicales las de mejores características para su desarrollo (González, 2013). Otros factores involucrados que le favorecen son pH neutro, suelos arenosos con buena aeración, favoreciendo estos el incremento de producción de esclerocios y micelio (Ayed *et al.*, 2018). Ante esto se buscan alternativas para el control de este patógeno como los extractos vegetales que no causan impactos negativos para el medio ambiente y no generan resistencia, además del uso de nuevas tecnologías como las

nanopartículas que han demostrado controlar diferentes hongos que afectan a las plantas (Gera y Abdelaziem *et al.*, 2018).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto inhibitorio *in vitro* de los extractos vegetales de *Larrea tridentata*, *Cinnamomum verum* y *Citrus spp*, utilizados de manera individual y potencializados con nanopartículas de hidróxido de silicio y carbón activado en el control de *Sclerotium rolfsii*.

Objetivos Específicos

- Evaluar la actividad antifúngica de los extractos de Gobernadora, Canela y Cítricos solos y adicionados con nano partículas de hidróxido silicio y carbón activado.
- Determinar la efectividad de los extractos vegetales en cada uno de los tratamientos aplicados para inhibir la producción de esclerocios de *Sclerotium rolfsii*.

Hipótesis

Al menos uno de los extractos evaluados solo o en combinación inhibirá el crecimiento micelial y la producción de esclerocios de *Sclerotium rolfsii*.

REVISIÓN LITERATURA

Generalidades de *Sclerotium*

En el año 1892 en Florida Estados Unidos Peter Rolfs descubrió por primera vez un hongo polífago que se transmitía principalmente por el suelo, denominándolo *Sclerotium rolfsii* (Basumatary *et al.*, 2015). *Sclerotium* es un género de hongos fitopatógenos muy importante que causan damping off, atacando principalmente en las primeras fases de desarrollo de las plantas, ya que su entrada a los cultivos se facilita debido a que tienen una baja producción de lignina que se asocia como una protección natural de las paredes vegetativas (Pérez-Vera *et al.*, 2018), sin embargo, también pueden ocasionar pudrición de raíces, tallos y tubérculos, al ser un hongo que se encuentra en el suelo, este repercute a la altura de cuello-raíz, cabe mencionar que existen reportes de este hongo afectando a frutos en diversos cultivos ocasionando pérdidas económicas (Hernández *et al.*, 2012).

Clasificación taxonómica

Reino: Fungi

División: Basidiomycota

Clase: Agaricomycetes

Orden: Atheliales

Familia: Atheliaceae

Género: *Sclerotium*

Especie: *Sclerotium rolfsii* (*Athelia rolfsii*).

Irazoqui, 2021.

Especies de importancia

El género *Sclerotium* incluye alrededor de 250 especies, entre las más conocidas se encuentran *S. sclerotiorum*, *S. minor* y *S. trifoliorum*, *S. delphinii*, *S. oryzae*., *S. sclerotiorum* produce esclerocios que son relativamente grandes y pueden permanecer viables en el suelo durante varios años (Leiva-Mora *et al.*, 2020). *S. minor* se distingue principalmente por el tamaño de sus esclerocios, que son pequeños, generalmente menores de 2 mm de diámetro., *S. cepivorum* es responsable de la "podrición blanca" en cultivos de cebolla y ajo, sus esclerocios son de tamaño reducido, se desarrollan en el suelo, dañando los bulbos y raíces (Ocegueda-Reyes *et al.*, 2020). *S. delphinii* afecta los cultivos de girasol, causando marchitez y disminución en el rendimiento, sus esclerocios se forman en las raíces y tallos; *S. oryzae* es un patógeno del arroz, provocando la enfermedad conocida como "pie negro", sus esclerocios se desarrollan en el suelo y afectan las raíces y la base de los tallos (Rakesh *et al.*, 2016).

Morfología

El micelio es algodonoso, blanco, hialino y compacto, puede producirse en gran cantidad en el tejido dañado del hospedero, sucediendo dentro de los primeros tres a cuatro días (Castillo, 2002). Las hifas son gruesas de aproximadamente 5 a 9 μ , hialinas, de paredes delgadas, septadas con presencia de aldabillas (Agrios, 2005; Membreño y Téllez, 2010), este hongo no tiene la capacidad de producir esporas ni estructuras fructíferas asexuales, pero si es responsable de formar pequeños montones de micelio blanco que al paso de los días se convierten en esclerocios, los cuales cambian de color conforme maduran iniciando con un tono blanquecino a color canela hasta llegar a su máxima madurez presentando un tono café oscuro (Kwon *et al.*, 2014). La corteza de los esclerocios es gruesa y presenta paredes con una fuerte pigmentación alcanzando un tamaño desde 0,5 a 1.5 mm de diámetro, la corteza y la médula contienen vesículas donde se almacenan materiales de reserva, las basidiosporas son hialinas, lisas, globosas de 4.5-6.5 x 3.5-4.5 μ m (Farias y Sandoval, 2005).

Ciclo de vida de *Sclerotium rolfsii*

Cuando *S. rolfsii* se encuentra en condiciones que van de 8 a 40°C, a la par de días lluviosos y alta humedad su ciclo de vida comienza, el esclerocio empieza a germinar y las hifas comienzan a crecer, al encontrar un hospedero el hongo penetra en los tallos y partes de la planta que se encuentran cerca del suelo (Membreño y Téllez 2011). Una vez dentro del tejido sano el hongo produce ácidos oxálicos en conjunto con enzimas pectinolíticas, logrando descomponer las paredes celulares de la planta, al paso de los días el patógeno logra establecerse en el tejido de la planta dando lugar a su infección (Ordóñez-Valencia *et al.*, 2018). Comenzando a desarrollar micelio blanco en gran cantidad con forma de abanico que conforme avanza se va transportando a la zona radicular, al tener condiciones del 27 a 35 °C el micelio se compacta y en el transcurso de 4 a 7 días se forman esclerocios blancos que al poco tiempo toman un color marrón oscuro; estos pueden sobrevivir en el suelo por muchos años (González, 2008, Marcuzzo y Schuller, 2014).

Síntomas

Los cultivos afectados presentan marchitamiento y los tejidos dañados manifiestan coloraciones marrones húmedas, lesiones hundidas (cancros) hasta llegar a la raíz principal, cubriendo con micelio blanco la base de las plantas, formando con el paso de los días esclerocios similares a las semillas de mostaza (Faria *et al.*, 2009; Erkol *et al.*, 2011). Este patógeno provoca la destrucción del sistema radicular y en consecuencia la parte aérea de las plantas presenta marchitamiento secundario, también provoca daños en hojas y frutos, principalmente los que tienen mayor contacto con partes afectadas y con el suelo, los frutos presentan amarillamiento al inicio y conforme avanza la enfermedad se convierten en blandos y húmedos, en las hojas se observa necrosis hacia las nervaduras, al causar muerte prematura quedan adheridas al tallo, este hongo se desarrolla en plantas jóvenes lo cual afecta

al cultivo días después de la siembra (Quintana y Gutiérrez, 2022). Las enfermedades que provoca este patógeno se conocen comúnmente como pudrición blanca, tizón del sur, pudrición sureña, podredumbre de la corola, moho blanco (González, 2008; Salazar *et al.*, 2009).

Principales hospederos

El hongo *S. rolfsii* causa daños a diferentes cultivos destacando cereales, hortalizas, frutales, forrajeras, plantas ornamentales y hasta malezas, la mayoría de estos siendo especies de gran importancia económica (Reyes *et al.*, 2002). En el cultivo de ajo (*Allium sativum*), causa pudrición blanca, afectando principalmente su producto comercial (bulbo) y presenta pérdidas hasta de un 100% (Rojas *et al.*, 2010). *Phaseolus vulgaris* L. presenta marchitez, amarillamiento y caída de las hojas a consecuencia de la infección causada por este hongo (Hernández *et al.*, 2012). En Venezuela el hongo afecta al cultivo de maíz principalmente causando pérdidas hasta del 25% en la mazorca y llegando a afectar las plántulas en pre y postcosecha (González *et al.*, 2008). *S. rolfsii* en compañía de *Rhizoctonia*, *Phytophthora capsici*, y *Fusarium spp.*, son los causantes de la marchitez en el cultivo de chile causando pérdidas del 26 hasta el 100%, provocando aborto de flores, defoliación y madurez prematura de los frutos (Peñaloza, 2022). La pudrición de las plántulas de chile morrón y tomate son causadas principalmente a los patógenos *S. rolfsii*, *Fusarium spp.*, *Phytophthora sp* y *Meloidogyne spp*, los cuales causan grandes pérdidas económicas para los productores (Cazzulo- Gheraldi, 2017).

Distribución de *S. rolfsii*

El hongo *S. rolfsii* es cosmopolita ya que está distribuido en todo el mundo principalmente en regiones tropicales y subtropicales, ya que estos climas cumplen las condiciones necesarias para su óptimo desarrollo como temperaturas cálidas y húmedas, destacando las regiones de América del Sur, Australia, América del Norte, Asia y algunos lugares de Europa donde está presente (Kumari *et al.*, 2021). México cumple con las condiciones necesarias para el desarrollo de este hongo, se observó

por primera vez este patógeno en el año 2015, en el estado de Guerrero en el cultivo de ajonjolí, provocando marchitez, pudrición basal del tallo y pudrición radicular, además de la presencia de esclerocios (Hernández- Morales *et al.*, 2018). En el estado de Puebla municipio de Huaquechula en el 2021 se reportó en el cultivo de jícama, presentando pudrición de raíz, amarillamiento, marchitez y abundante micelio blanco con presencia numerosa de esclerocios en la parte del tubérculo que al paso de los días se partían de una manera transversal (Terrones-Salgado *et al.*, 2023). En el estado de Sinaloa *S. rolfsii* tuvo presencia en el año 2021, en la familia Fabaceae, en el cultivo de frijol causando enfermedad con una incidencia entre el 15 y 40%, presentando crecimiento prematuro, marchitamiento, micelio en grandes cantidades junto con esclerocios en el tallo y llegando hasta la muerte de la planta (García- León *et al.*, 2021).

Control químico

El uso de los fungicidas se conoce desde hace más de 200 años, con la finalidad de proteger a los cultivos de las múltiples enfermedades, en sus inicios se utilizaban solamente en los viñedos y semillas de cereales para protegerlos, pero al paso del tiempo se han incrementado el número de enfermedades y cultivos afectados (Albelo *et al.*, 2007). Para el control de la podredumbre de raíz (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani*, y *S. rolfsii*) que afectan al cultivo de tomate, se utilizan aplicaciones de ácido sórbico, ácido salicílico, sal y sorbato potásicos (Mohato *et al.*, 2014). Existen fumigantes aplicados al suelo, que inhiben el desarrollo de este patógeno como son: metano sódico, cloropicrina y bromuro de metilo, en pruebas *in vitro* se logra controlar el crecimiento radial de este hongo con la aplicación de metalaxil-M y mancozeb, tiofanato de metilo, tebuconazol (Dwivedi-Prasad, 2016).

La resistencia a los productos químicos es de gran importancia para el factor agronómico, principalmente en el grupo de fungicidas sistémicos que han presentado resistencia en varios casos (Albelo *et al.*, 2007), los fungicidas específicos también han desarrollado resistencia, se han realizado evaluaciones de

monitoreo en diferentes partes México principalmente en lugares donde no se han aplicado fungicidas, aplicándose tratamientos de triazoles, sin embargo las poblaciones fúngicas fueron resistentes (Sánchez, 2013). Por otro lado, el uso de productos químicos genera daños al medio ambiente y a la biodiversidad al ser sumamente tóxicos y no utilizarse con las medidas e indicaciones necesarias (Mahmood *et al.*, 2016). El planeta se encuentra sufriendo daños por las pérdidas de flora y fauna, tal es el caso de la muerte de insectos encargados de la polinización que son de gran importancia para la agricultura, un ejemplo de ello son las abejas que actualmente su población se redujo a un 10%, las mariposas han disminuido drásticamente llegando a una pérdida de la tercera parte de su población desde los años 1990 a 2015 (Tasman *et al.*, 2020). Cada año se realizan aplicaciones en diferentes partes del mundo llegando a un promedio de 3 millones de toneladas, gran cantidad de esos residuos van dirigidos al medio ambiente agua y suelo convirtiéndose en una gran amenaza para la biodiversidad (Silva *et al.*, 2019). Hasta el día de hoy no existe ningún plaguicida que sea (genotóxico) seguro para los alimentos que se comercializan para la humanidad, llegando a provocar cáncer y mutaciones genéticas a consecuencia de alteraciones del ADN (OMS, 2023). Los fungicidas tienen la capacidad de almacenarse, metabolizarse y hasta bioacumularse en la grasa del ser humano provocando enfermedades neurológicas, respiratorias, gastrointestinales y reproductivas, al ser absorbidos en gran cantidad de manera accidental o no intencionada puede provocar hospitalización o causar la muerte (Nicolopoulou *et al.*, 2016). Muchos de los síntomas que presentan las personas que sufren alguna intoxicación van desde irritación en el sistema digestivo como diarrea, vomito, hasta problemas más complicados como fallas de algunos órganos, cada año la humanidad está en contacto con estas sustancias muchas veces sin darse cuenta, por ejemplo, cuando realizan salidas al campo, en el consumo de agua y hasta en los alimentos llegando a provocar la muerte de hasta 11,000 personas en el mundo al año (Bödeker, 2023).

La producción de cultivos cada vez es más exigente, debido al crecimiento poblacional a nivel mundial, por tal motivo se incrementa el uso de los plaguicidas para el control de plagas y enfermedades, trayendo consigo daños a la salud

humana y ecosistemas, para reducir esto hoy en día se buscan nuevos métodos de control que sean eficientes y que la humanidad pueda adoptar para reducir el uso de sustancias químicas (Ordoñez *et al.*, 2019).

Uso de extractos vegetales para el control de hongos

El uso de extractos vegetales ha resultado una excelente alternativa para el control de hongos fitopatógenos, al poseer compuestos bioactivos, que están presentes en los aceites esenciales y en los extractos, los cuales no tienen efectos negativos en el medio ambiente y salud humana a diferencia de los productos químicos (Chávez *et al.*, 2000). Los aceites esenciales extraídos de plantas como el eucalipto, la lavanda, el orégano y el árbol de té han demostrado actividad antifúngica contra diversos patógenos (Mesa *et al.*, 2019). El extracto de ajo ha demostrado ser una opción prometedora para el control de hongos fitopatógenos teniendo capacidad para inhibir el crecimiento micelial de hongos como *Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp. y *Sclerotium* sp., contribuyendo a prevenir la propagación de estos patógenos en los cultivos (Chávez y Aquino, 2012). La esencia de ajo contiene alicina, la cual posee efectos antimicrobianos y antifúngicos en estudios *in vitro*, se ha comprobado que la alicina es eficaz contra *Candida albicans* y diversos hongos, particularmente dermatofitos y levaduras, en investigaciones sobre el damping-off, se ha observado que el uso de extractos vegetales puros de ajo reduce significativamente la incidencia de la enfermedad en semillas de sésamo (Juárez *et al.*, 2019). Se han evaluado extractos de chile habanero, jalapeño, serrano y morrón para combatir los patógenos *Fusarium andiyazi* y *Cochliobolus* spp., teniendo el extracto de chile habanero una fuerte capacidad antioxidante y altos porcentajes de inhibición contra ambos patógenos, resultados similares a los de un fungicida comercial (López *et al.*, 2019). La ruda (*Ruta graveolens*) ha mostrado poseer propiedades bactericidas e insecticidas gracias a sus compuestos orgánicos, estudios de laboratorio han revelado que los extractos de ruda tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de hongos filamentosos como *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Phomopsis viticola* y *Trichoderma viridae* (Oliva *et al.*, 1999). Siendo todos estos extractos una

alternativa económica y accesible para los agricultores en comparación con los productos comerciales químicos (Paul *et al.*, 2020).

Extracto de canela

Se han realizado estudios sobre la composición de la canela, donde se ha determinado su propiedad antibacterial y antifúngica por su alta concentración de eugenol que van de un 75-85% y un 5% de cinamaldehído, el cual le confiere su característica aromática y antimicrobiana, este extracto es utilizado para prevenir el crecimiento de *Aspergillus parasiticus* y *Fusarium moniliforme*, al tener una acción de ruptura de membrana o inactivación de las enzimas celulares y granulación del citoplasma (Narváez, 2006). Además, es un método alternativo para el control de *Botrytis cinérea* en el cultivo de fresa (Miranda, 2018). En el cultivo de papaya se realizaron evaluaciones *in vitro* del extracto para el control de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), en los frutos de papaya en postcosecha, obteniendo resultados similares al testigo químico (Valenzuela *et al.*, 2013).

En Colombia se han reportado pérdidas hasta del 50% a causa de la pudrición blanca, causando infestación en áreas de siembra debido a la falta de semilla certificada, en busca de integrar alternativas sustentables se ha implementado el uso de extractos de canela-orégano-tomillo realizando evaluaciones *in vitro* para determinar la eficiencia de este extracto logrando obtener una inhibición dentro del 50 y 86%, en comparación con extractos de eucalipto, orégano y el químico Tebuconazol (Zapata *et al.*, 2020).

Extracto de gobernadora

La gobernadora es un arbusto que pertenece a la familia Zygophyllaceae, *Larrea tridentata* L. llega a medir hasta 3 metros de altura, estas plantas se encuentran principalmente en el norte del país y el sur de los Estados Unidos, principalmente en zonas árida y desiertos, extendiéndose en gran parte de México apareciendo en

Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, hasta el bajío mexicano (Rivera-Escareño *et al.*, 2024). Estas plantas poseen características antifúngicas, logrando inhibir el crecimiento de diferentes hongos de gran importancia económica como son *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum* spp., *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* y *Pythium* spp, esto gracias al ácido nordihidroguayaretico el cual actúa principalmente contra hongos productores de aflatoxinas (Moreno-Limón *et al.*, 2011). También posee propiedades antiinflamatorias, citotóxicas, antioxidantes, inhibidor de encimas y antimicrobial, siendo así una herramienta natural que ofrece soluciones efectivas para el control de en enfermedades fúngicas en la agricultura (Lira-Saldívar, 2003).

Extracto de cítricos

Los cítricos pertenecen al género de la familia Rutácea, estos frutales, son ampliamente distribuidos en regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo, existen alrededor de cuarenta especies de cítricos, que por sus sustancias fitoquímicas han demostrado tener control de hongos en la agricultura, resultando ser excelentes fungicidas, bactericidas y alguicidas (Urrunaga-Ormachea *et al.*, 2022), esto debido a que contienen ingredientes muy valiosos como flavonoides, limoneno y ácido ascórbico que son compuestos antioxidantes, que ayudan a prevenir el crecimiento de bacterias y hongos (Nunes y Marques, 2021).

Estudios han demostrado actividad fungicida con el uso de aceites de *Citrus limon* al inhibir a *Fusarium* spp, *A. flavus* y *A. niger*, al generar la ruptura de la membrana citoplasmática y la inactivación de la síntesis de enzimas y así impedir la producción de micelio (Souza *et al.*, 2005). El uso de extractos de cítricos en la agricultura no causa daños a la salud humana ni al medio ambiente al ser productos biodegradables y seguros para el uso en comparación con los pesticidas químicos convencionales que causan efectos nocivos para la salud y ambiente al ser productos sumamente tóxicos (Zhang *et al.*, 2020).

Uso de nanopartículas

La nanotecnología trae consigo beneficios para la agricultura, medicina, industria alimentaria y cosmética, en el caso de la agricultura se utilizan partículas de tamaño nanométrico que ayudan a mejorar la calidad de los productos y el rendimiento de los cultivos (Kumar *et al.*, 2019; González *et al.*, 2024). Esta tecnología implica trabajar con materiales minúsculos, de entre 1 y 100 milmillonésimas partes del metro además de manipular átomos y moléculas para optimizar los procesos agrícolas y crear innovadoras soluciones, para potenciar la efectividad de los pesticidas e insecticidas comerciales al posibilitar su aplicación en dosis considerablemente menores que las habituales (Xue *et al.*, 2014). En china se han reportado el uso de nanocompuestos en fertilizantes de lenta liberación lo cual es muy importante para la nutrición vegetal (Lira *et al.*, 2018). El uso de las NPs de CuO, tienen un impacto significativo en la actividad de fitohormonas, particularmente del ácido indolacético (AIA) y del ácido salicílico, este efecto facilita o intensifica la acción estimulante de las nanopartículas en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Wang *et al.*, 2015). Por otro lado, las aplicaciones foliares de nanoquelato de zinc ha obtenido significativos resultados en el cultivo de algodón al incrementar su contenido de clorofila, biomasa seca y la altura, también se menciona que en dosis pequeñas aplicado de manera foliar logra incrementar el crecimiento vegetal (Burman *et al.*, 2013; Ambrogetti *et al.*, 2016). Además de incrementar el nivel AIA en los brotes apicales y raíces y agilizar su crecimiento al promover su elongación y división celular (Shyla y Natajara, 2014). Así mismo el uso de nanopartículas de plata poseen efectos positivos en dosis bajas en la germinación de semillas y en la promoción del crecimiento de las plantas tal es el caso de las plántulas de mostaza (Dimkpa *et al.*, 2015).

Las nanopartículas de silicio tienen la capacidad de interferir en varios procesos fisiológicos de las plantas, logrando el incremento en el rendimiento, mejorando la nutrición y calidad (Bano *et al.*, 2021), esto gracias a que tienen la capacidad de contrarrestar el estrés abiótico y ayudan al crecimiento e incrementan la retención de agua en suelos (Rastogi *et al.*, 2019). Además, tienen la capacidad de actuar

como un agente de protección al prevenir enfermedades fúngicas, bacterianas y causadas por nematodos (Bao-Shan *et al.*, 2004). Estas nanopartículas han sido utilizadas para la purificación de aguas contaminadas resistentes a los métodos comunes de cloración y oxidación logrando excelentes resultados al purificar y eliminar la gran cantidad de patógenos y microorganismos resistentes (Quispe, 2021).

Carbón activado

El carbón activado que se utiliza comercialmente se prepara con materiales con alto contenido de carbón principalmente materiales orgánicos como: madera y carbón mineral (Luna *et al.*, 2007). Su composición química es del 75-80% en carbón, 5-10% en cenizas, 6% en oxígeno y 0.5% en hidrógeno, se considera carbón activado puro, al igual que el grafito, el diamante y los diversos carbones minerales o de leña, todos poseen la propiedad de absorber, que se lleva a cabo mediante un fenómeno fisicoquímico, donde un absorbente atrapa en sus paredes cierto tipo de moléculas llamadas adsorbatos (Bansal *et al.*, 1988). En varias investigaciones se ha observado que posee efectos para mejorar la salud del suelo al estimular el desarrollo de microorganismos y la actividad biológica, el drenaje, el pH, la retención de agua y nutrientes, crecimiento en raíces y resistencia a enfermedades fúngicas y bacterianas, al inhibir la propagación de *Candida albicans* y *Aspergillus niger* (Gayathri *et al.*, 2017). Además, reduce la toxicidad del suelo al absorber y eliminar contaminantes químicos (Huang *et al.*, 2018). También el uso de biocarbón inhibe el crecimiento micelial *in vitro* de *S. rolfsii* (Nunes, 2021). Al realizar una combinación de carbón activado con extractos vegetales podemos aumentar la capacidad de los extractos al inhibir el crecimiento de hongos en plantas y suelo, esto se lleva a cabo porque se crea una sinergia entre la absorción del carbón y la acción fungicida, al actuar directamente el fungicida en los hongos y el carbón activado, eliminan los patógenos del entorno (Gómez-López, 2020).

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 *Sclerotium rolfsii* utilizada fue proporcionada por el cepario del Laboratorio de Toxicología. La reactivación de la cepa se realizó en cajas Petri adicionadas con Papa-Dextrosa-Agar (PDA) utilizando porciones de micelio de 5 mm de diámetro, incubándose a una temperatura constante de 27 ± 2 °C.

Extractos Botánicos

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

Diseño Experimental

Se llevo a cabo un diseño experimental completamente al azar, evaluando seis concentraciones distintas (500, 700, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm) para cada extracto: Canela, Gobernadora y cítricos, solos y potencializados. Además, se contó con un testigo químico (tiabendazol) y un testigo absoluto con cuatro repeticiones para cada tratamiento.

Evaluación de la efectividad biológica

La capacidad antifúngica de los extractos vegetales se evaluó mediante la técnica de medio de cultivo envenenado en papa-dextrosa-agar (PDA), para ello se utilizaron matraces Erlenmeyer los cuales fueron llenados con agua destilada y fueron añadidas las cantidades apropiadas de PDA siguiendo la recomendación del fabricante MCD LAB, los matraces se cubrieron con papel aluminio y se agitaron suavemente, hasta lograr una completa disolución, la esterilización se realizó en autoclave a 121°C y a una presión de 15 PSI durante 15 minutos.

Cuando el medio de cultivo alcanzo una temperatura aproximada de 45°C se incorporó la cantidad necesaria de extracto, para alcanzar las concentraciones deseadas de (500, 700, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm), además de agregar las nanopartículas y el carbón activado, posteriormente, 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 al centro de la caja Petri.

Para evaluar el crecimiento de las cepas, se utilizó un vernier milimétrico, tomando dos lecturas radiales cruzadas del crecimiento de los hongos cada 24 hrs, hasta que el testigo cubrió completamente el diámetro de la caja. Los valores promedio de las medidas se registraron en milímetros. 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 = Diámetro del crecimiento micelial en el testigo (mm)

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

Conteo de esclerocios

Las cajas con los diferentes tratamientos se incubaron y transcurridas tres semanas se realizó el conteo de esclerocios de acuerdo con lo indicado por (Ospina *et al.*, 2011).

Análisis Estadístico

Con los datos recopilados en el porcentaje de inhibición, se realizó un análisis de PROBIT en SAS (Statistical Analysis Software) versión 9.0 para determinar la concentración letal media (CL₅₀) para cada uno de los extractos botánicos evaluados. Además, se realizó un análisis de (ANOVA) para determinar el porcentaje de inhibición y la producción de esclerocios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inhibición del crecimiento micelial

El crecimiento micelial del testigo fue la referencia para calcular el porcentaje de inhibición para cada uno de los tratamientos y se determinaron los valores del CL₅₀ para cada uno.

El análisis de los datos para el extracto de gobernadora (Cuadro 1), indica que el extracto solo a concentraciones de 2500 y 3000 ppm inhibió aproximadamente un 23.98 y 28.05% respectivamente. En cuanto al tratamiento adicionado con nanopartículas de hidróxido de silicio a partir de 2500 ppm inhibió alrededor del 26.33%. por otro lado, los tratamientos de gobernadora con carbón activado obtuvieron resultados menos favorables con una inhibición del 15.11% a la concentración más alta. Esto difiere a lo mencionado por De Marcano *et al.*, (2005), donde se menciona que el extracto de ajo logró inhibir el 100% de *S. rolfsii* a los 7 días en medios de cultivo PDA. López-Benítez *et al.*, (2005), demostraron que el extracto metanólico de *Larrea tridentata* (Gobernadora) inhibió al 100% el crecimiento de *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani* hasta por 144 horas y de *F. oxysporum* hasta por 240 horas. López-Muñoz *et al.*, 2019 y Tejeda *et al.*, 2023 mencionan que las SiNPs interactúan con las células y tejidos de *S. rolfsii*, afectando su crecimiento y reproducción al interferir con su metabolismo en las membranas celulares y procesos enzimáticos, inhibiendo *in vitro* el crecimiento radial del hongo. De acuerdo con Ram *et al.*, (2021), el carbón activado al ser un material poroso adsorbe compuestos orgánicos y toxinas liberadas por *S. rolfsii* y con ello desactiva su actividad patogénica, al igual al aplicarlo al suelo reduce la disponibilidad de nutrientes y compuestos que favorecen el crecimiento del hongo.

Cuadro 1. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *S. rolfsii* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de gobernadora.

Concentración (ppm)	Tratamientos			
	Extracto de Gobernadora solo	Gobernadora NPs de Si(OH) ₄	Gobernadora + C.A	T. químico
500	1.6 hi	2.325 ghi	10.465 ghi	40.988 bcde
700	4.07 ghi	2.878 ghi	0 i	54.068 abc
1500	4.505 ghi	12.355 ghi	2.763 ghi	66.425 ab
2000	10.9 ghi	14.245 ghi	13.375 ghi	51.16 abcd
2500	23.983 efghi	26.338 defgh	10.175 ghi	48.11 abcde
3000	28.053 cdefg	23.255 efghi	15.115 fghi	72.82 a

En base a los datos obtenidos de cada tratamiento del extracto de gobernadora (Cuadro 2) se calculó la CL₅₀, en donde se puede observar que la dosis letal media del extracto solo de gobernadora es de 6280 ppm, muy similar al extracto adicionado con nanopartículas de silicio con 6750 ppm, a diferencia del extracto de gobernadora más carbón activado que requiere una concentración de 176,840 ppm. Estos resultados difieren a lo mencionado por Malacara-Herrera *et al.*, (2023), quienes mencionan que requieren 1355 ppm para inhibir el crecimiento micelial de *Fusarium acuminatum* utilizando extracto de gobernadora. También difiere por lo mencionado por Hernández, (2020), donde los resultados del análisis Probit para *S. sclerotiorum* reflejaron una CL₅₀ de 100.28 ppm del extracto metanólico de *Argemone mexicana*, siendo una alternativa para inhibir el crecimiento de *S. sclerotiorum*.

Cuadro 2. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de gobernadora contra el hongo *S. rolfsii*.

Extracto	(ppm)			ECUACION DE PREDICION
	N	CL50	LIMITES FIDUCIALES	
GOBERNADORA				
Gobernadora solo	4	6280	4607 - 11130	Y= -7.9487 + 2.0929 (X)
Gobernadora + NPs de Si(OH)₄	4	6750	4768 -13023	Y= -6.9996 + 1.8279 (X)
Gobernadora + C A.	4	176840	-	Y= -3.4672+ 0.6607 (X)
T. químico	4	772.10372	-	Y= -1.5674 + 0.5428 (X)

Respecto a las evaluaciones con el extracto de canela (Cuadro 3), el extracto solo, logró inhibir el crecimiento de *S. rolfsii* en un 23.83% a una concentración de 1500 ppm, sin embargo, estadísticamente no existió diferencia en las diferentes dosis utilizadas, ya que todas presentaron inhibiciones entre 18 y 23%. Por otro lado, el extracto de canela con nanopartículas de hidróxido de silicio al 5%, obtuvo una inhibición de 21.36% a 700 ppm, resultando ser la más funcional contra este hongo, estadísticamente todas las dosis evaluadas fueron similares y los porcentajes de inhibición fueron menores al 20%. A diferencia de los tratamientos de canela y carbón activado donde el efecto antifúngico no superó el 14%, además de que en algunas dosis la inhibición fue nula. Ramírez *et al.*, (2016) reportan el uso de aceite de canela en una concentración de 3%, inhibiendo el crecimiento micelial del patógeno *Colletotrichum sp.* en un 68%. Allam *et al.*, (2017), mencionan que ha una concentración de 20 ppm del extracto de canela lograron inhibir el 100% del crecimiento micelial de *B. cinérea*. Los resultados de Stauffer *et al.*, (2000), mencionan el uso de extractos de bulbos de ajo con efecto fungicida y bactericida, obteniendo 60% de inhibición en el crecimiento micelial de *Sclerotium spp.*

Cuadro 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *S. rolfsii* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de canela.

Concentración (ppm)	Tratamientos			
	Extracto de Canela solo	Canela NPs de Si(OH) ₄	Canela + C.A	T. químico
500	20.493 de	13.083 defg	8.14 efg	40.988 c
700	21.803 de	21.365 de	10.32 defg	54.068 bc
1500	23.838 d	19.04 def	0 g	66.425 ab
2000	21.365 de	15.99 def	7.265 efg	51.16 bc
2500	18.313 def	18.75 def	3.488 fg	48.11 c
3000	19.915 de	9.155 defg	14.1 defg	72.82 a

En relación a los resultados anteriores se obtuvo la CL₅₀ de los diferentes tratamientos (Cuadro 4), en donde podemos observar que el extracto de canela con nanopartículas de hidróxido de silicio al 5%, mostraron la CL₅₀ más baja con una concentración de 0.0004421, a diferencia del extracto de canela con carbón activado que presentó la concentración más alta de 6.8098 ppm, sin embargo, es importante mencionar que entre más se incrementaba la dosis del extracto mayor era la velocidad del crecimiento de la cepa. Esto difiere a lo reportado Díaz (2020), quien menciona una CL₅₀ de 3557 ppm del extracto de canela, para el control de *Fusarium sp.* Así mismo Echeverría (2024), que menciona que el extracto de canela necesita una CL₅₀ de 18,770 ppm para inhibir el crecimiento de *A. alternata*.

Cuadro 4. Concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción del extracto de canela contra el hongo *S. rolfsii*.

Extracto	(ppm)			ECUACION DE PREDICCIÓN
	N	CL50	LIMITES FIDUCIALES	
Canela solo	4	4.7005 E-10	/	Y= -0.6042 + 0.0648 (X)
Canela + NPs de Si(OH) ₄	4	0.0004421	/	Y= -0.5085 + 0.1516 (X)
Canela + C A.	4	6.8098 E-45	/	Y= -1.3626 + 0.0309 (X)
T. químico	4	772.10372	/	Y= -1.5674 + 0.5428 (X)

Respecto a las evaluaciones realizadas para el control de *S. rolfsii*, (Cuadro 5), el extracto de cítricos no mostró actividad antifúngica contra este patógeno al tener resultados del 0% de inhibición en todas las concentraciones utilizadas. Estos resultados difieren a lo mencionado por Caccioni *et al.*, (2008) que en estudios anteriores mencionan que el aceite esencial y/o extracto vegetal de cascara de naranja han demostrado actividad fungicida en gran variedad de hongos fitopatógenos. A si mismo lo confirma Silva *et al.*, (2015) mencionando que el tratamiento con extracto de cítricos al 1%, obtuvo los mejores resultados para reducir la incidencia de *Penicillium* spp. en un 25%, severidad un 10.52%, y un control del 89.5% de la enfermedad conocida como moho azul en el cultivo de manzana en postcosecha. De acuerdo a los resultados en el testigo químico podemos destacar que a 3000 ppm de Tiabendazol se inhibe alrededor de 70% del crecimiento de *S. rolfsii*. Estos resultados difieren a lo mencionado por Pérez-Moreno *et al.*, (2009), donde sus resultados muestran que el Tiabendazol, sólo retrasó el crecimiento micelial, redujo la producción de esclerocios y únicamente inhibió un 4% del crecimiento de la cepa., (Zazueta *et al.*, 2021), menciona que *S. rolfsii* puede cubrir el medio de cultivo PDA en aproximadamente 3 a 5 días, debido a su crecimiento rápido.

Cuadro 5. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *S. rolfsii* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de cítricos.

Concentración (ppm)	Tratamientos			
	Extracto de Cítrico solo	Cítricos NPs de Si(OH) ₄	Cítricos + C.A	T. químico
500	0 d	0 d	0 d	40.988 c
700	0 d	0 d	0 d	54.068 b
1500	0 d	0 d	0 d	66.425 a
2000	0 d	0 d	0 d	51.16 bc
2500	0 d	0 d	0 d	48.111 bc
3000	0 d	0 d	0 d	72.82 a

Inhibición de la producción de esclerocios

De acuerdo a los resultados en el conteo de esclerocios del extracto de gobernadora (Cuadro 6), se observa que el testigo absoluto produjo 145.50 esclerocios en promedio sirviendo como punto de referencia, mostrando que el extracto de gobernadora solo, logró inhibir el 100% de la producción en las concentraciones de 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm, por otro lado en las concentraciones de 500 y 700 ppm la inhibición fue de 93.7 y 88.4% respectivamente, mientras que en la combinación de gobernadora más nanopartículas de hidróxido de silicio, se redujo la producción de esclerocios al 100% en las concentraciones de 500, 1500, 2000 y 2500 ppm, mientras que en la concentración de 700 ppm presentó una inhibición del 96.4%, y a 3000 ppm se redujo a 91.6%. En los tratamientos de gobernadora con carbón activado se inhibió alrededor del 100% en las concentraciones de 2000, 2500 y 3000 ppm, también se puede observar que, en las concentraciones de 500, 700 y 1500 ppm inhibió el 95.1, 96.6 y 93%. Podemos destacar que todos los tratamientos a las diferentes concentraciones lograron superar al tratamiento químico (Tiabendazol) que presentó el 50% de inhibición de esclerocios. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Chávez y Aquino (2012), demostrando que el extracto de ajo logra obtener un efecto inhibitorio del 100% en condiciones *in vitro* en la producción de esclerocios de *Sclerotium spp.*

Cuadro 6. Inhibición de producción de esclerocios de *S. rolfsii* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de gobernadora.

Concentración (ppm)	Tratamientos			
	Extracto de Gobernadora solo	Gobernadora NPs de Si(OH) ₄	Gobernadora + C.A	T. químico
500	9.25 b	0.00 b	7.75 b	53.25 abc
700	17.00 b	5.25 b	5.00 b	54.07 ab
1500	0.00 b	0.00 b	10.25 b	66.43 a
2000	0.00 b	0.00 b	0.00 b	51.16 abcd
2500	0.00 b	0.00 b	0.25 b	48.11 abcde
3000	0.00 b	12.25 b	0.00 b	72.82 ab
TESTIGO		145.50 a		

De acuerdo con la producción de esclerocios en los tratamientos de extracto de canela (Cuadro 7), se destacan los resultados del extracto solo, al inhibir la producción de esclerocios al 100% en las concentraciones 700, 1500, 2500 y 3000 ppm, en cuanto a la combinación de canela más nanopartículas de hidróxido de silicio las concentraciones de 1500, 2500 y 3000 ppm inhibieron el 100 sin embargo, estadísticamente las diferentes dosis fueron similares, por otro lado, el tratamiento de canela más carbón activado inhibió el 100% de la producción de esclerocios en las concentraciones de 700 y 2500 ppm, seguido por las concentraciones de 3000, 1500, 500 y 2000 ppm con 99.7, 98.2, 97.5 y 96.8% de inhibición, todos los tratamientos y las diferentes dosis demostraron una alta inhibición al superar al testigo químico que presento el 50% de inhibición de esclerocios. Estos resultados coinciden por lo mencionado por Martínez (2015), donde demuestra que el aceite esencial de clavo logró inhibir el desarrollo de esclerocios de *S. cepivorum* siendo la mejor la concentración de 50 ppm al inhibir el 73.37%, cabe mencionar que los extractos de clavo y canela poseen el metabolito eugenol.

Cuadro 7. Inhibición de producción de esclerocios de *S. rolfsii* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de canela.

Concentración (ppm)	Tratamientos			
	Extracto de Canela solo	Canela NPs de Si(OH) ₄	Canela + C.A	T. químico
500	25.50 bcd	3.00 d	3.75 d	53.25 abc
700	0.00 d	1.50 d	0.00 d	54.07 ab
1500	0.00 d	0.00 d	2.75 d	66.43 a
2000	10.75 cd	0.25 d	4.75 d	51.16 abcd
2500	0.00 d	0.00 d	0.00 d	48.11 abcde
3000	0.00 d	0.00 d	0.50 d	72.82 ab
TESTIGO		145.50 a		

Para el tratamiento de cítricos (Cuadro 8), podemos destacar que el extracto solo en las concentraciones de 500, 700, 1500, 2000 y 3000 ppm, inhibieron por arriba del 90%, donde la concentración de 2500 ppm inhibió el 100% de esclerocios, Mientras que en el tratamiento de cítricos más nanopartículas de silicio en las concentraciones de 500, 2000 y 2500 ppm, inhibió el 100%, seguido de las concentraciones de 700, 3000 y 1500 ppm, con 90.1, 89.9 y 82% de inhibición, por otro lado, la combinación del extracto con carbón activado destaco al obtener el 100% de inhibición de esclerocios en las concentraciones de 500, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm., seguido de la concentración de 700 ppm, con el 94.2%, destacando que todas las concentraciones superan al testigo químico. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos por Aguilar *et al.*, (2014) donde demostraron que el aceite esencial de citronela *Cymbopogon nardus* L. obtuvo un 50% de control sobre *S. sclerotiorum*, y su producción de esclerocios, por otro lado, el aceite esencial también mostró actividad fúngica sobre hongos como *Colletotrichum musae*, *Aspergillus spp.*, y *Pyricularia grisea*. De igual manera Trapman, (2014) mencionan que el extracto de las semillas de naranja tiene la capacidad de manera *in vitro* para inhibir el crecimiento de hongos y bacterias extremadamente perjudiciales.

Cuadro 8. Inhibición de producción de esclerocios de *S. rolfsii* en respuesta a los diferentes tratamientos con extracto de cítricos.

Concentración (ppm)	Tratamientos			
	Extracto de Cítricos solo	Cítricos NPs de Si(OH) ₄	Cítricos + C.A	T. químico
500	1.25 de	0.00 e	0.00 e	53.25 abc
700	10.50 bcde	14.50 bcde	8.50 bcde	54.07 ab
1500	6.50 bcde	26.25 abcde	0.00 e	66.43 a
2000	1.50 de	0.00 e	0.00 e	51.16 abcd
2500	0.00 e	0.00 e	0.00 e	48.11 abcde
3000	2.50 cde	14.75 bcde	0.00 e	72.82 ab
TESTIGO		145.50 a		

CONCLUSIÓN

En base a todos los resultados obtenidos se concluye que el extracto que obtuvo el mayor porcentaje de inhibición con un 28% fue el extracto de gobernadora, además de obtener una CL50 de 6200 ppm.

En cuanto a la producción de esclerocios todos los tratamientos solos o combinados fueron eficientes ya que disminuyeron la presencia de los esclerocios en más del 90%, superando al testigo químico, resultando estos una alternativa eficiente y sostenible para la agricultura para controlar a *S. rolfsii*.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. (2005). Plant pathology 5th edition: Elsevier academic press. *Burlington, Ma. USA*, 79-103.
- Aguilar, R. W. D. S., Ootani, M. A., Ascencio, S. D., Ferreira, T. P., Santos, M. M. D., & Santos, G. R. D. (2014). Fumigant antifungal activity of *Corymbia citriodora* and *Cymbopogon nardus* essential oils and citronellal against three fungal species. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Albelo, M. T., Santana, Y., García, B. L. M., Vicente, L. P., Aballe, Á. P., Ponciano, I., ... y Núñez, J. R. (2007). El monitoreo y manejo de la resistencia a los fungicidas en Cuba. *Fitosanidad*, 11(3), 91-100.
- 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.
- Alonso Reyes, R., Barranco Martínez, B., Gracia Rivero, G., y Jiménez Montejó, G. (2002). Actividad in vivo de *Trichoderma harzianum* sobre *Sclerotium rolfsii* en plántulas de tomate. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24(1), 7-12.
- Ambrogetti, A. O.; Uliarte, E. M.; Montoya, M. A.; Haist, W.; del Monte, R. F. 2016. Evaluación de un panel para recuperación de deriva en aplicaciones fitosanitarias en viñedos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*. 48(2): 83-94.

- Ayed, F., Jabnoun-Khiareddine, H., Aydi-Ben-Abdallah, R., y Daami-Remadi, M. (2018). Effects of pH and aeration on *Sclerotium rolfsii* sacc. mycelial growth, sclerotial production and germination. *International Journal of Phytopathology*, 7(3), 123-129.
- 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.
- Bano, I., Skalickova, S., Sajjad, H., Skladanka, J., y Horky, P. (2021). Uses of selenium nanoparticles in the plant production. *Agronomy*, 11(11), 2229.
- Bansal, R. P., J. B. Donnet and F. Stoeckli. 1988. "Active Carbon", Marcel Dekker, New York.
- Bao-Shan, L., shao-qi, D., Chun-Hui, L., Li-Jun, F., Shu-Chun, Q., y Min, Y. (2004). Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of Changbai larch seedlings. *Journal of Forestry research*, 15, 138-140
- Basumatary, M., Dutta, B. K., Singha, D. M., y Das, N. (2015). Some *in vitro* observations on the biological control of *Sclerotium rolfsii*, a serious pathogen of various agricultural crop plants. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 8(2), 87-94.
- Bödeker, P. W. (2023). (s/f). Santé: exposition toxique universelle. Heinrich Böll Stiftung | Bureau Paris - France. Recuperado el 26 de abril de 2024, de <https://fr.boell.org/fr/2023/02/21/sant%C3%A9-exposition-toxique-universelle>

Burman, U.; Saini, M.; Kumar, P. 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. *Toxicological and Environmental Chemistry*. 95: 605-612.

Caccioni R.L.; Guizzardi, M.; Biondi, D.M.; Renda, A.; Giuseppe, R. (2005). Relationship between volatile components of citrus fruit essential oils and antimicrobial action on *Penicillium digitatum*. And *Penicillium italicum* *International Journal of Food Microbiology* 43, 73-79.

Castillo, L. 2002. Evaluación in vitro de la capacidad biocontroladora de tres cepas nativas de *Trichoderma spp.* A tres temperaturas de incubación, sobre *Sclerotium rolfsii*: Agente causal de la pudrición blanca en remolacha (en línea). Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad de Talca-Chile.67p. Consultado 28 febrero.2024. Disponible en <http://www.google.com.ni>

Cazzulo Leal, Y., y Gernaldi Amestoy, E. (2017). Agentes asociados a muerte de plantas de morrón (*Capsicum annum L.*) en cultivos protegidos en el sur de Uruguay, relacionados a diferentes medidas de manejo.

Chávez, A. R., y Aquino Jara, A. S. (2012). Control de los hongos del suelo *Rhizoctonia sp.*, *Fusarium sp.* y *Sclerotium sp.* con extractos vegetales. *Investigación Agraria*, 14(1), 17-23.

Chávez, A. R., y Aquino Jara, A. S. (2012). Control de los hongos del suelo *Rhizoctonia sp.*, *Fusarium sp.* y *Sclerotium sp.* con extractos vegetales. *Investigación Agraria*, 14(1), 17-23.

Chávez, E. R., Valdez, L. L., Calleros, G. V., y Torres, J. M. (2000). Actividad fungicida de la afinina y del extracto crudo de raíces de *Heliopsis longipes* en dos especies de *Sclerotium*. *Agrociencia*, 34(2), 207-215.

De Marcano, A., Vargas, N., y Pire, A. (2005). Efecto de extractos vegetales y fungicidas sintéticos sobre el crecimiento micelial in vitro de *Sclerotium rolfsii* y *Thielaviopsis basicola*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 22(4), 315-324.

Demirci, E., Dane, E., y Eken, C. (2011). In vitro antagonistic activity of fungi isolated from sclerotia on potato tubers against *Rhizoctonia solani*. *Turkish Journal of Biology*, 35(4), 457-462.

Díaz Pérez, F.A. (2020). Evaluación de Extractos Botánicos Para el Control de Hongos Fitopatógenos en el Cultivo de Aguacate (*Persea americana Mill*).

Dimkpa, C. O.; McLean, J. E.; David, W.; Britt, D. W.; Anderson, A. J. 2015. Nano CuO and interaction with nano-ZnO or soil bacterium provide evidence for the interference of nanoparticles in metal nutrition of plants. *Ecotoxicology*. 24: 119-129.

Dwivedi, S. K., & Prasad, G. (2016). Integrated management of *Sclerotium rolfsii*: an overview. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 3(11), 137-146.

European Food Safety Authority (EFSA), Medina-Pastor, P., y Triacchini, G. (2020). The 2018 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, 18(4), e06057.

Faria, F. A., Bueno, C. J., y Papa, M. de F. S. (2009). Atividade fungitóxica de Momordica charantia L. no controle de Sclerotium rolfsii Sacc. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(3), 383-389. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.364>

Farias Hinojosa, R. E., y Sandoval Briones, C. (2005). Evaluacion de tres cepas nativas del hongo *Trichoderma spp.* como controlador biologico de *Sclerotium rolfsii* Sacc. En remolacha (*Beta vulgaris var. saccharifera*) bajo condiciones de invernadero. (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomia).

Flores-Moctezuma, H. E., Montes-Belmont, R., Rogel-Hernández, M. A., y Martínez-Romero, M. E. (2008). Diversidad Genética de *Sclerotium rolfsii* Sacc. en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 26(1),7-14.

García-León, E., Alvarado-Padilla, J. I., Mora-Romero, G. A., Leyva-Madrigal, K. Y., Aguilar-Pérez, V. H., & Tovar-Pedraza, J. M. (2022). First Report of *Sclerotium rolfsii* Causing Collar Rot of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) in Mexico. *Plant Disease*, 106(12), 3202.

Gayathri, R., P. Kannappan, Gopinath y Ponnusamy., S. Kumar y A Saravanan. 2017. Antimicrobial activity of *Mukia maderasapatna* stem extract of jujube 66 seeds activated carbon against gram-positive/gram-negative bacteria and fungi strains: Application in heavy metal removal. *Desalination and Water Treatment*. 72. 418-427. 10.5004/dwt.2017.20694.

- Gera, A., y Abdelaziem, A. A. (2018). Bacterias y nanopartículas de plantas autóctonas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24(1),7-12.
- Gholami, M., Khakvar, R., y Niknam, G. (2014). Introduction of some new endophytic bacteria from *Bacillus* and *Streptomyces* genera as successful biocontrol agents against *Sclerotium rolfsii*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(1), 122-130.
- González A.J. (2008). *Sclerotium rolfsii*, un patógeno de judía que produce daños de forma ocasional. Serida. org. [Recuperado 2024-02-24]. Disponible en: <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=3814>
- González Fernández, A. J. (2013). " *Sclerotium rolfsii*", un patógeno de judía que produce daños de forma ocasional. *Tecnología Agroalimentaria, Boletín informativo del Serida*.
- González, A., Labrín, N., Barrientos, V., & Alezones, J. (2008). Primer reporte de *Sclerotium rolfsii* como agente causal de la pudrición del tallo y la mazorca del maíz en Portuguesa, Venezuela. *Fitopatol. Venez.* 25 (1) 28.
- González-Lemus, U., García, J. J. E., Buendía, I. A., de Jesús Cenobio-Galindo, A., Montiel, R. G. C., y Zaldivar-Ortega, A. K. (2024). Nanopartículas de selenio en la agricultura para la alimentación de rumiantes y la disminución de gases de efecto invernadero. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 10(19), 32-37.

Hernández Soto, I. (2020). Evaluación De La Actividad Antifúngica De Los Extractos De *Argemone Mexicana* L. (pp.35-40).

<http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/3728>.

Hernández, C. A., Quintero, E., y Herrera, L. (2012). Respuesta varietal y pérdidas causadas por el hongo *Sclerotium rolfsii* en frijol común en diferentes épocas de siembra. *Centro Agrícola*, 39(1), 75-78.

Hernández, J. J., Montes, B. R., Flores, M. H., Nava, J. R. y Chanona, P. J. 2004. Caracterización de aislamientos de *Sclerotium rolfsii* Sacc. en diferentes medios de cultivo. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22: 345-350 pp.

Hernández-Morales, J., Ochoa-Martínez, D. L., Ayala-Escobar, V., y Ortega-Acosta, S. Á. (2018). First report of southern blight caused by *Sclerotium rolfsii* on sesame in Mexico. *Journal of Plant Pathology*, 100, 323-323.

Irazoqui Acosta, M.B (2021). Identificación de especies de Trichoderma y su antagonismo *in vitro* contra *Sclerotium rolfsii* proveniente del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) del norte de Sinaloa, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma De Occidente Unidad Regional Los Mochis. Los Mochis, Sinaloa, México. Pp.25-32.

Jaimes Echeverría, J.J. (2024). Uso de Extractos Vegetales Adicionados con Carbón Activado y Nano Partículas de Hidróxido de Silicio para el Control de *Alternaria alternata*.

- Juárez-Segovia, K. G., Díaz-Darcía, E. J., Méndez-López, M. D., Pina-Canseco, M. S., Pérez-Santiago, A. D., & Sánchez-Medina, M. A. (2019). Efecto de extractos crudos de ajo (*Allium sativum*) sobre el desarrollo *in vitro* de *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus niger*. *Polibotánica*, (47), 99-111.
- Kumar, A., Gupta, K., Dixit, S., Mishra, K., y Srivastava, S. (2019). A review on positive and negative impacts of nanotechnology in agriculture. *International journal of environmental science and technology*, 16, 2175-2184.
- Kumari, P., Bishnoi, S. K., y Chandra, S. (2021). Assessment of antibiosis potential of *Bacillus sp.* against the soil-borne fungal pathogen *Sclerotium rolfsii* Sacc. (*Athelia rolfsii* (Curzi) Tu y Kimbrough). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 1-11.
- Kwon, J.-H., Kang, D.-W., Lee, S.-D., y Kim, J. (2014). First Report of *Sclerotium* Rot Caused by *Sclerotium rolfsii* on Yacón in South Korea. *Plant Disease*, 98(10), 1443–1443. <https://doi.org/10.1094/pdis-06-14-0616-pdn>
- Leiva-Mora, M., Páez Martínez, P. P., Bernal Cabrera, A., Pérez Salinas, M. O., Muñoz Espinoza, M., Vasquez Freytez, C. L., y León Gordón, O. A. (2020). El complejo de especies de Sclerotinia y su importancia fitopatológica en cultivos tropicales. *Centro Agrícola*, 47, 29-32 (.).
- Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Vera Reyes, I., y De los Santos Villarreal, G. (2018). Agronanotecnología: una nueva herramienta para la agricultura moderna. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 50(2), 395-411.

Lira-Saldívar, R.H (2003). Estado Actual del Conocimiento Sobre las Propiedades Biocidas de la Gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C.) Coville]. Revista Mexicana de Fitopatología. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/612/61221217.pdf>.

López-Benítez, A., Almanza-Pecina, F. J., Hernández-Castillo, F. D., & Mendoza-Elos, M. (2005). Efecto inhibitorio de extractos vegetales acuosos sobre *Rhizoctonia solani* Kühn in vitro. Revista Agraria, 2(1), 29-36.

López-Muñoz, N. R., Romero-Bastidas, M., Arce-Amézquita, P. M., y Hernández-Rubio, J. S. (2019). Actividad antifúngica de antioxidantes derivados de cuatro cultivares de *Capsicum* spp. contra hongos fitopatógenos. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(18), 487-494

López-Muñoz, N. R., Romero-Bastidas, M., Arce-Amézquita, P. M., y Hernández-Rubio, J. S. (2019). Actividad antifúngica de antioxidantes derivados de cuatro cultivares de *Capsicum* spp. contra hongos fitopatógenos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 487-494.

Luna, D., González, A., Gordon, M., y Martín, N. (2007). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco. *Contactos*, 64(10), 39-48.

Mahato A, Mondal B, Dhakre DH, Khatua DC. *In vitro* sensitivity of *Sclerotium rolfsii* towards some fungicides and botanicals. *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 2014; 2(7): 467-471

- Mahmood, I., Imadi, S. R., Shazadi, K., Gul, A., y Hakeem, K. R. (2016). Effects of pesticides on environment. *Plant, soil and microbes: volume 1: implications in crop science*, 253-269.
- Malacara-Herrera, I. R., Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna-Chávez, E., Velázquez-Guerrero, J. J., Orozco-Plancarte, A., Hernández-Juárez, A., y Aguirre-Urbe, L. A. (2023). Manejo in vitro de *Fusarium acuminatum* con extractos vegetales adicionados con nanopartículas de óxido de silicio y zinc, 31-88.
- Marcuzzo, L. L., y Schuller, A. (2014). Sobrevivência e viabilidade de escleródios de *Sclerotium rolfsii* no solo. *Summa Phytopathologica*, 40, 281-283.
- Martínez Mendoza, J. L. (2015). Evaluación *in vitro* de tres extractos vegetales para el control de *Sclerotinia cepivorum* B. y *Sclerotinia sclerotiorum* B. en ajo *Allium sativum* L. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Saltillo, Coah, México. Pp.35-40.
- Masoomah Gholami, Reza Khakvar y Gholamreza Niknam, Archives of Phytopathology and Plant Protection (2013): Introduction of some new endophytic bacteria from *Bacillus* and *Streptomyces* genera as successful biocontrol agents against *Sclerotium rolfsii*, Archives of Phytopathology and Plant Protection, DOI: 10.1080/03235408.2013.805043.
- Membreño Hernández, L. N., y Téllez Castellón, P. Y. (2011). Distribución espacial y temporal del mal de talluelo (*Rhizoctonia solani*) y pudrición blanca (*Sclerotium rolfsii*) en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en el Campus

Agropecuaria de la UNAN-León, en el ciclo agrícola 2010 [Disertación doctoral, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León].

Mesa, V.A.M., Marín, P., Ocampo, O., Calle, J., y 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.

Miranda, N. D. P. P. (2018). Métodos alternativos de fungicidas para control de *Botrytis Cinerea* en fresa (*Fragaria Vesca*). *INNOVA Research Journal*, 3(2.1), 52-58.

Moreira, C., Côelho, R. D. S., y Graichen, F. A. S. (2023). Sensibilidad *in vitro* de *Sclerotium rolfsii* a fungicidas. *Summa Phytopathologica*, 48, 163-164.

Moreno-Limón, S., González-Solís, L. N., Salcedo-Martínez, S. M., Cárdenas-Avila, M. L., y Perales-Ramírez, A. (2011). Antifungal effect of gobernadora extracts (*Larrea tridentata* L.) on *in vitro* inhibition of *Aspergillus flavus* and *Penicillium sp.* *Polibotánica*, (32), 193-205.

Narváez, S. A. (2006). Evaluación del efecto antifúngico *In vitro* del aceite esencial de hoja de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) puro y microencapsulado [Disertación doctoral, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2012].

Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., y Hens, L. (2016). Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in public health*, 4, 148.

Nunes, A. D. V. (2021). Uso do biochar de lodo de esgoto e de *Trichoderma afroharzianum* no controle de *Sclerotium rolfsii in vitro* e em mudas de tomateiro [Monografía]. Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil ,278.

Nunes, I. L., y Marques, J. T. (2021). Citrus Essential Oils: A Review on Extraction Techniques, Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities. *Molecules*, 718.

Ocegueda-Reyes, Martha Delia, Casas-Solís, Josefina, Virgen-Calleros, Gil, González-Eguiarte, Diego Raymundo, López-Alcocer, Eduardo, y Olalde-Portugal, Victor. (2020). Aislamiento, identificación y caracterización de rizobacterias antagónicas a *Sclerotium cepivorum*. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(1), 146-159. Epub 27 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1911-2>

Oliva, M. M., Zanetti, N. O., y Zygadlo, J. A. (1999). Inhibitory effects of *Ruta graveolens* L. oil on fungi isolated from foods. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 208(1), 33-36.

Ordonez-Valencia, C., Ferrera-Cerrato, R., Alarcon A., Hernandez-Cuevas, L. V. y Larsen, J. (2018). Desarrollo morfológico temprano de esclerocios por *Sclerotinia sclerotiorum* en presencia de bicarbonato de potasio. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(3), 363-378.

Ordoñez-Beltrán, V., Frías-Moreno, M. N., Parra-Acosta, H., y Martínez-Tapia, M. E. (2019). Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud. *Revista de toxicología*, 36(2), 148-153.

- Ospina, D. I., Álvarez, V., Torres, H. G., Sánchez, M. S., y Bonilla, C. R. (2011). Evaluación *in vitro* de la actividad inhibitoria de aceites esenciales de *Lippia origanoides* HBK sobre el desarrollo micelial y la formación de esclerocios de *Sclerotium cepivorum* Berk. *Acta Agronómica*, 60(4), 306-311.
- Peñaloza Peñafort, Ó. (2022). Evaluación de quitosano como agente de control *in vitro* de *Pythium aphanidermatum* y *Sclerotium rolfsii*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Saltillo, Coah, México. Pp.40-45.
- Pérez-Moreno, L., Villalpando-Mendiola, J. J., Castañeda-Cabrera, C., y Ramírez-Malagón, R. (2009). *In vitro* sensibility of *Sclerotium rolfsii* Saccardo, to fungicides commonly used for its control. *Revista mexicana de fitopatología*, 27(1), 11-17.
- Pérez-Vera, O. A., y Cibrián-Tovar, D. (2018). Primera descripción de *Sclerotium coffeicola* en caoba africana en México. *Revista argentina de microbiología*, 50(2), 202-205.
- Quintana, L., y Gutiérrez, S. A. (2022). Stem rot (*Sclerotium oryzae*) in rice crops on the southern region of Paraguay. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (38), 91-100.
- Quispe Vilca, D. P. (2021). Uso de nanopartículas en la purificación de aguas. Revisión sistemática 2021. [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Perú, México. Pp.34-40.

- Rakesh, R., Rathi, A. S., Kumar, P., Kumar, A. y Kumari, P. 2016. Sclerotinia rot of rapeseed mustard: A comprehensive review. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(4): 2325-2336.
- Ram, R. M., Rajput, R. S., y Vaishnav, A. (2021). Management of *Sclerotium rolfsii* Induced Diseases in Crops by *Trichoderma* Species. En *Microorganisms for Sustainability* (Vol. 23, pp. 593-617). Springer.
- Ramírez González, S. I., López Báez, O., Espinosa Zaragoza, S., y Wong Villarreal, A. (2016). Actividad antifúngica de hidrodestilados y aceites sobre *Alternaria solani*, *Fusarium oxysporum* y *Colletotrichum gloesporioides*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8), 1879-1891.
- Rastogi, A., Tripathi, D. K., Yadav, S., Chauhan, D. K., Živčák, M., Ghorbanpour, M., y Brestic, M. (2019). Application of silicon nanoparticles in agriculture. *3 Biotech*, 9, 1-11.
- Rivera-Escareño, D., Garcia-Flores, D. A., Ortega-Amaro, A., Loera-Alvarado, G., y Cadena-Iñiguez, J. (2024). Gobernadora (*Larrea tridentata*), planta del semidesierto con alto potencial de aprovechamiento. *Agro-Divulgación*, 4(1).
- Rojas, V., Ulacio, D., Jiménez, M. A., Perdomo, W., y Pardo, A. (2010). Análisis epidemiológico y control de *Sclerotium cepivorum* Berk. y la pudrición blanca en ajo. *Bioagro*, 22(3), 185-192.

- Salazar, W., Berrios, V., Estrada, D., y Caballero, A. (2009). Enfermedades de hortalizas: una guía para su identificación y manejo en campo. *Cuenta Reto del Milenio. UNAN-León. León, Nicaragua, 103.*
- Sánchez, J. P. M. (2013). ¿Tenemos resistencias a fungicidas? Situación en España y su manejo. *Phytoma, 25, 32(1) 35.*
- Shyla, K. K.; Natarajan, N. 2014. Customizing zinc oxide, silver and titanium dioxide nanoparticles for enhancing groundnut seed quality. *Indian Journal of Science and Technology. 7: 1376-1381*
- Silva Cruz, M. E., Freitas Schwan-Estrada, K. R., Balbi-Peña, M. I., Terumi Itako, A., Clemente, E., y Stangarlin, J. R. (2015). Control del moho azul en poscosecha de manzana con productos naturales. *Idesia (Arica), 33(2), 57-63.*
- Silva, V., Mol, H. G., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., y Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils—A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment, 653, 1532-1545.*
- Souza E, Lima E, Freire K, Paiva C.2005. Inhibitory action of some essential oils and phytochemicals on the growth of various moulds isolated from foods Braz Arch Biol Technol. 48:245-50.
- Stauffer, A; Orrego, A; Aquino, A. 2000. Selección de extractos vegetales con efecto fungicida y/o bactericida. *Revista de Ciencia y Tecnología, Dirección de Investigaciones UNA. 1(2):29-33.*

Tasman, K., Rands, S. A., y Hodge, J. J. L. (2020). The neonicotinoid insecticide imidacloprid disrupts bumblebee foraging rhythms and sleep. *iScience*, 23(12), 101827. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101827>.

Techniques, Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities. *Molecules*, 718

Tejeda Villagómez, Eduardo Alberto, Hernández-Adame, Luis, Nieto Navarro, Francisco, y Anzaldo Montoya, Mónica. (2023). Nanopartículas de silicio como vehículos de transporte para moléculas de interés agrícola. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69732>.

Terrones-Salgado, J., Ortega-Acosta, S. Á., Ortega-Acosta, C., Rodríguez-Esquivel, M., Sánchez-Ruiz, F. J., Palemón-Alberto, F., y Vallejo-Pérez, M. R. (2023). First Report of *Athelia rolfsii* (= *Sclerotium rolfsii*) Causing Southern Blight on *Pachyrhizus erosus* in Mexico. *Plant Disease*, 107(1), 225.

Trapman, M. (2004). Evaluación del extracto de semilla de pomelo como fungicida natural para el control de la sarna del manzano en el cultivo ecológico de manzanas. En Ecofruit-11^a Conferencia Internacional sobre Técnicas de Cultivo y Problemas Fitopatológicos en la Fruticultura Orgánica: Actas de la Conferencia del 3 de febrero al 5 de febrero de 2004 en Weinsberg/Alemania (pp. 202-207).

Urrunaga-Ormachea, M., del Carpio-Jiménez, C., Gutierrez-Chaveza, R. G., y Tomaylla-Cruz, C. (2022). Propiedades fisicoquímicas, composición química y

actividad antioxidante del aceite esencial de *Citrus jambhiri* (Limón rugoso). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(3), 277-288.

Valenzuela, N. L., Ángel, N., Ortiz, T., Rosas, A., Santos, M. O., y García, C. O. (2013). Potencial antifúngico de extractos de cuatro especies vegetales sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya (*Carica papaya*) en poscosecha. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4(1), 047-062.

Wang, S.; Liu, H.; Zhang, Y.; Xin, H. 2015. Effect of CuO nanoparticles on reactive oxygen species and cell cycle gene expression in roots of rice. *Environmental Toxicological Chemistry*. 34: 554-561.

Xue, J., Luo, Z., Li, P., Ding, Y., Cui, Y., y Wu, Q. (2014). A residue-free green synergistic antifungal nanotechnology for pesticide thiram by ZnO nanoparticles. *Scientific reports*, 4(1), 5408.

Zapata-Narváez, Y. A., Gómez-Marroquín, M. R., y Botina-Azain, B. L. (2020). Evaluación de antagonistas microbianos y aceites esenciales en el control de *Sclerotium cepivorum* en ajo en condiciones controladas. *Revista mexicana de fitopatología*, 38(2), 182-197.

Zazueta Torres, Norma Delia, Ayala Tafoya, Felipe, González Morales, Susana, Velázquez Alcaraz, Teresa de Jesús, Yáñez Juárez, Moisés Gilberto, y Partida Ruvalcaba, Leopoldo. (2021). Crecimiento in vitro de *Sclerotium rolfsii* en respuesta a la calidad de luz de tres tipos de lámparas fluorescentes. *Revista*

mexicana de ciencias agrícolas, 12(1), 141-147.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2313>

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.