

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Control *In vitro* de *Fusarium verticillioides* Mediante Extractos Vegetales Adicionados con Carbón Activado y Nano Partículas de Hidróxido de Silicio

Por:

**MARTIN FLORES JUÁREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Control *In vitro* de *Fusarium verticillioides* Mediante Extractos Vegetales Adicionados con Carbón Activado y Nano Partículas de Hidróxido de Silicio

Por:

**MARTIN FLORES JUÁREZ**

TESIS

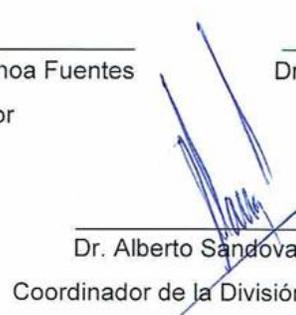
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Ernesto Cerna Chávez  
Asesor Principal

  
Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar  
Asesor Principal Externo  
Dra. Yisa María Ochoa Fuentes  
Coasesor  
Dra. Yolanda Rodríguez Pagaza  
Coasesor  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

## 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



Martín Flores Juárez

Firma y nombre

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios** por dejarme llegar con salud hasta este punto de mi vida.

**A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**, por dejarme ser parte de esta gran institución, en la cual pude obtener los conocimientos y experiencias que me darán las herramientas para el éxito profesional y por qué durante mi estancia en aquí tuve la oportunidad de conocer a una de las personas más importantes para mí.

**A la Dra. Rocío de Jesús Díaz Aguilar** por todo el apoyo brindado, su paciencia y los consejos compartidos, la orientación el compromiso y empeño que tuvo para la culminación de este proyecto

**Al Dr. Ernesto Cerna Chávez** por permitirme formar parte de este proyecto, por el apoyo brindado y por los conocimientos compartidos.

A la **Dra. Yisa María Ochoa Fuentes** por las facilidades brindadas para que este proyecto se llevara a cabo y por su disposición como miembro del comité de asesoría de esta tesis.

**A todos aquellos que fueron y serán mis amigos**, por todos los momentos de diversión que pasamos durante esta etapa.

**A mi amigo José Javier Jaimes Echeverría**, por su amistad incondicional, el apoyo que me brindo, por todo el tiempo las experiencias y las aventuras que compartimos.

Por ultimo pero no menos importante a todos los **catedráticos** que me compartieron su conocimiento durante esta etapa y que contribuyo a mi formación académica.

## **DEDICATORIAS**

**A mi madre:**

**Zenaida Juárez Ortiz.**

Quien siempre me ha apoyado en cada etapa de mi vida, y me dado las herramientas para siempre seguir adelante.

**A mis hermanos:**

María David, Ramiro y Lorenza

Por el apoyo que me brindaron para que yo pudiera llegar a este punto.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIAS .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE CUADROS .....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Género <i>Fusarium</i> .....	3
Morfología.....	3
Biología.....	4
Ciclo de Vida.....	4
<i>Fusarium verticillioides</i> .....	4
Descripción morfológica .....	5
Distribución mundial .....	5
Distribución en México .....	6
Principales Cultivos Afectados .....	6
Maíz ( <i>zea mays</i> ).....	6
Sorgo ( <i>Sorghum spp.</i> ).....	7
Banano ( <i>Musa spp.</i> ) .....	7
Agave ( <i>Agave tequilana Weber var. Azul</i> ).....	8
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> ).....	8
Control químico.....	8
Toxicidad a humanos .....	9
Resistencia a funguicidas .....	9
Control con Extractos Botánicos.....	10

Extracto de canela.....	11
Extracto de gobernadora .....	11
Extracto de cítricos ( <i>citrus spp.</i> ).....	12
Uso de nanomateriales .....	13
Nanopartículas de Silicio .....	13
Adición de Carbón Activado.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
Localización del Experimento.....	15
Obtención de la cepa de <i>Fusarium verticillioides</i> . .....	15
Extractos Botánicos.....	15
Evaluación de los Extractos Botánicos .....	15
Conteo de Esporas .....	16
Análisis Estadístico .....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
Inhibición del crecimiento micelial .....	18
Inhibición de la producción de esporas .....	23
CONCLUSIÓN.....	26
LITERATURA CITADA.....	27

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de <i>F. verticillioides</i> , evaluado con extracto de gobernadora. ....	19
Cuadro 2.-Concentración letal media, limites fiduciales y ecuación de predicción de los tratamientos del extracto de gobernadora.....	19
Cuadro 3.- Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de <i>F. verticillioides</i> , evaluado con extracto de canela. ....	20
Cuadro 4.-Concentración letal media, limites fiduciales y ecuación de predicción de los tratamientos del extracto de canela.....	21
Cuadro 5.- Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de <i>F. verticillioides</i> , evaluado con extracto de cítricos. ....	22
Cuadro 6.-Concentración letal media, limites fiduciales y ecuación de predicción de los tratamientos del extracto de cítricos.....	22
Cuadro 7.- Comparación de número de esporas de los tratamientos de gobernadora, producidos por <i>F. verticillioides</i> . ....	23
Cuadro 8.- Comparación de número de esporas de los tratamientos de canela producidos por <i>F. verticillioides</i> .....	24
Cuadro 9.- Comparación de número de esporas de los tratamientos de cítricos, producidos por <i>F. verticillioides</i> .....	25

## RESUMEN

Diferentes especies del género *Fusarium* han sido identificadas como importantes patógenos de plantas, pudiendo afectar en cualquier etapa de desarrollo del cultivo, causando pérdidas económicas y la disminución en la producción, una de las especies de gran interés es *F. verticillioides* ampliamente distribuida y con amplio rango de hospederos, siendo uno de los más afectados el cultivo de maíz ya que además de afectar en campo y postcosecha puede producir micotoxinas. El control de este hongo es fundamental debido a la demanda de alimentos que obliga a los agricultores a obtener cosechas con mayor rendimiento y calidad de los productos, por lo que se ven orillados al uso inmoderado de productos químicos, afectando al medio ambiente y a la salud humana, ante esto surge la necesidad de buscar nuevas alternativas de control, se evaluaron en condiciones *in vitro* extractos vegetales de canela, gobernadora y cítricos solos y adicionados con nano partículas de hidróxido de silicio y carbón activado con sobre el control de *F. verticillioides*, mediante la técnica de medios envenenados en cajas Petri, utilizando como medio de cultivo PDA, se realizó la dilución de los extractos a concentraciones de 500, 700, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm además de un testigo absoluto y un testigo químico cada tratamiento contaba con 4 repeticiones, se evaluó el porcentaje de inhibición y se realizó un conteo de esporas. Los resultados muestran que el mejor extracto fue el de gobernadora obteniendo alrededor de un 55% de inhibición a una concentración de 3000 ppm, por otra parte, el extracto de canela obtuvo una reducción significativa en la producción de esporas con un promedio de 1.25E+06 esporas/mL, y para el caso de cítricos también mostró tener efecto tanto en crecimiento micelial como en la producción de esporas.

**Palabras clave:** *F. verticillioides*, Extractos, Fungicidas, Fitopatógenos.

## ABSTRACT

Different species of the *Fusarium* genus have been identified as important plant pathogens, which can affect at any stage of crop development, causing economic losses and a decrease in production. One of the species of great interest is *F. verticillioides*, widely distributed and with a wide ranges of hosts, being one of the most affected the maize crop, as it can produce mycotoxins in addition to affecting in the field and post-harvest. The control of this fungus is essential due to the demand for food that forces farmers to obtain crops with higher yield and quality of products, so they are forced to the immoderate use of chemicals, affecting the environment and human health, thus the need to seek new control alternatives arises, plant extracts of cinnamon, governor and citrus alone and added with nano particles of silicon hydroxide and activated carbon were evaluated in in vitro conditions on the control of *F. verticillioides*, by means of the technique of poisoned media in Petri boxes, using PDA as culture medium, the extracts were diluted at concentrations of 500, 700, 1500, 2000, 2500 and 3000 ppm in addition to an absolute control and a chemical control, each treatment had 4 replicates, the percentage of inhibition was evaluated and a spore count was carried out. The results show that the best extract was that of governor obtaining around 55% inhibition at a concentration of 3000 ppm, on the other hand, the extract of cinnamon obtained a significant reduction in spore production with an average of  $1.25E+06$  spores/mL, and for citrus also showed an effect on both mycelial growth and spore production.

**Key words:** *F. verticillioides*, Extracts, Fungicides, Phytopathogens.

## INTRODUCCIÓN

Las especies de género *Fusarium* están distribuidas en suelo afectando a diversas plantas y cultivos, siendo en ocasiones considerados como oportunistas (Tapia y Amaro, 2014) las enfermedades causadas por estos hongos pueden provocar marchitamientos vasculares, manchas, pudrición de raíces, tallos, semillas, granos y frutos (Nelson, 1992). El hongo *Fusarium verticillioides* anteriormente se conocía como *Fusarium moniliforme*, este ascomiceto pertenece a la subdivisión Deutoromycota, y presenta una fase sexual llamada teleomorfo (De La Torre-Hernández *et al.*, 2014). Este hongo se encuentra distribuido a nivel mundial principalmente en zonas templadas, tropicales y húmedas, teniendo una amplia gama de hospederos siendo el maíz el cultivo principalmente afectado ya que ocasiona tizón en plántulas, pudriciones en tallo y mazorca disminuyendo con esto la calidad de la semilla (Cruz-Lachica *et al.*, 2022)

Para el controlar este patógeno se utilizan diferentes técnicas, dentro de las cuales el control químico es el más utilizado, sin embargo, tiene desventajas puesto que son residuales, generan daños a la salud humana y al ambiente (Gan y Wickings, 2017). Existe la necesidad de buscar alternativas de control que sea efectivas y menos tóxicas, el empleo de extractos vegetales son una opción, ya que se obtienen de diferentes órganos de las plantas tales como raíces, hojas, brotes, tallos, flores y frutos, siendo una opción ya que no generan resistencia, no contaminan y son biodegradables (Cordell, 2000). En la actualidad los nanomateriales están surgiendo como herramientas para controlar las enfermedades de las plantas e incrementar el rendimiento de los cultivos para satisfacer la elevada demanda mundial de alimentos (El-Sayed *et al.*, 2023). Estas nano partículas se utilizan para reducir el uso de plaguicidas y mejoran su eficiencia, ya que se utilizan dosis más bajas de los productos (Patil *et al.*, 2012). Por tal motivo la adición de sustancias como el carbón activo y nano partículas de hidróxido de silicio a los extractos vegetales, podrían ser un potenciador de estos

mejorando su eficiencia, por su parte las nano partículas le confieren biocompatibilidad y amplían el área superficial del extracto (Asgari *et al.*, 2018). Mientras que el carbón activado tiene propiedades que le permiten purificar las sustancias, por lo cual podrían ser aprovechadas en la agricultura (Vargas, 2015).

### **Objetivo general**

Evaluar *in vitro* el potencial de principios activos de gobernadora, canela y cítricos, solos y adicionados con carbón activado y nano partículas de hidróxido de silicio, sobre el control de *Fusarium verticillioides*.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) de los extractos de gobernadora, canela y cítricos para la inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium verticillioides*.
- Realizar el conteo de esporas de *Fusarium verticillioides* de los diferentes tratamientos para determinar su inhibición.

### **Hipótesis**

Al menos uno de los extractos utilizados logrará inhibir el crecimiento y producción de esporas de *Fusarium verticillioides*.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Género *Fusarium*.**

El género *Fusarium* fue descrito por Link en 1915, el arreglo taxonómico dentro del género varía según el punto de vista de diferentes autores que se han dedicado a su estudio,

**Reino:** Fungí

**Phylum:** Ascomycota

**Clase:** Sordariomycetes

**Orden:** Hypocreales

**Familia:** Hypocreaceae

**Género:** *Fusarium*

Fuente: Leslie y summerell, 2006.

### Morfología

La taxonomía de este género ha pasado por diversos cambios desde su primera descripción, con la observación microscópica se logran apreciar fiálides finas y con una apariencia un tanto asemejada a una botella, puede ser cortas o alargadas, simples o ramificadas, polifialídica o monofialídica. Los microconidios para el caso de ciertas especies se encuentran ausentes y poseen una variación de formas (fusiformes, ovals, clavadas), macroconidios pueden ser hialinos o septados con forma de media luna, además se pueden apreciar clamidosporas con una doble pared gruesa, lisa o rugosa, las cuales se encuentran tanto aisladas, en pareja o incluso en grupo (Tapia y Amaro, 2014).

## Biología

Es un género ampliamente distribuido de hongos imperfectos que causan una gran variedad enfermedades en plantas por lo que son de gran interés agrícola y económico (Nelson *et al.*, 1981). Las especies de este género son saprofitas durante determinadas etapas de crecimiento y dependiendo de la especie pueden desarrollar o no una etapa de reproducción sexual, se han descrito estados sexuales para algunas especies de este género, todos los teleomorfos conocidos de *Fusarium* spp., están incluidos en el orden Hipocreales de Ascomycota (Samuels *et al.*, 2001).

## Ciclo de Vida

El inóculo inicial está presente en el rastrojo y el suelo, iniciando la infección durante las primeras etapas del cultivo. La pudrición o podredumbre de la raíz comienza durante la etapa vegetativa pero no se nota hasta que comienza la migración de fotosintatos desde la base del tallo hacia la parte aérea y posteriormente la planta se debilita. Dado que la mayoría de los patógenos de este género son habitantes del suelo, la enfermedad se considera monocíclica, ya que, aunque pueden presentarse infecciones secundarias, los daños y pérdidas dependen del inóculo presente en la parcela al momento de la siembra (Fauba, 2020).

## ***Fusarium verticillioides***

Existe una considerable controversia sobre el nombre del taxón especie, algunos taxónomos lo llaman *F. moniliforme* y otros *F. verticillioides*, considerando que el nombre *F. verticillioides* sólo puede utilizarse para cepas con teleomorfo *G. moniliformis* (*Gibberella funjikori*) y no sólo como reemplazo de *F. moniliforme* (Leslie y Summerell, 2006).

## Clasificación taxonómica

**Reino:** Fungí

**Phylum:** Ascomycota

**Clase:** Sordariomycetes

**Orden:** Hypocreales

**Familia:** Nectriaceae

**Género:** *Gibberella*

**Género:** *Fusarium* (anamorfo)

**Especie:** *Fusarium verticillioides*

Groenewald, 2006; Díaz de castro *et al.*, 2007.

#### Descripción morfológica

Esta especie presenta macroconidios en forma de hoz con la superficie dorsal y ventral casi paralelas, su pared es delgada con una célula basal o pie distinto y una célula apical que a menudo es alargada, microconidios unicelulares con la base truncada y se desarrollan en cadenas largas y cabezas falsas. Los microconidióforos son monofialides largas no ramificadas y/o ramificadas (Nelson, 1992)

#### Distribución mundial

El hongo *F. verticillioides* es capaz de colonizar aproximadamente más de 1000 especies de plantas (Bacon y Yates, 2006; Pérez-Rodríguez, 2014). Se considera un patógeno importante como problema en el maíz, y se encuentra en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo (Granjo *et al.*, 2007). Es un patógeno no obligado y no específico de un huésped, ya que podemos encontrarlo en muchos cultivos importantes tales como sorgo, trigo, avena, arroz, algodón, frijoles, tomate, maní, plátano, soja, pimiento verde, cártamo y especies forrajeras, siendo su principal huésped el maíz, pudiendo encontrarlo en el pasto pitillo (*Ixophorus unisetus*) planta silvestre considerada la principal fuente de inóculo (Cantú-Rodríguez, 1998; Tirado- Ramírez *et al.*, 2023)

## Distribución en México

Actualmente en México *F. verticillioides* está presente y afecta cultivos de alta producción en varias partes dentro del territorio como el maíz, trigo, arroz, triticale, plátano, cebada, sorgo y agave, por mencionar las más importantes. Se ha determinado que esta enfermedad en la actualidad se encuentra presente y las zonas con mayor registro de daños a causa de este patógeno son la región de valles altos, el bajío y en los estados de Jalisco, Tamaulipas, Chiapas, Veracruz y sonora (Pérez-Rodríguez, 2014).

## Principales Cultivos Afectados

### Maíz (*zea mays*)

El maíz representa uno de los cultivos más importantes no solo para México sino para todo el mundo, *F. verticillioides* es el patógeno con más incidencia en este cultivo y al cual se le ha prestado más atención por su extensa distribución además de su alta capacidad de producir micotoxinas y de generar resistencia a diferentes ingredientes químicos (Mazzani *et al.*, 2000). Este hongo limita la productividad del cultivo y provoca cuantiosas pérdidas económicas que varían de un año a otro, se le identificó como un patógeno necrótico debido a la capacidad que tiene para provocar la muerte del tejido del hospedero para después sobrevivir como un saprofito en los rastrojos y restos del cultivo, en primeras etapas de la infección el hongo adquiere una fase biotrofa, llegando a sobrevivir como endófito en la semilla y el tallo de las plantas sin ningún daño aparente y cuando las condiciones ambientales son favorables infecta la mayoría de los tejidos de la planta llegando a provocar una pudrición en raíz, tallo y mazorca (Kedera, 1994).

En el grano se puede notar sobre el pericarpio un patrón de líneas blanquecinas y en casos donde la infección es más intensa suele aparecer micelio de color blanco con una apariencia algodonosa, que inicia en los granos del ápice y posteriormente avanza por toda la mazorca creando una pudrición, a estos daños se conoce como fusariosis rosa, típica de *F. verticillioides* (Cao, 2013), una vez presente este puede mantenerse allí por un periodo prolongado de tiempo,

pasando a ser una enfermedad de postcosecha, esta especie es capaz de producir diferentes micotoxinas, las más abundantes son las fumonisinas estas han causado gran preocupación debido a los daños que causan al ser consumidas (Desjardins, 2006), pues se encuentra asociadas con el cáncer de esófago en humanos y varias enfermedades en animales como la leucoencefalomalacia en caballos y el edema pulmonar en cerdos (Perusia y Rodríguez, 2013).

#### Sorgo (*Sorghum spp.*)

Para México el sorgo es un cultivo de suma relevancia económica y agrícola el cual se cultiva en casi todo el país. El tizón de tallo y panoja, es una afección que se presenta regularmente en todas las áreas sorgueras del país, pero principalmente en el bajío, las pérdidas a causa de este patógeno varían dependiendo de la severidad y el estado fenológico del cultivo (Hernández *et al.*, 1987), este patógeno se moviliza por el sistema vascular hacia la semilla, el crecimiento del micelio produce variaciones en la coloración de las flores y del grano, en casos severos y cuando estos son en etapas tempranas de llenado del grano, interfiere en la correcta formación de la semilla, produciendo un cambio de color del pericarpio, reduce el endospermo, reduce el peso volumétrico de la semilla, afecta la germinación y el vigor, además de que genera micotoxinas que afectan la salud humana y animal (Menkir *et al.*, 1996).

#### Banano (*Musa spp.*)

Este cultivo de zonas tropicales, es uno de los más consumidos en todo el mundo, recientemente se encuentran reportes de *F. verticillioides* asociados a daños en cultivares, esta enfermedad presenta síntomas como amarillamiento, seguido de necrosis en las hojas que avanza desde el borde hacia la nervadura principal, caída del peciolo y en casos severos la muerte de la planta, otros daños internos incluyen necrosis en los haces vasculares con lesiones necróticas en el interior de rizomas y raíces (Aguilar-Ancota *et al.*, 2021).

*Agave (Agave tequilana Weber var. Azul).*

Esta especie del generó *Fusarium* ha sido encontrada frecuentemente en tallo de plantas de agave tequilero, ocasionando la enfermedad conocida como marchitez del agave, sin embargo, también se han encontrado otras especies asociadas a síntomas similares, esta enfermedad se reporta con alta incidencia en el estado de Jalisco, de manera general se puede encontrar esta y otras especies del género *Fusarium spp.*, aunque no se presente síntomas en las plantas debido a que este hongo es un habitante natural del suelo y puede sobrevivir en materia orgánica (Tlapal-Bolaños, 2013).

*Arroz (Oryza sativa)*

Podemos encontrar esta especie en arroz provocando la llamada fusariosis del arroz, dentro de los síntomas manifestados incluyen un menor desarrolló en grosor y mayor en altitud, cambios en la coloración (amarillamiento) y una reducción en el tiempo de espigado, produce un manchado del grano de coloración rosácea, una pérdida de la capacidad germinativa del grano además de que genera contaminación con micotoxinas (Carreres, 1997).

### **Control químico**

El interés por aumentar y preservar la cantidad de cosecha ha sido de suma importancia para el hombre desde su asentamiento como agricultor, surgiendo la necesidad de luchar en contra de las diferentes enfermedades que afectan y amenazan los alimentos y otros productos agrícolas (Ferrer, 2003).

Los fungicidas son sustancias químicas utilizados en la agricultura con el fin de eliminar o detener el desarrollo de organismos no deseados, en la actualidad existen diferentes ingredientes activos utilizados en la elaboración de estos fungicidas de los cuales cada uno puede eliminar diferentes especies de hongos en gran variedad de plantas cultivadas (Gabriel *et al.*, 2011).

Aunque el uso de fungicidas químicos en la agricultura resulta competente, su elección como medio para el control de enfermedades fitopatógenas resulta en fuertes repercusiones en diferentes ámbitos como son el ecológico, económico y

sanitario (Gabriel *et al.*, 2011), estos productos impactan en el ambiente y a organismos presentes, en diferentes maneras y con distintos niveles de intensidad, dependiendo de factores como la forma en que se utilizan, las características geográficas de la zona en donde se aplican y estados climáticos (Vargas-González, 2019), el arrojado de residuos líquidos de los productos químicos fuera de áreas designadas, aplicaciones al suelo o tratamiento de semillas, influyen en la contaminación del agua ya que son arrastrados por las corrientes hacia ríos y mares donde además afecta la cadena trófica marítima. (Castillo *et al.*, 2020).

#### Toxicidad a humanos

Los estudios han relacionado el uso prolongado de pesticidas y la exposición a una variedad de enfermedades médicamente importantes, como cáncer, leucemia, Parkinson, asma y deterioro cognitivo entre otros, la exposición a los pesticidas se da principalmente durante su aplicación, además por el mal uso de estos y la falta de equipo de protección, también se pueden ingerir por medio de consumo de alimentos contaminados e inhalación de aire, estas sustancias entran al cuerpo principalmente por vías dérmica, oral, ocular, y respiratoria, su peligro está determinado por factores como la concentración del ingrediente activo y la toxicidad del mismo (González, 2019).

#### Resistencia a fungicidas

Debido a la naturaleza de los fungicidas, estos pueden afectar sitios específicos de los patógenos, a esto se le llama sitio de acción del fungicida, el cual entre más especificidad presente con un solo sitio de acción tiende a crear una resistencia de manera rápida (Carmona y Sautua, 2017).

Se llama resistencia adquirida cuando una población de hongos susceptible a un fungicida adquiere resistencia, la consecuencia es que la población que anteriormente era controlada con un fungicida este deja de ser efectivo. Esta resistencia se debe a la capacidad de adaptación de los seres vivos a condiciones desfavorables (Molina, 2018). Por otra parte la resistencia cruzada implica que las

moléculas fungitóxicas del mismo grupo químico y que comparten el mismo modo de acción tiene una alta probabilidad de no tener efectos sobre una cepa que ya ha generado resistencia, aun cuando estos nunca fueron utilizados para el control de ese patógeno (FRAC, 2019)

### **Control con Extractos Botánicos.**

Ante la necesidad de intensificar la producción agrícola para satisfacer las necesidades alimenticias y además asegurar de manera simultánea la protección del medio ambiente y la salud humana, se buscan alternativas de soluciones sustentables para evitar la escasez de alimentos por pérdidas a causa de enfermedades (Notarnicola *et al.*, 2017). Podemos utilizar una variedad de herramientas para controlar las enfermedades causadas por hongos, desde labores culturales realizadas periódicamente hasta la aplicación de productos químicos y biológicos (Rodríguez *et al.*, 2012)

La tendencia actual vuelve a los productos y sistemas naturales, comúnmente utilizados antes de que llegaran los productos químicos, los cuales nuevamente son demandados por la agricultura ecológica, que aunque no son 100% efectivos resulta una buena alternativa, algunos de estos son las fórmulas orgánicas y naturales, las cuales consisten en conseguir a partir de extractos vegetales plaguicidas ecológicos con fórmulas efectivas en el control y posible eliminación de determinadas enfermedades (Del Puerto Rodríguez *et al.*, 2014)

Los preparados conocidos como extractos de plantas se derivan de un proceso de extracción de sustancias fitoquímicas de varios tipos de plantas y sus tejidos utilizando diversos solventes para este proceso (Fagro, 2020).

El uso de plantas y sus derivados ha incrementado cada vez más para el control no solo de enfermedades sino también para el control de insectos plaga (Cavaliere *et al.*, 2008). Las plantas tienen capacidad para sintetizar gran cantidad de metabolitos secundarios que se encuentran relacionados con diferentes mecanismos dentro de los podemos mencionar compuestos químicos como terpenos, fenoles, compuesto nitrogenados como alcaloides y compuestos

azufrados muchos de estos con propiedades antimicrobianas. Estos metabolitos tienen una función importante en la protección contra depredadores, microorganismos patógenos y herbívoros, así como también diversos tipos de estrés abiótico (Mesa *et al.*, 2019).

#### Extracto de canela

La canela cuyo nombre científico es *Cinnamomum zeylanicum* Blume, pertenece a la familia de las Lauraceae, originaria de Ceilán y sureste de la india, es un árbol que puede alcanzar entre 3 y 10 metros de altura, su tronco es de hasta 50 cm recubierto por dos cortezas una de ellas intensamente aromática (Arango, 2007).

En la parte interna de su estructura es donde se encuentran las células que contiene los aceites esenciales, presentan un color amarillento, estos aceites son los que le otorgan el aroma característico de la canela, siendo alguna de estas sustancias de la composición química responsable de la acción farmacológica y antifúngica que posee la canela (Masson, 2003).

Cuando hablamos de la composición química nos referimos a los constituyentes que posee la corteza del árbol de canela la cual contiene entre otras cosas aldehído cinámico, eugenol, linalool, benzaldehído, felandreno, ácido benzoico, y cinamato de bencilo y en menor cantidad tanios, cumarina azúcares y resina, estas sustancias le brindan a la canela sus propiedades antifúngicas (García, 2000). Los aceites esenciales de la canela actúan sobre los patógenos causando una inducción de la apoptosis generando una muerte programada y necrosis por un proceso en el que interfiere la función mitocondrial de las células del hongo, al mismo tiempo ocasiona un aumento en la permeabilidad y la eliminación de iones de la membrana de la célula del hongo (Sánchez y Luján, 2013).

#### Extracto de gobernadora

*Larrea tridentata* L. comúnmente conocida como gobernadora es un arbusto perteneciente a la familia Zygophyllaceae, es de porte erecto y ramificado desde la base, se encuentra distribuida principalmente en el norte del país donde es abundante y crece en las zonas más secas de México. Diversos estudios han

demostrado que los extractos de gobernadora tienen una acción antifúngica en condiciones *in vitro* para el manejo de al menos 17 hongos fitopatógenos de importancia económica, además de que se ha encontrado que funcionan incorporados al suelo para el control de al menos 6 hongos en diferentes cultivos de manera *in vivo* (Lira-Saldivar *et al.*, 2003; Vargas Arispuro *et al.*, 2006).

Además de la actividad antifúngica se encontrado que el extracto de gobernadora tiende a inhibir la germinación de esporas debido a los compuestos presentes como son flavonoides, lignanos, aminoácidos, saponinas y minerales, dentro de los cuales el que más destaca es el compuesto ácido nordihidroguaiaretico (NDGA), este compuesto actúa como inhibidor de enzimas, los ácidos orgánicos presentes producen una reacción química con los sistemas sensitivos de las enzimas que se encuentran en el micelio y los cuerpos fructíferos de los hongos, volviéndolas catalíticamente inactivas por el proceso de desnaturalización química y morfológica, este proceso produce el bloqueo de la síntesis de sustancias vitales en la pared, la ruptura de la misma, y posteriormente su plasmólisis y además afectan en el transporte mitocondrial de electrones (Caloch, 2021).

Extracto de cítricos (*Citrus* spp.)

Las plantas pertenecientes al género *Citrus* son estudiadas para el control de microorganismos, diferentes especies de cítricos de las cuales podemos mencionar naranja (*Citrus sinensis*), la toronja (*Citrus maxima*) y la mandarina (*Citrus reticulata*) contienen en sus semillas y cascara una gran cantidad de metabolitos secundarios, los cuales presentan actividad antifúngica, se ha encontrado que inhiben el crecimiento de varias especies de hongos, estos se atribuye a los metabolitos secundarios que son producidos en las hojas y frutos, dentro de los cuales se incluyen alcaloides, terpenos, fenoles, flavonoides, taninos y saponinas. (Okwu, 2007).

Algunos de los metabolitos importantes son las flavonas metoxiladas casi exclusivas de los cítricos como son la nobiletina, sinensetina, tangeretina, quercetogetina y heptametoxiflavona, las cuales tiene mayor efecto como sustancias antifúngicas, esto se debe a que las flavonas metoxiladas no presentan

glicosilaciones y tienen un grupo metoxilo en su estructura, los compuestos antes mencionados hacen que los cítricos tengan un potencial en el uso de sus metabolitos secundarios para usarse en la industria de los biopesticidas (Del Rio *et al.*, 2000).

### **Uso de nanomateriales**

Las nano partículas ya sean de origen metálico o extraído de carbón, o materiales como arcillas, se pueden utilizar en la agricultura para aumentar la eficiencia de los insumos agrícolas y reducir significativamente la cantidad de producto utilizado, el uso de estos nanomateriales pueden desarrollar tecnologías potenciales para el manejo de enfermedades de los cultivos con la formulación de nuevos pesticidas, lo cual es posible debido a las propiedades de estos materiales como su reactividad, efectos cuánticos y conductividad eléctrica (Singh *et al.*, 2015),

#### **Nanopartículas de Silicio**

Las nano partículas son partículas demasiado pequeñas, las SiNP son nano materiales con propiedades ópticas, biocompatibles, cuentan con una elevada área superficial y una elevada capacidad para poder transportar y liberar sustancias de manera biológicamente activa, dichas partículas pueden ser clasificadas por su forma (simétrica y asimétrica), tamaño y de acuerdo al tamaño de los poros (Asgari *et al.*, 2018).

En modelo de funcionalidad de las nano partículas consiste en cubrir su superficie con moléculas orgánicas o algún compuesto polimérico esto con el fin de darle estabilidad, solubilidad y en ciertos casos también la capacidad de anclar compuestos o moléculas de interés químico biológico (Hernández-Adame *et al.*, 2019). Las SiNPs son biodegradables y biocompatibles estas nano partículas actualmente están siendo utilizadas como bioacarreadores de compuestos químicos utilizados en la agricultura como pueden ser pesticidas y herbicidas, su mayor uso y enfoque se ve en el desarrollo de pesticidas pues estos le otorgan resistencia a las plantas contra plagas de insectos y hongos sin que afecte el

crecimiento de la misma además de que estos no afectan la salud del consumidor (Villagómez *et al.*, 2022).

#### Adición de Carbón Activado

Cuando hablamos de carbón activado nos referimos a un material poroso elaborado partir de materiales ricos en carbonó obtenidos por diferentes procesos tanto químicos como físicos, el carbón activo es un producto que posee una estructura cristalina reticular parecida a la del grafito, además de que es un material demasiado poroso (Rouquerol *et al.*, 1999).

En general el carbón es capaz de atraer moléculas de compuestos indeseables, pero la diferencia de un carbón activado radica en la cantidad de átomos de la superficie que se encuentran disponibles para realizar la absorción. La activación de cualquier tipo de carbón consiste en aumentar el área superficial creando una estructura porosa, esto se lleva a cabo con el fin de remover un impureza orgánica que causa a algún tipo de olor, color o incluso sabor indeseable, normalmente esta técnica de absorción por medio de carbón activado suele ser la técnica más usada además de sencilla y económica (García, 2018).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del Experimento

La investigación realizada se llevó a cabo en el laboratorio de toxicología del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

### Obtención de la cepa de *Fusarium verticillioides*.

La cepa utilizada para el desarrollo de esta investigación fue proporcionada por el laboratorio de Toxicología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Para el incremento de la cepa, esta fue reactivada en cajas Petri con medio de cultivo papa-dextrosa-agar (PDA), incubándola a  $27^{\circ}\text{C} \pm 2$  por una semana, una vez que la cepa llenó por completo la caja se procedió a realizar lo bioensayos.

### Extractos Botánicos

Se evaluaron tres extractos botánicos: canela (*Cinnomomum zeylanicum*), gobernadora (*Larrea tridentata*) y el extracto a base de cítricos (*citrus spp.*), estos fueron evaluados tanto solos como adicionados al 5% de nano partículas de hidróxido de silicio y carbón activado.

Para esta investigación se realizó un diseño completamente al azar, se evaluaron seis diferentes concentraciones de cada extracto 500, 700, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm con cuatro repeticiones para cada tratamiento, además se estableció un testigo absoluto (PDA) y testigo químico (Tiabendazol) a 5, 10, 15, 25, 50 y 100 ppm.

### Evaluación de los Extractos Botánicos

La capacidad antifúngica de los extractos botánicos se realizó con la técnica de medios envenenados (Gamboa-Alvarado *et al.*, 2003), para ello se realizó la siguiente metodología, en matraces Erlenmeyer se agregó agua destilada y se adiciono la cantidad de PDA que está recomendada por el fabricante MCD LAB,

enseguida se esterilizaron en autoclave a una temperatura de 121°C y una presión de 15 PSI(lb/plg-2) durante 15 minutos, pasado este tiempo se dejó enfriar hasta alcanzar una temperatura aproximada de 35°C. Posteriormente se le agregaron las cantidades calculadas de extractos botánicos para obtener las concentraciones deseadas (500, 700, 1500, 2000, 2500 y 3000 ppm), después se procedió a vaciar el contenido en cajas Petri y se dejaron solidificar, transcurridas 24 horas se colocaron explantes de aproximadamente 5 mm de diámetro de la cepa de *F. verticillioides* en el centro de las cajas Petri.

Para la evaluación de la inhibición se utilizó un vernier digital para tomar 2 lecturas radiales cruzadas cada 24 horas hasta que el testigo cubrió completamente el diámetro de la caja Petri con micelio. El porcentaje de inhibición se calculó con la fórmula:

$$\% \text{ de inhibición} = (D_c - D_t / D_c) * 100$$

Dónde:

D<sub>c</sub>=es el diámetro promedio del crecimiento micelial del control.

D<sub>t</sub>= es el diámetro del crecimiento micelial del hongo

Kishore *et al.*, (1996).

### **Conteo de Esporas**

Al término de la evaluación del crecimiento micelial se realizó el conteo de esporas de cada uno de los tratamientos realizados. Con un sacabocados de 5 mm de diámetro se cortaron 5 explantes de cada caja Petri, posteriormente fueron colocados en tubos Falcón estériles a los cuales previamente se le colocaron 10 ml de agua destilada estéril, se etiquetó cada uno de los tubos con el tratamiento del cual se extrajeron los explantes, se agitaron con ayuda de un vórtex para que las esporas se desprendan y la mezcla se homogenice, enseguida con ayuda de una micropipeta se tomaron 100 microlitros de la suspensión y se colocaron en una cámara de Neubauer para su posterior observación al microscopio, enfocando con el objetivo de 40x para poder apreciar las esporas.

## **Análisis Estadístico**

Con resultados obtenidos se realizó un análisis PROBIT en el programa estadístico SAS (Statistical Analysis Software) versión 9.0, esto con el objetivo de determinar la concentración letal media ( $CI_{50}$ ) y la concentración letal 95 ( $CI_{95}$ ) esto para cada uno de los extractos evaluados, además de realizar un análisis de varianza (ANOVA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inhibición del crecimiento micelial

El crecimiento micelial del testigo absoluto se tomó como referencia para determinar el porcentaje de inhibición que tuvo cada uno de los extractos en el control de *Fusarium verticillioides*.

Para la inhibición de *F. verticillioides*, se observó que el extracto de gobernadora en general obtuvo mejores resultados, el extracto solo obtuvo mayor porcentaje de inhibición que al adicionarle nano partículas de hidróxido de silicio y carbón activado (Cuadro 1), a una concentración de 500 ppm del extracto solo, se inhibió el 29.3% del crecimiento micelial, las concentraciones con mayor porcentaje de inhibición fueron 2000 y 3000 ppm las cuales alcanzaron un porcentaje muy similar de alrededor del 55% de inhibición, seguido de este tratamiento tenemos que el extracto de gobernadora adicionado con nano partículas de hidróxido de silicio a una concentración de 2500 y 3000 ppm obtuvo un 43.4 y 49.7% de inhibición respectivamente. El extracto de gobernadora adicionado con carbón activado fue el que menor rango de inhibición expreso, la concentración que obtuvo mejores resultados de este tratamiento fue de 2500 ppm dicha inhibición fue de 41.9% y a una concentración de 500 ppm se obtuvo únicamente un 14% de control, nuestros resultados coinciden con lo reportado por Tequida-Meneses *et al.*, (2002) quienes encontraron que extractos alcohólicos al 6% de *L. tridentata* inhibieron el crecimiento de *A. flavus*, *A. níger*, *Penicillium chrysogenum*, *P. expansum*, *F. poae* y *F. moniliforme* en un rango de 41.5% hasta 100%; Osorio *et al.*, (2010), utilizaron extractos polifenólicos de *L. tridentata* logrando inhibir el 100 % del crecimiento de *F. solani*, a una concentración de 0.70 mg kg<sup>-1</sup> L; Vargas-Arispuro *et al.*, (2006) reportaron que el ácido nordihidroguayarático (NDGA) extraído de *L. tridentata* logró controlar *A. flavus* y *A. parasiticus* a una

concentración de 300 y 500 ppm, por lo cual mencionan que *L. tridentata* tiene potencial para controlar hongos productores de aflatoxinas.

**Cuadro 1.-** Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de *F. verticillioides*, evaluado con extracto de gobernadora.

Concentración (ppm)	Gobernadora sola	Gobernadora + C.A.	Gobernadora + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	T. químico	Concentración (ppm) del T. químico
500	29.37 5jk	14.063 m	37.083 ljh	25.781 kl	5
700	45.625 efg	18.281 lm	41.094 ghi	58.906 c	10
1500	41.719 fghi	32.344 jk	46.719 efg	87.969 b	15
2000	<b>55.94 cd</b>	34.219 ijk	<b>49.844 def</b>	95 ab	25
2500	<b>53.281 cde</b>	<b>41.875 fgh</b>	43.438 fgh	100 a	50
3000	<b>55.625 cd</b>	32.083 jk	<b>49.688 def</b>	100 a	100

Con los resultados obtenidos sobre la inhibición del crecimiento micelial de *F. verticillioides* se calcularon las CL<sub>50</sub> y CL<sub>95</sub> del extracto de gobernadora (Cuadro 2), en el cual podemos apreciar que la CL<sub>50</sub> fue de 1731 ppm para el extracto de gobernadora solo, al adicionarle nano partículas de hidróxido de silicio podríamos controlar el 50% del hongo a una concentración de 3451 ppm, y con carbón activado se necesitarían 5598 ppm, siendo solo superados por el testigo químico con una CL<sub>50</sub> de 685.46 ppm, dichos resultados se asemejan a los obtenidos por Lira-Saldivar *et al.*, (2003) quien encontró que a concentraciones entre 1000 y 2000 ppm, del extracto de gobernadora se obtenía efecto fungistático para el control de *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum coccodes* y *F. oxysporum*.

**Cuadro 2.** Concentración letal media, límites fiduciales y ecuación de predicción de los tratamientos del extracto de gobernadora.

Extracto	N	(ppm)			Ecuación de predicción.
		CL <sub>50</sub>	Límites Fiduciales	CL <sub>95</sub>	
Gobernadora sola	4	<b>1731</b>	1264 – 2651	262612	Y= -2.4423+0.7542(x) Y=-3.6438+0.9722
Gobernadora + C.A.	4	5598	3628 -14483	275401	(x)
Gobernadora + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	4	3451	-	18090752 4	Y=-1.2330 +0.3485(x)

T. químico	4	685.46	620.02 - 748.89	1809	Y= -11.0685 +3.9029(x)
------------	---	--------	-----------------	------	---------------------------

El extracto de canela solo expresó porcentajes de inhibición muy bajos (Cuadro 3), obteniendo únicamente un 0.938% de inhibición a una concentración de 1500 ppm, sin embargo, este resultado es estadísticamente similar a las demás concentraciones pues el crecimiento micelial se dio a la par del testigo, al adicionar carbón activado los resultados fueron similares obteniendo porcentajes de 4.2 y 4.063% a una concentración de 500 y 1500 ppm respectivamente, el extracto adicionado con nano partículas de hidróxido de silicio obtuvo un porcentaje de inhibición del 19.8% a una concentración de 2500 ppm siendo esta concentración la que mejor efecto inhibitorio obtuvo, estos resultados difieren a lo reportado por Ochoa *et al.*, (2012) quienes encontraron que la canela inhibió el crecimiento micelial de *F. oxysporum*, *F. culmorum* y *F. solani* en un 4.47, 2.56 y 3.15% respectivamente esto a una concentración de 50 ppm; Soliman y Badaea (2002), reportaron que el extracto de canela logró inhibir completamente crecimiento de *A.flavus* a una dosis de 500 ppm, Barrera *et al.*, (2008) mencionan que la canela al igual que el tomillo y el orégano tienen propiedades antioxidantes las cuales se encuentran relacionadas con algunos compuestos fenólicos, como el carvacrol y el timol que podrían ser empleados bajo determinadas condiciones como fungicidas y bactericidas, los cuales incitan la lisis rápida de la célula bacteriana.

**Cuadro 3.-** Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de *F. verticillioides*, evaluado con extracto de canela.

Concentración (ppm)	Canela sola	Canela + C.A.	Canela + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	T. químico	Concentración (ppm) del T. químico
500	0 h	4.219 g	0 h	25.781 e	5
700	0 h	0 h	4.219 g	58.906 d	10
1500	0.938 gh	4.063 gh	0 h	87.969 c	15
2000	0 h	0 h	3.594 gh	95 b	25
2500	0 h	0 h	<b>19.875 f</b>	100 a	50
3000	0 h	0 h	3.906 gh	100 a	100

Con los datos anteriores se calcularon las CL<sub>50</sub> y CL<sub>95</sub> (Cuadro 4) donde podemos observar que la canela adicionada con nano partículas de hidróxido de silicio obtuvo la CL<sub>50</sub> más baja a 26637 ppm en comparación con los demás tratamientos, sin embargo es una dosis muy elevada en comparación con el testigo químico con 685.46 ppm, cabe mencionar que los datos obtenidos por Díaz- Pérez (2020) son diferentes a los obtenidos, reportando que *Fusarium* sp., requiere de una concentración de 3357 ppm de extracto de canela para inhibir el 50% del crecimiento del hongo.

**Cuadro 4.**-Concentración letal media, límites fiduciales y ecuación de predicción de los tratamientos del extracto de canela.

Extracto	(ppm)				Ecuación de predicción
	N	CL <sub>50</sub>	Límites fiduciales	CL <sub>95</sub>	
Canela sola	4	1.70E+29	-	5.52E+4 3	Y=-3.3135 +0.1134(x) Y=-1.0512
Canela+ C.A.	4	9.05106	-	0.24661	+1.0057(x)
Canela + NPs de Si (OH) <sub>4</sub>	4	26637	-	435620	Y=-5.9980 +1.3553(x)
T. químico	4	685.4693	620.02529 - 748.89118	1809	Y=-11.0685 +3.9029(x)

El extracto de cítricos adicionado con nano partículas de hidróxido de silicio a una concentración de 3000 ppm logró inhibir únicamente 11% del crecimiento micelial del hongo (Cuadro 5), mientras que el extracto solo y adicionado con carbón activado inhibieron por debajo del 9% en las diferentes concentraciones evaluadas, Daquilema (2016) menciona que el aceite esencial extraído de hojas de *Citrus sinensis* al 2.5 y 3.5% logro inhibir en un 100% el crecimiento radial de *Fusarium spp*, además reportan resultados similares con aceite extraído de corteza de *Citrus sinensis* al 1.5% demostró tener un 8.33% de control del crecimiento, Okwu *et al.*, (2007) le atribuyen las propiedades antifúngicas a diferentes especies de cítricos por contener abundantes alcaloides y fenoles.

**Cuadro 5.-** Porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de *F. verticillioides*, evaluado con extracto de cítricos.

Concentración (ppm)	Cítricos solo	Cítricos + C.A.	Cítricos + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	T. químico	Concentración (ppm) del T. químico
500	2.969 ef	<b>9.844</b> ef	3.75 ef	25.781 d	5
700	3.281 ef	6.094 ef	6.25 ef	58.906 c	10
1500	5.625 ef	5.625 ef	4.375 ef	87.969 b	15
2000	<b>8.594</b> ef	7.656 ef	1.875 f	95 ab	25
2500	5.469 ef	7.813 ef	1.563 f	100 a	50
3000	4.513 ef	5.313 ef	<b>11.042</b> e	100 a	100

De los datos obtenidos de cada tratamiento del extracto de cítricos se calculó la dosis letal media (Cuadro 6) donde la CL50 y CL95 fueron muy altas, Bosques-Molina *et al.*, (2010) utilizaron extracto de limón mexicano sobre *C. gloeosporoides* y *R. stolonifer*, a una concentración de 15% no logró inhibir completamente el crecimiento de estos patógenos obteniendo un porcentaje del 40% y una dosis letal media del 16.34%, resultados diferentes a los obtenidos en esta investigación.

**Cuadro 6.-** Concentración letal media, límites fiduciales y ecuación de predicción de los tratamientos del extracto de cítricos.

Extracto	(ppm)				Ecuación de predicción.
	N	CL50	Límites Fiduciales	CL 95	
Cítricos solo	4	13245774	-	1.22E+11	Y=-2.9559 +0.4150(x)
Cítricos + C.A.	4	<b>3.52E-09</b>	-	4.95E-22	Y=-1.0819 - 0.1280(X)
Cítricos + NPs de Si (OH) <sub>4</sub>	4	1.42E+13	-	1.07E+23	Y=-2.1899 +0.1665(x)
T. químico	4	685.4693	618.32353 - 745.86733	1809	Y=-11.0685 +3.9029(x)

## Inhibición de la producción de esporas

De acuerdo con los resultados obtenidos en el conteo de esporas del extracto de gobernadora (Cuadro 7) el testigo absoluto produjo alrededor de  $8.50E+06$  esporas/mL, sin embargo, podemos observar que el extracto de gobernadora adicionado con carbón activado a una concentración de 2500 ppm obtuvo un 100% de inhibición en la producción de esporas, siendo el extracto solo el mejor tratamiento ya que redujo más del 50% la producción de esporas en las diferentes dosis evaluadas, estos resultados son similares a los reportados por Jasso *et al.*, (2007) ya que mencionan que el extracto de gobernadora a 4000 ppm produjo inhibición para *Colletotrichum gloeosporioides* de 100%, en *Alternaria alternata* 66.4% y 78.9% para *Rhizopus* sp., por otra parte Malacara-Herrera *et al.*, (2023) demostraron que a una concentración del 3% de extracto de gobernadora adicionada con nano partículas de Silicio se obtenía promedio de esporas de  $0.90 \times 10^6$  mL.

**Cuadro 7.-** Comparación de número de esporas de los tratamientos de gobernadora, producidos por *F. verticillioides*.

Extracto de gobernadora					
concentración ppm	Gobernadora sola	gobernadora + C.A.	Gobernadora + NPs de $Si(OH)_4$	T. químico	Concentración del T. químico
500	<b>3.63E+06 ij</b>	3.20E+07 m	<b>2.50E+06 h</b>	7.63E+06 kl	5
700	<b>3.25E+06 hij</b>	1.68E+07 m	<b>1.38E+06f</b>	5.00E+05 e	10
1500	<b>3.13E+06 hi</b>	1.35E+07 lm	<b>5.75E+06 jk</b>	0d	15
2000	<b>2.00E+06 g</b>	1.31E+07 lm	<b>7.50E+05 e</b>	0c	25
2500	<b>1.25E+06 f</b>	<b>0e</b>	1.40E+07 m	0b	50
3000	<b>3.00E+06 hi</b>	1.81E+07m	1.40E+07 m	0a	100
Testigo			8.50E+06 kl		

Para el caso del extracto de canela (Cuadro 8) la esporulación disminuyó partir de una concentración de 700 ppm para los 3 tratamientos, sin embargo, el mejor resultado se obtuvo en el extracto de canela solo a una concentración de 3000

ppm, con un promedio de esporas de  $1.25E+06$  mL, sin embargo, estadísticamente a partir de la concentración de 1500 ppm los resultados fueron estadísticamente similares. El extracto adicionado con carbón activado a una concentración de 3000 ppm inhibió mas del 70% de la esporulación, sin embargo las demás concentraciones redujeron significativamente mas del 50% de las esporas, por su parte el extracto con nano partículas de hidróxido de silicio a una concentración de 3000 ppm obtuvo un resultado de  $2.75E+06$  esporas/ml reduciendo en menor cantidad la esporulación, estos resultados muestran una disminución significativa de la producción de esporas respecto al testigo, estos resultados difieren a los reportados por Ochoa-fuentes *et al.*, (2012) quienes reportan que a 200 ppm de extracto de canela se obtenía  $1.6 \times 10^5$  conidios/ mL de *Fusarium oxysporum*.

**Cuadro 8.-** Comparación de número de esporas de los tratamientos de canela producidos por *F. verticillioides*.

concentración ppm	Extracto de canela				
	Canela sola	Canela + C.A.	Canela + NPs de Si(OH) <sub>4</sub>	T. químico	Concentración del T. químico
500	1.85E+07k	9.63E+06k	1.46E+07k	7.63E+06jk	5
700	<b>3.13E+06ghi</b>	<b>2.63E+06fghi</b>	<b>3.38E+06hi</b>	5.00E+05d	10
1500	<b>1.75E+06ef</b>	<b>2.50E+06efgh</b>	<b>3.13E+06ghi</b>	0d	15
2000	<b>1.63E+06e</b>	<b>2.13E+06efgh</b>	<b>2.75E+06ghi</b>	0c	25
2500	<b>1.63E+06e</b>	<b>2.00E+06efg</b>	<b>3.50E+06jk</b>	0b	50
3000	<b>1.25E+06e</b>	<b>1.88E+06efg</b>	<b>2.75E+06ghi</b>	0a	100
Testigo			8.50E+06k		

Respecto al extracto a base de cítricos al realizar el análisis de varianza de inhibición de esporas (Cuadro 9) se obtuvo que los tratamientos de cítricos solo, adicionado con carbón activado y con nano partículas de hidróxido de silicio, mostraron sus mejores resultados a la concentración máxima evaluada de 3000 ppm con promedios de  $3.25E+06$ ,  $2.63E+06$  y  $3.75E+06$  esporas/mL respectivamente, los resultados de los 3 tratamientos son similares y se puede

observar un reducción de esporas superior al 50% por los que se podría decir que *F. verticillioides* tiende a reducir la producción de esporas con cualquiera de los 3 tratamientos evaluados, Díaz-Pérez, (2020) menciona que con extracto a base de cítricos a una concentración del 3% obtuvo una media de  $2.50 \times 10^3$  esporas por ml.

**Cuadro 9.-** Comparación de número de esporas de los tratamientos de cítricos, producidos por *F. verticillioides*.

Extracto de cítricos					
concentración ppm	Cítricos solo	Cítricos C.A.	+ Cítricos NPs Si(OH) <sub>4</sub>	+ de T. químico	Concentración del T. químico
500	7.88E+06m	7.13E+06m	8.38E+06m	7.63E+06m	5
700	5.63E+06k	5.63E+06jk	6.63E+06l	5.00E+05de	10
1500	4.63E+06h	5.63E+06jk	6.13E+06k	0cd	15
2000	5.13E+06hi	4.00E+06h	5.50E+06j	0bc	25
2500	3.38E+06gh	3.50E+06gh	5.25E+06i	0ab	50
3000	3.25E+06fg	2.63E+06ef	3.75E+06gh	0a	100
Testigo			8.50E+06m		

## CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el extracto de gobernadora es una alternativa para el control de *F. verticillioides* ya que no solo redujo el porcentaje de crecimiento micelial si no también la producción de esporas.

El extracto de canela y cítricos pese a que no obtuvieron gran porcentaje de inhibición del crecimiento micelial, si mostraron una reducción significativa en cuanto a la producción de esporas por lo que podrían ser empleados para el control de *F. verticillioides*.

Las nano partículas de hidróxido de silicio y carbón activado no mostraron efectos significativos, sin embargo, se sugiere continuar con su evaluación ya que su uso puede ser eficiente en la agricultura.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ancota, R., Arévalo-Quinde, C. G., Morales-Pizarro, A., & Galecio-Julca, M. (2021). Fungi associated with necrosis of vascular bundles in organic banana crop: symptoms, isolation and identification, and integrated management alternatives. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028> [Fecha de consulta: 23 de noviembre del 2023]
- Arango, M. C. 2007. "Plantas Medicinales"-Botánica de interés Médico. Bogotá. : Editorial Forja
- Asgari, F., Majd, A., Jonoubi, P., Najafi, F. (2018). Effects of silicon nanoparticles on molecular, chemical, structural and ultrastructural characteristics of oat (*Avena sativa* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 127: 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.021> [Fecha de consulta: 25 de marzo del 2023]
- Bacon CW, Yates IE. 2006. Endophytic root colonization by *Fusarium* species: histology, plant interactions, and toxicity. In: *Soil Biology, Microbial Root Endophytes*, Volumen 9. Schulz B, Boyle C, Sieber TN (Eds.). Verlag Berlin Heidelberg
- Bozquez- Molina, E., Ronquillo-De Jesus, E., Bautista-Baños, S., Verde-Calvo, J., Morales, and Lopez, J. 2010. Inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and their possible application in coatings. *Postharvest Biology and Technology* 57:172-137.
- Caloch, E. (2021). Extracto de Gobernadora. MACROPOL. <https://macropol.com.mx/2019/06/extracto-de-gobernadora/> [Fecha de consulta: 25 de marzo del 2023]
- Cantú-Rodríguez JM. 1998. Distribución de cepas de *Fusarium moniliforme* productoras de fumonisina B1 en maíz cultivado en el estado de Nuevo

- León. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. 68 p
- Cao, A. (2013). Prevención de la contaminación con fumonisinas en el maíz. Universidad de Vigo-Misión Biológica de Galicia
- Carmona, M. A., y Sautua, F. (2017). La problemática de la resistencia de hongos a fungicidas. causas y efectos en cultivos extensivos. *Agronomía & Ambiente*, 37(1).
- Carreres, R. (1997) Cultivo del arroz: problemática de la germinación y enfermedades de la planta. En: Jornadas del Arroz. Fundación Valenciana de Estudios Avanzados, 69-80.
- Cavaliere, C.; Rea, P.; Lynch, M.; Blumenthal, M. 2009. Herbal supplement sales experience slight increase in 2008. *Herbal-Gram* 82: 58-61.
- Cordell, G. 2000. Biodiversity and drug discovery a symbiotic relationship. *Phytochemistry*, 55: 463-480.
- Cruz-Lachica, I., Marquez, I., Osuna-García, L. A., Gómez-González, G., Tovar-Pedraza, J. M., & García-Estrada, R. S. (2022). First report of *Fusarium verticillioides* causing cucumber fruit rot in Sinaloa, Mexico. *Plant Disease*, 106(9), 2524. <https://doi.org/10.1094/pdis-09-21-1935-pdn> [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2023]
- Daquilema Rea, J. A. 2016. Evaluación de las concentraciones de aceite esenciales de *Citrus sinensis* (naranja) en la inhibición de hongos patógenos en *Phaseolus vulgaris* L. (frijol canario) almacenados en las bodegas del cantón Quevedo 2016. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Quevedo. Los Ríos, Ecuador. 38 P.
- De La Torre-Hernández, M. E., Sánchez-Rangel, D., Galeana-Sánchez, E., & La Parra, J. P. (2014). Fumonisinas –Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. *TIP*, 17(1), 77-91.

[https://doi.org/10.1016/s1405-888x\(14\)70321-3](https://doi.org/10.1016/s1405-888x(14)70321-3) [Fecha de consulta: 26 de marzo del 2023]

Del Puerto Rodríguez, A. M., Tamayo, S. S., y Estrada, D. E. P. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387. <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223240764010.pdf> [Fecha de consulta: 27 de febrero del 2023]

Del Rio, J., Arcas, M., Botía, J., Báidez, A., Fuster, M., Ortoño, A. 2000. Involvement of phenolic compounds in the antifungal defense mechanisms of *Olea europea* and *Citrus* sp. *Recent res. Devel. Agricultural & Food Chem.* 4: 331-341

Desjardins, A.E.(2006) *Fusarium* mycotoxins: chemistry, genetics and biology (American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Díaz de Castro, F., Restrepo, M., & Rojas, W. (2007). *Microbiología de las infecciones humanas*. Medellín. Colombia. Primera Edición. Corporación para Investigaciones Biológicas.

Díaz-Pérez, F.A, 2000.Tesis de licenciatura, Evaluación de Extractos Para el Control de Hongos Fitopatógenos en el Cultivo de Aguacate (*Persea americana* Mill). UAAAN. Saltillo, Coahuila.

El-Sayed ESR, Mohamed SS, Mousa SA, El-Seoud MMA, Elmehlawy AA, Abdou DAM (2023) Bifunctional role of some biogenic nanoparticles in controlling wilt disease and promoting growth of common bean. *AMBExpress*13: 41. DOI: 10.1186/s13568-023-01546-7.

Fagro, 2020. Uso de Extractos Vegetales en el sector agrícola. El blog de Fagro. El blog de Fagro. Artículos y noticias sobre agricultura. <https://blogdefagro.com/2018/02/28/extractos-vegetales/> [Fecha de consulta: 27 de febrero del 2023]

- Fauba (Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires). 2020. Vuelco del Maíz (Podredumbres de raíces y base del tallo). [https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page\\_id=175](https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=175) [Fecha de consulta: 25 de febrero del 2023]
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por plaguicidas. Anales Del Sistema Sanitario De Navarra, 26. <https://doi.org/10.4321/s1137-66272003000200009>[Fecha de consulta: 29 de marzo del 2023]
- FRAC (2019). Resistencia. <https://frac-argentina.org/resistencia/> [Fecha de consulta: 12 de abril del 2023]
- Gabriel OG, Pacheco MFP, Macías-Islas MÁ, (2011). Toxicidad de plaguicidas y su asociación con la enfermedad de Parkinson. Arch Neurocienc.;16(1):33-39.
- Gamboa-Alvarado R, Hernández-Castillo F, Guerrero-Rodríguez E, Sánchez-Arizpe A. 2003. Inhibición del crecimiento Micelial de *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora infestans* Mont. (De Bary) con extractos vegetales Metanólicos de Hojasén (*Flourensia cernua* D.C.), mejorana (*Origanum majorana* L.) y trompetilla [*Bouvardia ternifolia* (Ca.) Schlecht.]. Rev. Mex. Fitopatol. 21:13-18. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61221102.pdf> [Fecha de consulta: 29 de noviembre del 2023]
- Gan, H.; wickings, K. 2017. Soil ecological responses to pest management in golf turf vary with management intensity, pesticide identity, and application program. Agriculture, Ecosystems & Environment, 246: 66-77.
- García H. 2000. Flora Medicinal de Colombia. Tercera ed. Bogotá: Tercer Mundo Editores.
- García, A. F. D. L. (2018), Tesis de licenciatura. Determinación de la Efectividad del Carbón Activado. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- González U.P. (2019). Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26823/2/Efecto\\_de\\_los\\_plaguicidas\\_en\\_la\\_Salud.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26823/2/Efecto_de_los_plaguicidas_en_la_Salud.pdf) [Fecha de consulta: 2 de abril del 2023]
- Granjo CA, dos Reis TA, Gambale W, Correa B. 2007. Morphogenesis and growth kinetics of *Fusarium verticillioides*. Mycopathologia, 164: 119-126
- Groenewald, S. (2006). Biology, pathogenicity and diversity of *Fusarium oxysporum* f.sp.cubense. Trabajo de grado de Maestría. Universidad of Pretoria. Pretoria. Sudáfrica
- Hernández M., M., L. E. Mendoza O., y S. Osada K. 1987. Incidencia natural de *Fusarium moniliforme* (Sheld.) S. & H. sobre sorgo granífero en Celaya, Gto. Rev. Mex. Fitopat. 5: 27-31.
- Hernández-Adame, L., Angulo, C., García-Silva, I., Palestino, G., Rosales-Mendoza S. (2019). An overview of nanogel-based vaccines. Expert Review of Vaccines, 18(9): 951-968. <https://doi.org/10.1080/14760584.2019.1647783>. [Fecha de consulta: 25 de marzo del 2023]
- 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 post-harvest fungi". AAIC Annual Meeting: Bringing Industrial Crops into the Future. October 7-10. Portland, Maine.
- Kedera, C. J. (1994). Genetic Diversity of *Fusarium* Section *Liseola* (*Gibberella fujikuroi*) in Individual Maize Stalks. Phytopathology, 84(6), 603. <https://doi.org/10.1094/phyto-84-603> [Fecha de consulta: 25 de marzo del 2023]
- Kishore, N.; J. Chansouria, y N. Dubey, 1996. "Antidermatophytic action of the essential oil of *Chenopodium ambrosioides* and an ointment prepared from it". Phytotherapy Research, 10: 453-455.

- Leslie JF, Summerell BA. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing. 274 p
- Lira-Saldivar, R.H., 2003. "Estado Actual del Conocimiento Sobre las Propiedades Biocidas de la Gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C.) Coville]". Revista Mexicana de Fitopatología, 21: 214- 22
- Lira-Saldivar, R.H; Sanchez, M.R; Gamboa, R; Jasso. D ; Rodríguez, R., 2003. "Fungitoxic effect of *Larrea tridentata* resin extracts from the Chihuahua and Sonora deserts on *Alternaria solani*". Agrochimica, 47: 50-60.
- 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. (2023). Manejo *in vitro* de *Fusarium acuminatum* con extractos vegetales adicionados con nanopartículas de óxido de silicio y zinc. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 31(88), e3638, <https://doi.org/10.33064/iycuaa202388363> [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]
- Masson, 2003. Vanaclocha B. Fitoterapia Cañigueral S, editor. Barcelona.
- Mazzani Claudio, Borges Omar, Luzón Odalis, Barrientos Venancio y Quijada Pablo. (2000). *Fusarium moniliforme*, fumonisinas y *Aspergillus flavus* en granos híbridos de maíz en el estado Guárico, Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ) 17 (2):185-95.
- Menkir, A., G. Ejeta, L. Butler, A. Melakeberhan, and H. L. Warren. 1996. Fungal invasion of kernel and grain mold damage assessment in diverse sorghum germplasm. Plant Dis. 80: 1399- 1402.
- Mesa, A. L. S., Pavas, D. S., Ocampo, O., De Jesus Calle, J., y Monsalve, Z. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: Una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 45(1), 23-30. <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/ria/article/view/11902> [Fecha de consulta: 27 de febrero del 2023]

- Nelson PE, Toussoun TA, Cook RJ. 1981. *Fusarium: Diseases, Biology and Taxonomy*. University Park, Pennsylvania, USA: Pennsylvania State University Press; 457 p
- Nelson PE. 1992. Taxonomy and biology of *Fusarium moniliforme*. *Mycopathologia*, 117: 29- 36.
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S. J., Saouter, E., and Sonesson, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*. 140: 399-409
- Ochoa-Fuentes Y.M, Cerna-Chávez E, Landeros- Flores J, Hernández-Camacho S, Delgado- Ortiz JC. (2012). Evaluación in vitro de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. *hyton* (B. Aires). 81(1):69- 73.
- Okwu, D., Awurum, A., Okorokkwo, J. 2007. Phytochemical composition and *In vitro* antifungal activity screening of extracts from *Citrus* plants against *Fusarium oxysporum* of Okra plant (*Hibiscus esculentus*). *African Crop Science Conference Proceedings*. Vol. 8. Pp. 1755-1758.
- Osorio E, Flores M, Hernández D, Ventura J, Rodríguez R, Aguilar C. 2010. Biological efficiency of polyphenolic extracts from pecan nuts Shell (*Carya illinoensis*), pomegranate husk (*Punica granatum*) and creosote bush leaves (*Larrea tridentata* Cov.) against plant pathogenic fungi. *Ind. Crop. Prod.* 31:153-157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.09.017> [Fecha de consulta: 29 de noviembre del 2023]
- Patil C, Borase H, Patil S, Salunkhe R, Salunke B (2012) Larvicidal activity of silver nanoparticles synthesized using *Pergularia daemia* plant latex against *Aedes aegypti* and *Anopheles stephensi* and nontarget fish *Poecilia reticulata*. *Parasitology Research* 111: 555-562.

- Pérez-Rodríguez J. 2014. Sensibilidad a fungicidas de las especies de *Fusarium* responsables de la pudrición de la mazorca del maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado en Fitopatología. Colegio de Postgraduados. 58 p
- Perusia, Ó. R., y A, R. R. (2013). MICOTOXICOSIS. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*, 12(2). <https://doi.org/10.15381/rivep.v12i2.1637> [Fecha de consulta: 02 de diciembre del 2023]
- Rodríguez, M. X., Díaz, A., Zapata, J., Smith, A., Mesa, P., & A, S. D. (2012b). Avances en el manejo y control de *Fusarium oxysporum* en el cultivo de uchuva (*Physalis peruviana*). En Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria - Corpoica eBooks. <https://doi.org/10.21930/978-958-740-091-5> [Fecha de consulta: 27 de marzo del 2023]
- Rouquerol *et al.*, 1999 F. Rouquerol , J. Rouquerol , K. Sing. Adsorción por polvos y sólidos porosos. Prensa académica , Londres ( 1999 )
- Samuels GJ, Nirenberg HI and Seifert KA .(2001). Perithecial species of *Fusarium*. In: B Summerell, ed. Paul E
- Sánchez C, Luján M. 2013. Efecto antimicrobiano del Aceite Esencial y del Extracto Acuoso de la Canela (*Cinnamomum zeylanicum*) sobre *Candida albicans* y *Streptococcus mutans*. SCIÉENDO.I(16): p. 68-78.
- Singh, A., Lal, M., Singh, S., Khan, A., Singh, S. y Tiwari, A. (2015). Alcance de la nanotecnología en la agricultura del futuro: una descripción general. *Agrica* , 3(2), 1-13.
- Soliman, K.M., y Badaea, R.I. 2002. Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. *Food and Chemical Toxicology* 40:1669-1675.
- Tapia, C. Y Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista Chilena De Infectologia*, 31(1), 85-86. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182014000100012> [Fecha de consulta: 25 de febrero del 2023]

- Tequida-Meneses, M., Cortez-Rocha, M., Rosas-Burgos, E.C., López-Sandoval, S., Corrales-Maldonado, C., 2002. "Efecto de extractos alcohólicos de plantas silvestres sobre la inhibición de crecimiento de *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium expansum*, *Fusarium moniliforme* y *Fusarium poae*". Rev Iberoam Micol., 19: 84-88.
- Tirado- Ramírez, M. A., Orona, C. A. L., Billard, J. L., Molina-Cárdenas, L., Rangel, J. C. S., Bueno, L. A. A., y Gutiérrez, T. A. V. (2023). First report of *Fusarium verticillioides* causing safflower root rot in Sinaloa, Mexico. *Plant Disease*, 107(9), 2851. <https://doi.org/10.1094/pdis-02-23-0257-pdn> [Fecha de consulta: 29 de noviembre del 2023]
- Tlapal-Bolaños B. 2013. Efecto de *Trichoderma* y *Bacillus* en la dinámica poblacional de *Fusarium* spp. en agave tequilero (*Agave tequilana* Weber var. azul) en Jalisco. Tesis Doctora en Ciencias. Instituto de Fitosanidad. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 81 p
- Vargas-Arispuro, I., Contreras-Valenzuela, A., Hernández-Martínez, J., MartínezTéllez, A., 2006. "Ariiselenofosfatos con acción antifúngica selectiva contra *Phytophthora omnivora*", Revista de fitotecnia Mexicana. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 28(002):171-174. ISSN 0187-7380.
- Vargas-González, G., De Paul Alvarez-Reyna, V., Guigón-López, C., Cano-Ríos, P., & García-Carrillo, M. (2019). Impacto ambiental por uso de plaguicidas en tres áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, México. *CienciaUAT*, 13(2),113. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1141> [Fecha de consulta: 28 de marzo del 2023]
- Villagómez, E. A. T., Hernandez-Adame, L., Navarro, F. N., & Montoya, M. B. (2022). nano partículas de silicio como vehículos de transporte para moléculas de interés agrícola. *Mundo nano*, 16(30), 1e-20e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69732> [Fecha de consulta: 29 de marzo del 2023]