

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de Extractos Vegetales en el Control de Hongos Fitopatógenos en el
Cultivo de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:

BERTHA ROMERO VILLANUEVA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de Extractos Vegetales en el Control de Hongos Fitopatógenos en el
Cultivo de Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:

BERTHA ROMERO VILLANUEVA

TESIS

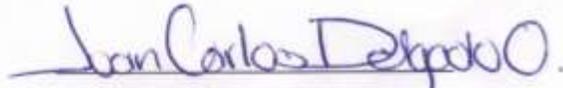
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Yisa Maria Ochoa Fuentes
Asesor Principal Interno



Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz
Asesor Principal Externo



Dr. Ernesto Cerna Chávez
Coasesor



Dr. Gabriel Gállegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme el privilegio de existir en este cosmos tan maravilloso, por darme la oportunidad de vivir con salud, alegría y con una familia tan bonita, por darme todo cuanto soy y tengo.

A mi querida ALMA MATER, MI UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por abrirme las puertas de tu arco y acogerme en tus aulas, laboratorios e invernaderos, por darme la oportunidad de aprender lo maravilloso que es el conocimiento y la sabiduría, por concretar mi pasión por la agronomía, por poner en mi camino las personas indicadas para superarme personal y profesionalmente, por darme la oportunidad de convertirme en una Ingeniera y por el privilegio de ser buitre, por eso y mucho más te llevo tatuada en el corazón mi bendita Narro.

Al Departamento de Horticultura y sus profesores, por abrirme las puertas de la sabiduría, por darme las herramientas necesarias y llenarme de conocimientos, experiencias y sabios consejos.

Al Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz, por su tiempo, dedicación y paciencia durante todo el tiempo compartido, por el apoyo incondicional que me brindo, por su asesoría y apoyo en cada paso de la elaboración de mi tesis, por sus consejos y enseñanzas compartidas.

A la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes, Dra. Mariana Beltrán Beache y Dr. Ernesto Cerna Chávez, por el apoyo brindado para llevar a cabo esta investigación, así como por sus consejos.

Al Dr. Rubén Cervantes, por apoyarme moral y académicamente durante mi carrera.

A Francisco Rodríguez, por su apoyo y asesoría en mi trabajo de investigación. Por el tiempo que convivimos y que formamos gratas experiencias, así como por la comprensión que me brindo.

A mi hermano, Agustín Romero, **y a mis amigos**, Rodrigo Gurrola (Tucy), Jaime Vargas (Jimmy), Rodrigo Jiménez (Borre) y a Pablito, por brindarme su valiosa amistad, por animarme y apoyarme, por todas las experiencias vividas, por los abrazos, risas y llantos compartidos, por el tiempo que nos dedicamos y que nunca volverá, por ser personas que marcan y marcan con recuerdos que jamás en mi vida olvidaré. ¡Éxito Buitres!

A mis compañeros de la Generación CXXVI, sin excluir a ninguno, porque con ustedes compartí grandes experiencias.

DEDICATORIAS

A mi madre: **Guadalupe Villanueva Cabrera**

A ti más que a nadie, por darme la vida, por tu amor incondicional, por ser el motor y razón de mi vida, por estar conmigo en todo momento e impulsarme a seguir siempre adelante, por siempre creer en mí, por tus abrazos y besos en el momento preciso, porque eres y serás mi primer amor hasta el último día de mi vida. Te amo con todo mí ser mami.

A mi padre: **Jesús Romero Mora**

Por darme la vida y por ser el hombre más importante de ella, por ser el hombre que más amo y por enseñarme lo maravillosa que es la agricultura desde que era una niña. Por tus abrazos y caricias que han sido de gran aliento para mí, por inculcarme buenos valores y por darme consejos tan sabios, por eso y más te amo con todo mí ser papi.

A mis hermanos: **Gina, Chuchín y Ago**

Por enseñarme el significado de la fraternidad con las experiencias que hemos vivido, por esa fortaleza que nos ha unido como familia, por darle tanta alegría a mi vida. Ustedes son mi pilar en la vida, los amo.

Gina, hermana, gracias por quererme, por apoyarme, por darme tanto cariño, por ser mi ejemplo a seguir, por cuidarme tanto.

Chuchín, gracias chango, por tantos abrazos que hemos compartido, por apoyarme en cada momento de mi vida y por seguirlo haciendo hasta la fecha, te admiro por tu fortaleza y por ser quien eres.

Ago, agradezco a Dios por hacernos coincidir en tantos momentos y experiencias, por ser mi amigo, mi confidente y mi cómplice durante toda la vida

que Dios nos ha permitido compartir, por tantas sonrisas y lágrimas, quien mejor que Tú, para ser mi mejor amigo en todos los lugares, en todos los momentos y en todas las vidas, te quiero con el alma y para siempre.

A mi abuelito: **Serafín Villanueva Orozco**

Por consentirme y darme tanto cariño como sólo Tú sabes darlo, por regalarme recuerdos tan bonitos e inocentes, por ser mi apoyo durante toda mi vida, por animarme y darme esos abrazos que siempre me vienen tan bien.

A: **Ti**

Que me inspiraste para perseguir y continuar este sueño dándome ánimo para comprender que todo tiene una razón, por motivarme a llegar tan lejos, no sólo en kilómetros sino también en sueños, por estar cuando más te necesité todo este tiempo, por llenar mi mundo de ilusiones. Por apoyarme en mi vida personal y en mi vida profesional. Eres una persona que marca, y mi vida la marcaste de cosas bonitas.

*El olor a tierra mojada y mis pies sobre
la hierba me hacen recordar que aún sigo viva*



ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
Resumen	x
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	4
Objetivo Específico.....	4
Hipótesis.....	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
Aspectos generales del cultivo	6
Historia y Origen.....	6
Clasificación Taxonómica del Cultivo	6
Producción	7
Producción Mundial.....	7
Producción Nacional	7
Importancia Económica	9
Principales Enfermedades.....	9
<i>Alternaria</i> sp. (Tizón temprano).....	9
Características morfológicas.....	9
Clasificación taxonómica.....	10
Ciclo biológico	10

Sintomatología	11
Estrategias de control para <i>Alternaria</i> sp.	12
<i>Fusarium</i> sp. (Marchitez vascular)	13
Características morfológicas	13
Clasificación taxonómica.....	14
Ciclo biológico	14
Sintomatología	14
Estrategias de control para <i>Fusarium</i> sp.....	15
<i>Helminthosporium</i> sp.....	15
Características morfológicas	15
Clasificación taxonómica.....	16
Ciclo biológico	16
Sintomatología	16
Estrategias de control para <i>Helminthosporium</i> sp.....	17
Extractos Botánicos	17
Extracto de canela.....	17
Extracto de gobernadora	18
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
Ubicación del experimento	20
Fitopatógenos.....	20
Extractos Botánicos.....	20
Diseño experimental	20
Evaluación de la efectividad biológica de <i>L. tridentata</i> y <i>C. zeylanicum</i> sobre <i>Alternaria</i> sp., <i>Fusarium</i> sp. y <i>Helminthosporium</i> sp.	21
Crecimiento e inhibición micelial	21
Número de esporas formadas	22
Análisis estadístico	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
Crecimiento micelial.....	23

Inhibición micelial	26
Número de esporas formadas	33
CONCLUSIONES	35
LITERATURA CITADA	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales estados productores de <i>Solanum lycopersicum</i> L., de la República Mexicana.....	8
Cuadro 2. Valor económico de los principales municipios productores de <i>Solanum lycopersicum</i> L., a nivel nacional.....	8
Cuadro 3. Medias del crecimiento micelial (cm) de <i>Alternaria</i> sp., <i>Fusarium</i> sp., y <i>Helminthosporium</i> sp., tratadas con extracto de canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>).....	24
Cuadro 4. Medias del crecimiento micelial (cm) de <i>Alternaria</i> sp., <i>Fusarium</i> sp., y <i>Helminthosporium</i> sp., tratadas con extracto de gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>).....	26
Cuadro 5. Concentración inhibitoria para <i>Alternaria</i> sp., <i>Fusarium</i> sp., y <i>Helminthosporium</i> sp., de extracto de canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>).....	32
Cuadro 6. Concentración inhibitoria para <i>Alternaria</i> sp., <i>Fusarium</i> sp., y <i>Helminthosporium</i> sp., de extracto de gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>).	33
Cuadro 7. Comparación de medias del efecto del extracto de canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>) sobre el número de conidias ($X10^6 \text{ mL}^{-1}$) producidas por cada hongo fitopatógeno.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de participación en la producción mundial de <i>Solanum lycopersicum</i> L.	7
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Alternaria</i> sp., tizón temprano del tomate (Rueda <i>et al.</i> , 1995).....	11
Figura 3. Comparación de medias de la inhibición micelial de <i>Alternaria</i> sp., con extracto de canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>).	27
Figura 4. Comparación de medias de la inhibición micelial de <i>Fusarium</i> sp., con extracto de canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>).	28
Figura 5. Comparación de medias la inhibición micelial de <i>Helminthosporium</i> sp., con extracto de canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>).....	29
Figura 6. Comparación de medias la inhibición micelial de <i>Alternaria</i> sp., con extracto de gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>).	30
Figura 7. Comparación de medias la inhibición micelial de <i>Fusarium</i> sp., con extracto de gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>).	31
Figura 8. Comparación de medias la inhibición micelial de <i>Helminthosporium</i> sp., con extracto de gobernadora (<i>Larrea tridentata</i>).....	32

Resumen

El excesivo uso de plaguicidas químicos en cultivos intensivos y el severo ataque de fitopatógenos fúngicos ponen en alerta el bienestar ecológico del planeta y el índice neto de rentabilidad del cultivo de jitomate, motivos por los cuales se han buscado alternativas de control para reemplazar los fungicidas sintéticos con productos biorracionales. Con la finalidad de evaluar el efecto antifúngico de extractos de canela y gobernadora, se determinó el crecimiento micelial, el porcentaje de inhibición y el número de esporas para *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., y *Helminthosporium* en condiciones *in vitro*. Las variables se determinaron por la técnica de dilución con concentraciones de 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 y 2.00% (v/v) y un testigo absoluto, con cuatro repeticiones para cada uno de los extractos en estudio. Para todas las variables se realizó una prueba de comparación de medias con Tukey ($\alpha = 0.05$), y particularmente para los porcentajes de inhibición se determinó la CI_{50} mediante un PROBIT. El extracto vegetal con mejores resultados para el control de los tres fitopatógenos fue el de gobernadora, debido a que presentó porcentajes de inhibición de 72.71, 75.83 y 66.31% *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. y *Helminthosporium* sp., respectivamente. Por su parte el extracto de canela reportó un 100% de inhibición para *Helminthosporium* sp. Por tal razón, los extractos de canela y gobernadora pueden considerarse eficientes dentro de un plan de manejo integrado para el control de hongos fitopatógenos que afecta el tomate.

Palabras clave: extractos vegetales, fitopatógeno, antifúngico, inhibición.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es considerado el cultivo hortícola número uno (SAGARPA, 2017). Su nombre proviene del náhuatl, “*xictlitómatl*”, que se traduce como tomate de ombligo (Bautista, 1994). La especie es originaria de la región Andina de Sudamérica (Gualazzi, 2002), que comprende parte de Perú, Chile y Ecuador (Peralta y Spooner, 2000; Álvarez, 2012), de donde fue traída a México para domesticarla y difundirla a Europa en el siglo XVI, así como al resto del mundo convirtiéndose desde entonces en un cultivo económicamente importante (Gerszberg *et al.*, 2015).

El jitomate es una hortaliza de interés para el ser humano, siendo considerado un alimento importante de su dieta y un vegetal de jardín (Hernández *et al.*, 2014). Wu *et al.* (2011) y Raiola *et al.* (2014), mencionan que el tomate rojo presenta gran potencial nutritivo, proporcionando al cuerpo importantes antioxidantes como el licopeno al que se asocian funciones anticancerígenas, además, es fuente de betacarotenos, flavonoides, vitamina C y derivados del ácido hidroxicinámico. El consumo de jitomate puede ser de muchas maneras, en fresco, deshidratado, en conservas, salsas, sopas y jugos. Los platillos con tomate son tradicionales y están interconectados con la cultura de muchos países, lo que explica su atractivo global (Beckles, 2011). En México el consumo *pér capita* anual de jitomate es de 14.3 kg SIAP (2017).

Además de la influencia social, ésta solanácea tiene una gran influencia financiera sobre otros sectores que subsisten y dependen de su producción y comercialización, a través de la generación de empleos directos e indirectos por la gran demanda de mano de obra que requiere (SIAP, 2011).

La producción mundial de jitomate es cercana a los 177.04 millones de toneladas (MMt) anuales, siendo los principales países productores China, India, EE.UU, Turquía y Egipto aportando el 75.7% del total global, mientras que México irrumpe en el décimo lugar con un aporte de 2.3%, equivalente a 4.04 MMt, volumen suficiente para posicionarse como el principal exportador de producto fresco

(FAOSTAT, 2016). Es importante destacar que del total de las exportaciones el 99.7% del jitomate rojo mexicano tiene como destino comercial EE. UU (SIAP, 2016). La USDA (2016), señala que el jitomate es la principal hortaliza producida en México en agricultura protegida. Por otro lado, la FAOSTAT (2016), reporta los mejores rendimientos de tomate fresco en Países Bajos con 507 t ha⁻¹, mientras que en México se obtienen 43.3 t ha⁻¹.

De acuerdo con cifras de la SAGARPA (2017), en México el jitomate representa el 3.46% del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola nacional, con una producción de 3, 349, 154 toneladas anuales, de las cuales el 56.3% se obtiene de las entidades de Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Baja California y Zacatecas representado el 27.6, 9.2, 7.0, 6.7 y 5.7 por ciento, respectivamente (SIAP, 2016).

Desde hace años, el control de las enfermedades fúngicas ha dependido en gran medida de los tratamientos con agroquímicos. Sin embargo, su uso representa un severo riesgo para la salud humana y contribuye al aumento de la contaminación medioambiental (Abdel *et al.*, 2011). Además, se ha dado lugar a la aparición de microorganismos altamente resistentes que conducen a enfermedades fúngicas con mayor tolerancia y agresividad, y es por ello que para reducir este problema se requiere buscar y adoptar estrategias que sean accesibles, sencillas de aplicar y no tóxicas para el ser humano y los animales (Naeini *et al.*, 2010). Por ejemplo, estudios realizados revelan la actividad biológica de algunos metabolitos encontrados en las plantas, que pueden ofrecer una alternativa prometedora para el control de plagas y enfermedades (Villa *et al.*, 2015).

Montes (2009) expone que los primeros agroquímicos usados en la agricultura fueron polvos o extractos de plantas, que se utilizaron antes del surgimiento de los compuestos orgánicos sintéticos durante la primera mitad del siglo XX; entre éstas plantas estuvieron el tabaco, el crisantemo y la rotenona que fueron usadas contra distintos insectos plaga. En la actualidad, se ha vuelto a considerar el uso de productos elaborados a partir de compuestos provenientes de fuentes vegetales (aceites esenciales y extractos botánicos) como una alternativa para el

control de enfermedades por su compatibilidad con el medio ambiente y por brindar mayor seguridad a los consumidores (Villa *et al.*, 2015). Otros autores como Montes *et al.* (2000) han analizado las propiedades fungicidas de alrededor de 206 especies de plantas sobre 26 especies de hongos fitopatógenos hasta reportar efectos sobre el desarrollo del micelio, la esporulación y la germinación de esporas, en pruebas de invernadero.

Ortiz *et al.* (2013), reportan como las enfermedades más comunes y agresivas en la región de Michoacán en el cultivo de jitomate al tizón tardío causado por *Phytophthora infestans* y cenicilla originada por *Sphaerotheca pannosa* y por *Oidium neolycopersici* (Alvarado *et al.*, 2011). Sin embargo, otro de los hongos que afecta al cultivo es el tizón temprano, ocasionado por *Alternaria solani*, este hongo afectan ramas, pecíolos, hojas, tallos y frutos, provocando una disminución considerable de la producción (Aceves *et al.*, 2008). Asimismo, es relevante considerar la severidad de los daños de *Phytophthora capsici* L. en las raíces de plantas de jitomate, al principio las plántulas sufren una marchitez, pero con el tiempo la parte inferior del tallo se anilla y la planta muere, quedando de un color marrón oscuro (Bernal, 2010). Otro punto son los daños ocasionados por nematodos, específicamente el agallamiento de la raíz causado por *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood, que generan grandes pérdidas económicas (Fernández *et al.*, 2008).

La SAGARPA (2010), reporta las principales enfermedades que afectan al cultivo; entre las que se encuentran el *Damping off*, también conocido como mal de patita ocasionado por hongos del género *Rhizoctonia* y *Pythium*; marchitez por *Fusarium* sp.; pudrición de la base del tallo por *Sclerotium rolfsii* y pudriciones del fruto originadas por los géneros *Alternaria* sp., *Pythium* sp., *Geotrichum* sp. y *Verticillium* sp.

Una de las enfermedades más importantes, es la marchitez vascular, cuyo agente causal es *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen, responsable de pérdidas de hasta un 60% del rendimiento. Esta enfermedad afecta al menos 32 países, reportándose hasta el momento tres razas que se

distinguen por su virulencia en materiales que contienen genes de resistencia (Amaral *et al.*, 2008); la enfermedad causa pérdidas entre 21 y 47% en cultivos a libre exposición y bajo cubierta (Ramyabharathi *et al.*, 2012; Enespa y Dwivedi, 2014).

El tizón temprano cuyo agente causal es *Alternaria* sp., es una enfermedad que infecta el follaje, ocasionando grandes pérdidas de frutos en campo, durante la cosecha y poscosecha, llegando a afectar al 50% de la producción (Juárez *et al.*, 2010). Conjuntamente la SAGARPA (2011), proporcionó cifras equivalentes a pérdidas de más del 50 por ciento como consecuencia del ataque paralelo de peca bacteriana y tizón temprano bajo condiciones de alta humedad, provocando defoliaciones y secamientos de hoja. Por otro lado, CEICKOR (2007), reportó que el hongo es capaz de producir pérdidas de hasta un 60 por ciento en tan sólo cuatro semanas, especialmente cuando las condiciones climáticas son de alta humedad relativa. Este hongo, en particular, afecta hojas y frutos en período de senescencia por pertenecer a un género donde la mayoría de sus especies son saprófitas, ya que únicamente se desarrollan sobre tejido vegetal muerto o en proceso de descomposición (Agrios, 2005).

Objetivo General

Evaluar el efecto inhibitorio *in vitro* de extractos vegetales de canela (*Cinnamomum zeylanicum* N) y gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre el desarrollo de hongos fitopatógenos *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. y *Helminthosporium* sp.

Objetivo Específico

Los extractos vegetales de canela y gobernadora (*C. zeylanicum* y *L. tridentata*) mostrarán efecto inhibitorio sobre el crecimiento y esporulación de los hongos fitopatógenos.

Hipótesis

Al menos uno de los extractos vegetales de canela (*C. zeylanicum*) y gobernadora (*L. tridentata*) inhibirán el crecimiento y desarrollo de *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. y *Helmisthosporium* sp.

REVISIÓN DE LITERATURA

Aspectos generales del cultivo

Historia y Origen

La especie *S. lycopersicum* es originaria de la región Andina de Sudamérica (Gualazzi, 2002), que comprende parte de Perú, Chile y Ecuador (Peralta y Spooner, 2000; Álvarez, 2012). De acuerdo con Arce (2013), los tomates silvestres están distribuidos en cinco países de Sudamérica incluyendo a Bolivia y Colombia, pero el 99% se encuentra en Perú, Ecuador y Chile. La mayor riqueza de especies se encuentra en el norte del Perú, país que cuenta con diez especies, seguido por Ecuador con cinco y por último Chile con tres. En la actualidad, están consideradas trece especies de tomates silvestres, incluyendo al tomate cultivado (*S. lycopersicum*) (Peralta *et al.*, 2008). Darwin *et al.* (2003), mencionan que en las islas Galápagos aún sobreviven dos especies endémicas. A pesar de que México no fue centro de origen, hoy en día es el principal lugar de domesticación a nivel mundial (Gerszberg *et al.*, 2015).

Clasificación Taxonómica del Cultivo

Recientemente la nomenclatura de la especie *lycopersicum esculentum* Mill fue sustituida por *S. lycopersicum* L. (Peralta *et al.*, 2005), la cual se muestra enseguida.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *S. lycopersicum* L.

Producción

Producción Mundial

La producción mundial de jitomate es cercana a los 177.04 MMt anuales (Figura 1), siendo los principales países productores China, India, EE. UU, Turquía y Egipto aportando el 75.7 % del total global, mientras que México se encuentra en el décimo lugar con el 2.3 % equivalente a 4.04 MMt, volumen suficiente para posicionarse como el principal exportador de producto fresco (FAOSTAT, 2016).

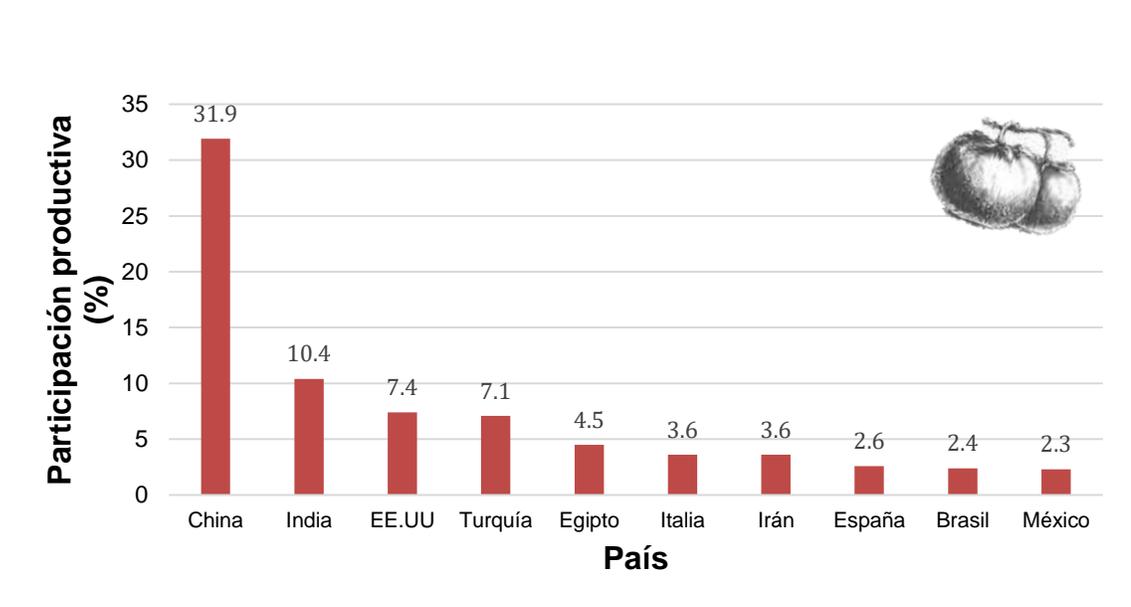


Figura 1. Porcentaje de participación en la producción mundial de *Solanum lycopersicum* L.

FAOSTAT (2016)

Producción Nacional

Para 2017 la producción nacional creció 8.1% en comparación con lo registrado en 2015, como consecuencia de un incremento de tres kilogramos en el rendimiento por unidad de superficie. De acuerdo con cifras de la SAGARPA (2017), en México el jitomate representa el 3.46 % del PIB agrícola nacional, con una producción de 3, 349, 154 toneladas anuales, de las cuales el 56.3 % se

obtiene de las entidades de Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Baja California y Zacatecas; los valores se pueden apreciar en el Cuadro 1 (SIAP, 2016).

Cuadro 1. Principales estados productores de *Solanum lycopersicum* L., de la República Mexicana.

Entidad	Producción (Miles de toneladas)	Participación productiva (%)
Sinaloa	924.2	27.6
San Luis Potosí	306.6	9.2
Michoacán	235.8	7.0
Baja California	226.1	6.7
Zacatecas	191.7	5.7
Jalisco	158.2	4.7
Baja California Sur	135.2	4.0
Sonora	128.0	3.8
Morelos	123.0	3.7
Puebla	119.8	3.6
Total Nacional	3,349.2	

SIAP (2016)

El 37.2% de la producción total nacional, se obtiene de los municipio mostrados en el Cuadro 2, encabezando la lista Culiacán con un aporte del 11.0%, seguido de Ensenada y Navolato con 6.7%.

Cuadro 2. Valor económico de los principales municipios productores de *Solanum lycopersicum* L., a nivel nacional.

Municipio	Producción (Toneladas)	Valor de la producción (Miles de pesos)	Participación del valor de la producción (%)
Culiacán, Sin.	368,041	1,843,213	7.7
Ensenada, B.C.	225,592	2,778,829	11.6
Navolato, Sin.	224,431	1,154,098	4.8
Elota, Sin.	102,054	536,163	2.2
Mulegé, B. C. S.	94,787	1,147,073	4.8
Guadalcázar, S. L. P	52,433	439,710	1.8
Fresnillo, Zac.	50,170	207,030	0.9
Colón, Qro.	45,900	352,192	1.5
Villa de Guadalupe, S. L. P.	45,132	198,382	0.8
Moctezuma, S. L. P.	36,640	265,506	1.1

SIAP (2016)

Importancia Económica

El tomate rojo mantiene su importancia y dinamismo en el comercio exterior, representando un gran aporte de divisas al país. De acuerdo con FIRA (2017), el cultivo se posicionó en el quinto lugar del valor de la producción agrícola primaria con el 4.6%.

México es el principal exportador de esta hortaliza con un volumen equivalente al 48% de la producción nacional, es relevante mencionar que el 99.7 por ciento de las ventas de tomate mexicano es destinado a EE. UU, abasteciendo el 90.7% de las compras estadounidenses FIRA (2017).

Debido a la gran importancia socioeconómica que este fruto representa para la nación, el sistema de producción tradicional a campo abierto fue reemplazado la agricultura protegida, obteniendo un aumento del 50% en el volumen de producción. El incremento esta atribuido al control de los factores del medio ambiente, pero sobre todo a la eficiente aplicación de programas de control de plagas y enfermedades FIRA (2017).

Principales Enfermedades

Alternaria sp. (Tizón temprano)

Este hongo ataca principalmente el follaje de las plantas mediante conidios que dan lugar a hifas libres individuales o agrupadas, ocasionando tizonamientos y manchas foliares. En las zonas infectadas, el hongo produce numerosos conidios, los cuales son diseminados por el viento, la lluvia, el agua e insectos; produciendo así más infecciones (Agrios, 2005).

Características morfológicas

Es un hongo filamentoso con conidióforos simples, tabicados, en cuyo extremo se forman conidias muriformes, de color pardo, con septos transversales y verticales de disposición irregular. Por gemación de la célula apical se genera un

nuevo conidio, formándose largas cadenas de diez o más conidios (Pontón *et al.*, 2002).

Clasificación taxonómica

Alexopoulos *et al.* (1996), ha caracterizado a *Alternaria* sp., de la siguiente forma:

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Subdivisión: Pezizomycotina

Clase: Dothideomycetes

Orden: Pleosporales

Familia: Pleosporaceae

Género: *Alternaria* sp.

Ciclo biológico

La enfermedad se origina principalmente a partir de los restos de cultivo (Junta de Andalucía, 2017). El hongo puede sobrevivir en el suelo, en residuos de cultivos infestados y malezas, así como en semillas infectadas (Rueda *et al.*, 1995). Cuando el hongo subsiste en un medio húmedo y en un rango de temperatura de 20 a 30 °C produce esporas que son dispersadas a la superficie de las hojas por el viento (Junta de Andalucía, 2017), por agua, insectos, personal de campo y maquinaria agrícola (Rueda *et al.*, 1995). Las esporas encontradas en plantas de tomate germinan e infectan las hojas cuando alcanzan una humedad óptima para su desarrollo, llegando a penetrar los tallos y los frutos.



Figura 2. Ciclo de vida de *Alternaria* sp., tizón temprano del tomate (Rueda *et al.*, 1995).

Sintomatología

Los primeros síntomas de esta enfermedad se presentan en las hojas viejas, donde se observan manchas irregulares y circulares con anillos concéntricos de color café oscuro (Ramírez *et al.*, 2010). La enfermedad comienza en hojas con manchas pardas y anillos con un amarillamiento en su periferia, mientras que en tallos y raquis, al interior aparecen manchas pardas bien delimitadas de color gris (CEICKOR, 2007).

El hongo ataca los tallos, hojas y frutas del tomate; en las hojas se presentan pequeñas manchas circulares de color café frecuentemente rodeadas de un halo amarillo que tienen la característica de poseer anillos, las lesiones avanzan ascendentemente al resto de la planta. A medida que la enfermedad progresa, el hongo ataca tallos y frutos. Las manchas en los frutos son similares a las de las hojas con color café y anillos concéntricos oscuros donde se producen esporas polvorientas y feohialinas (Rueda *et al.*, 1995).

El hongo produce manchas en las hojas de tamaño variable que pueden alcanzar hasta más de un centímetro de diámetro. Las manchas redondeadas o irregulares, ligeramente deprimidas, presentan un borde bien marcado de color púrpura y centro blanquecino o parduzco. En algunos casos se producen pequeñas roturas en el tejido necrótico del centro de la lesión (Junta de Andalucía, 2017).

Una de las menos frecuentes es la que se produce sobre la inflorescencia del tomate, provocando la necrosis total y la muerte de la flor. El hongo ataca el pedicelo de la flor provocando inicialmente una clorosis, seguido de una necrosis de las estructuras florales: sépalos y pétalos. El daño se observa en el brote floral. Los síntomas terminan produciendo cuatro daños que se pueden identificar como: clorosis, inicio de la necrosis, necrosis total y caída de la flor (Isla *et al.*, 2004).

Estrategias de control para *Alternaria* sp.

Una de las acciones más sencillas y eficientes para el control del tizón temprano del jitomate es la implementación y ejecución de prácticas culturales, tales como la eliminación de restos de cultivo y malas hierbas, que pueden actuar como reservorios, la rotación de cultivos, una fertilización adecuada y balanceada, particularmente en potasio, un manejo óptimo de la humedad, así como el uso de semillas tratadas y certificadas (Junta de Andalucía, 2017).

En (1995) Rueda *et al.*, recomendaban para un control químico efectivo contar con un diagnóstico oportuno de los síntomas del tizón temprano para poder realizar aplicaciones fungicidas exitosas con carbamatos, clorotalonil y cúpricos. Sin embargo, hoy en día, el control de hongos fitopatógenos requiere de técnicas alternativas. El manejo tradicional con agroquímicos sintéticos ha ocasionado diversos problemas de toxicidad al personal que tiene un contacto directo con dichos productos (Whalen *et al.*, 2003), los fungicidas químicos sintéticos generan un gran impacto en los ecosistemas y en la salud por su alta residualidad, provocando subsecuentemente el rechazo de los productos agrícolas durante el proceso de exportación (Sudheer e Indira, 2007).

Dada la situación anterior, Guerrero *et al.* (2007), evaluaron el efecto de extractos de hojas frescas de *Flourensia cernua* (hojasén), sobre la inhibición micelial y esporulación de *Alternaria alternata* en cepas aisladas de tomate, encontrando altos porcentajes de inhibición micelial en las extracciones con hexano (91.9%) y metanol: cloroformo (88.4%) a 4000 mg L⁻¹, mientras que la formación de conidias fue nula con el extracto etanólico a 4000 mg L⁻¹ y el metanólico: cloroformo a 2000 y 4000 mg L⁻¹.

Uno de los controles ecológicos más efectivos para *Alternaria* sp., es con extracto etanólico de *Eucaliptus globulus*, comprobándose su efectividad en un estudio realizado por Cazar *et al.* (2014), donde se registró el número de lesiones foliares causadas por *Alternaria* sp. en cultivos de col (*Brassica olearacea* Alba) en invernadero y de papa (*Solanum tuberosum*) a campo abierto; el control más efectivo para el hongo en col se obtuvo con una dosis de 300 mg L⁻¹, mientras que en la prueba de campo no se encontraron diferencias por las condiciones ambientales.

Peñuelas *et al.* (2015), realizaron bioensayos *in vitro* de extractos de *L. tridentata*, gobernadora, para evaluar la inhibición del crecimiento radial de *A. tenuissima* se utilizaron concentraciones de 0, 250, 500 y 750 ppm, siendo el extracto etanólico a 750 ppm el que inhibió al 100 % el crecimiento micelial, seguido por el extracto con solvente diclorometano (DCM) a 750 ppm con un 97.7 %

Fusarium sp. (Marchitez vascular)

El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas, siendo considerado como oportunista (Tapia y Amaro, 2014). La enfermedad es más destructiva en climas cálidos y suelos arenosos de las regiones templadas (Agrios, 2008).

Características morfológicas

Este hongo presenta dos tipos de conidios hialinos, los macroconidios que son tabicados, generalmente con tres tabiques y los microconidios que son más pequeños y unicelulares. Posee clamidiosporas que pueden ser terminales o intercalares (Tapia y Amaro, 2014). Las clamidiosporas son esporas formadas a partir de la condensación de células de las hifas o de las macroconidias y se caracterizan por poseer paredes bastante gruesas, lo que las hace muy resistentes a condiciones ambientales desfavorables o a la ausencia de plantas hospedantes Nelson (1981), citado por Arbeláez (2000).

Clasificación taxonómica

La taxonomía para este género es bastante compleja y ha sufrido diversos cambios desde las primeras descripciones hechas por Link en 1803 (Tapia y Amaro, 2014).

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Deuteromycete

Orden: Hypocreales

Género: *Fusarium*

Especies: Fusarium oxysporum

Fusarium solani

Fusarium verticillioides

Organización sistemática de *Fusarium* por Groenewald (2006) y Díaz de Castro *et al.* (2007).

Ciclo biológico

Es un hongo de temperaturas cálidas, el desarrollo óptimo se presenta a 20 °C y el rango va de 12 a 28 °C. Al acompañar una temperatura ideal con una alta humedad relativa y con días cortos de baja intensidad lumínica se favorece el desarrollo de la enfermedad (Tapia y Amaro, 2014). *Fusarium* inverna durante varios años en el suelo y en residuos de plantas infectadas a modo de clamidosporas. La supervivencia también es posible en semillas, estructuras de invernadero, herramientas y máquinas (KOPPERT, 2018).

Sintomatología

La infección primaria puede propagarse por semillas o tener lugar como infección radicular en el ápice de la raíz, después causa decoloración marrón de los tejidos del xilema que se puede observar al cortar los tallos (KOPPERT, 2018).

Las plantas adultas sufren de epinastia foliar y un previo aclaramiento de las nervaduras de sus hojas antes de que se presente reducción en el crecimiento, clorosis de las hojas inferiores; formación ocasional de raíces adventicias; marchitamiento, necrosis marginal y defoliación; así como debilitamiento de los tallos jóvenes, hasta que finalmente mueren (Agrios, 2008).

Estrategias de control para *Fusarium* sp.

En estudios realizados con extractos fenólicos de chiltepín (*Capsicum annum* var. *labriusculum*) a una concentración de 100 mg mL⁻¹ con la intención de medir el crecimiento micelial y la germinación de conidios de *A. alternata* y *F. oxysporum*, se obtuvo un porcentaje de inhibición de 38.46 para *A. alternata* y una reducción del 92% en la germinación de los conidios en relación al testigo. Para *F. oxysporum*, el crecimiento micelial no tuvo cambios significativos, mientras que el número de conidios germinados representó una disminución del 85 % en relación al control (Rodríguez *et al.*, 2015).

Helminthosporium sp.

Entre las enfermedades foliares más perjudiciales se encuentran las ocasionadas por el género *Helminthosporium*, al que pertenecen *H. maydis*, *H. turcicum* y *H. carbonum*.

Características morfológicas

El hongo se caracteriza por poseer un micelio oscuro, los conidióforos y los conidios se desarrollan directamente del estroma (Barnett y Hunter, 1998). Un conidióforo es capaz de producir de 5 a 30 conidios, los cuales poseen una forma cilíndrica y ligeramente cóncava, un color oscuro, una segmentación de tres a diez segmentos, y una pared gruesa, su tamaño es de 15 a 64 µm de longitud y de 4.0 a 8.1 µm de ancho (Hunger y McIntyre 1979).

Clasificación taxonómica

Errampalli *et al.* (2001)

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Clase: Pseudosphaeromycetes

Orden: Pleosporales

Género: *Helminthosporium* sp.

Ciclo biológico

Marijke (2009), describe el ciclo biológico de *H. solani* en el cultivo de papa (*S. tuberosum*), el hongo penetra el peridermo de seis a nueve horas después de la inoculación. Una vez que ha penetrado crece dentro de las células del peridermo y del córtex, causando la necrosis de las células afectadas, así como las células alrededor del tejido vegetal sano. La vía de transmisión de los conidios de tubérculos de semilla a tubérculos de cosecha en el campo es desconocida, aunque estudios realizados señalan que la dispersión ocurre directamente por contacto entre ambos tubérculos.

Las temperaturas entre 15 y 25°C y una humedad relativa alta (90%) estimulan la germinación de los conidios Errampalli *et al.* (2001), citado por Marijke (2009).

Sintomatología

De acuerdo con Reyes (2015) los síntomas producidos por *H. maydis* consisten en pequeñas lesiones de color ocre pálido, que pueden alcanzar de dos o tres centímetros de longitud en hojas jóvenes, además, los bordes de tales lesiones, son paralelos y están delimitados por las venas adyacentes. Las lesiones inmediatas pueden llegar a fusionarse, afectando a una considerable superficie foliar. Otros síntomas incluyen manchas elípticas de color verde grisáceo, tostado o marrón que aparecen en las hojas inferiores y se extienden más tarde a las hojas superiores (Augustyn *et al.*, 2016).

Estrategias de control para *Helminthosporium* sp.

La rotación de cultivos (Carter *et al.* 2003) y el control químico son los más utilizados para combatir este patógeno, sin embargo hoy en día sólo existe el producto Monceren Plus® cuya sustancia activa es Pencycurona y Tolyfluanida, que es capaz de controlar sin ser lo suficientemente efectivo (Marijke, 2009).

Extractos Botánicos

Grainge y Ahmed (1988), citado por Pérez *et al.* (2004), han demostrado que las plantas y sus derivados poseen propiedades contra roedores, ácaros, insectos, nematodos, bacterias, virus y hongos.

El metabolismo secundario se define como la biosíntesis, la transformación y la degradación de los compuestos endógenos mediante proteínas de especialización (Valdés y Balbín, 2000). La producción de los metabolitos secundarios (MS), resultado del proceso antes mencionado, se debe a la síntesis y acumulación de compuestos de bajo peso molecular como parte de la respuesta de defensa química contra el ataque de microorganismos patógenos en las plantas superiores (Sepúlveda, 2004). Los MS pueden sintetizarse en un tipo de órgano, tejido o célula específico, o en todos los tejidos de la planta, sin embargo pueden ser almacenados en órganos o tejidos diferentes a los de su síntesis (Edwards y Gatehouse, 1999). Por otra parte la síntesis de MS depende de la etapa de desarrollo de la planta y sus niveles constitutivos se pueden incrementar como parte de la respuesta al estrés abiótico y biótico.

Extracto de canela

Cinnamomum es uno de los generos de plantas más investigados en el control biológico para hongos, y se distribuye por Asia y Australia. Las especies de mayor interés por sus aceites son: *C. zeylanicum*, *C. cassia* y *C. camphora* (Ooi *et al.*, 2006). De las tres especies mencionadas *C. zeylanicum* es el más utilizado como antifúngico y está constituido fundamentalmente por un 65-75% de cinemaldehído y un 5-10% de eugenol (Narváez *et al.* 2006), sustancias que le

dan la propiedad antifúngica. Por otra parte, Morozumi *et al.* (1989), reportaron que el aceite esencial de canela posee la mayor diversidad de metabolitos antifúngicos.

El aceite esencial de canela tiene entre sus componentes a (E)-cinnamaldehy (68.95%), benzaldehy (9.94%) y (E)-cinnamylacetate (7.44%), los cuales presentan propiedades antimicrobianas y anticarcinogénicas (Unlu *et al.*, 2010).

Entre los efectos antimicrobianos de la canela tenemos el aumento de la permeabilidad y la salida de iones de la membrana, dicha actividad se da gracias a la acción de sus componentes, entre los que se encuentran taninos, saponinas, compuestos fenólicos, aceites esenciales y flavonoides. Incluso sus extractos etanólicos muestran gran actividad contra las cepas multidrogo resistentes a antibióticos sintéticos (Aboaba, 2001). Estudios muestran que el aceite esencial de canela y sus componentes poseen actividad antimicrobiana, insecticida, acaricida, actividad antitirosinasa, antioxidante y antimutagénica (Carmo *et al.*, 2008; Jayaprakasha *et al.*, 2007).

Extracto de gobernadora

Uno de los recursos forestales más utilizados en el control biológico de hongos fitopatógenos es *L. tridentata*, es nativa de las zonas áridas y semiáridas de Norteamérica, en México se encuentra distribuida en el norte del país en la Península de Baja California y parte de Tamaulipas (Nellense, 2004).

Este arbusto se caracteriza por los compuestos extraídos a partir de la resina que cubre las hojas y tallos jóvenes, y que conjuntamente producen un potente antioxidante, el ácido nordihidroguaiarético (ANDG) que posee actividad fungicida (Arteaga *et al.*, 2005), la concentración más alta del compuesto fenólico bioactivo se observó en sus hojas con 38.3 mg g⁻¹ (Lira *et al.*, 2003). Además posee compuestos metilados derivados del mismo ácido que han despertado el interés por su actividad antiviral (Gnabre *et al.*, 1996). Se ha reportado que la resina extraída de *L. tridentata* muestra actividad fungicida contra *Rhizoctonia solani*, *F. oxysporum*, *Pythium* spp. y otros hongos fitopatógenos (Brinker, 1993).

El efecto antifúngico de extractos de *L. tridentata*, fue investigado en bioensayos inhibitorios para *Pythium sp*, a dosis de 0, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 μ L. Los resultados mostraron que el valor promedio de resina de las muestras colectadas está entre 22.60 y 25.49%. El efecto fungicida de los extractos de gobernadora tuvo un comportamiento constante e independientemente del solvente usado para la extracción (Lira *et al.*, 2003). Además, numerosos estudios han demostrado acción antifúngica de los extractos de gobernadora sobre 17 hongos fitopatógenos en condiciones *in vitro* y han confirmado que extractos y material vegetativo molido en polvo e incorporado al suelo inhiben o controlan a seis hongos en cultivos agrícolas (Lira *et al.*, 2003; Vargas *et al.*, 2006; Jasso *et al.*, 2007).

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.

Fitopatógenos

Las cepas de *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., y *Helminthosporium* sp., fueron proporcionadas por la Dra. Yisa María Ochoa Fuentes de su Colección de Hongos Fitopatógenos, las cuales se reactivaron en cajas Petri de 8.5 cm de diámetro en un medio de cultivo PDA – Bioxon® (Papa – Dextrosa – Agar). Con ayuda de un sacabocados y una aguja de disección estériles se procedió a colocar un explante de 5 mm de diámetro en la parte central de cada caja, posteriormente se incubaron a una temperatura de 27 ± 2 °C. Se corroboró la identidad de las cepas por medio de montas observadas en el microscopio e identificadas con las claves taxonómicas de (Barnett y Hunter, 1998; Leslie y Summerell, 2006).

Extractos Botánicos

Se evaluaron dos fungicidas de origen vegetal, Gober® (*L. tridentata*), y Cinnax® (*C. zeylanicum*) proporcionados por la empresa Culta S. A de C. V.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar en el que se evaluaron cinco concentraciones 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 y 2.00% (v/v) de los extractos de canela y gobernadora, además de un testigo absoluto (únicamente con PDA). Cada tratamiento estuvo conformado de cuatro repeticiones. Las concentraciones a probar se establecieron en base a una revisión de literatura.

Evaluación de la efectividad biológica de *L. tridentata* y *C. zeylanicum* sobre *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. y *Helmintosporium* sp.

La actividad antifúngica de los extractos botánicos se realizaron mediante la técnica de dilución en agar (Guerrero *et al.*, 2007). En matraces Erlenmeyer se vertió agua destilada y se adicionaron las cantidades de PDA siguiendo la recomendación del fabricante Bioxon®, los matraces se taparon con papel aluminio y se agitaron suavemente para disolver, enseguida fueron esterilizados en una olla de presión a 121 °C y a una presión de 15 PSI (lb in⁻²) durante 15 minutos. Cuando el medio alcanzó una temperatura de 45 °C se adicionaron las distintas concentraciones (0.00, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 y 2.00% (v/v)) y se agitaron durante tres minutos para homogenizar y realizar el vaciado en cajas Petri de 8.5 cm de diámetro. Para que el medio solidificará se dejaron enfriar 24 horas a temperatura ambiente, posteriormente se colocó un explante de 5 mm de diámetro de cada una de las cepas (*Alternaria* sp., *Fusarium* sp. y *Helmintosporium* sp.).

Crecimiento e inhibición micelial

El crecimiento radial del micelio de cada hongo se midió cada 24 horas hasta que el testigo cubrió el diámetro de la caja con crecimiento micelial, utilizando un vernier digital milimétrico de la marca STEREN®. Con la metodología empleada por Bautista *et al.* (2002), se tomaron dos lecturas radiales cruzadas a partir del segundo día de la siembra y el promedio se reportó en centímetros (cm). El porcentaje de inhibición correspondió a los valores finales, y se calculó con la fórmula de Bautista *et al.* (2002), citados por Ochoa *et al.* (2012):

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{dc - dt}{dc} \times 100$$

Donde dc es el diámetro promedio en centímetros del crecimiento micelial del control, y dt es el diámetro del crecimiento micelial con los diferentes extractos (Kishore *et al.*, 1996).

Número de esporas formadas

Ocho días después de terminar las mediciones se dio paso a realizar los conteos de esporas en cada una de las unidades experimentales. Con ayuda de un sacabocados de 5 mm de diámetro se tomaron cinco explantes que fueron colocados en un tubo Eppendorf®, posteriormente con una micropipeta se agregaron 10 mL de agua destilada estéril. Los tubos fueron etiquetadas y se agitaron con ayuda de un vórtex con la finalidad de desprender las esporas y homogenizar la suspensión. Enseguida, se colocó 1 mL de la suspensión de esporas en una cámara de Neubauer y se procedió a contar las esporas de cada uno de los tratamientos, con ayuda de un microscopio en un ocular de 100X.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos en el porcentaje de inhibición se efectuó un análisis PROBIT en SAS (*Statistical Analysis Software*) versión 9.0 para determinar la concentración inhibitoria media (CI_{50}) para cada uno de los fitopatógenos con cada extracto.

Además se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables evaluadas; una vez que las medias presentaron diferencias se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey con un probabilidad del 95% en el programa R Studio (*Statistical Software*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento micelial

En el Cuadro 3, se muestran las medias de crecimiento micelial de los hongos fitopatógenos *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., y *Helminthosporium* sp., tratados con extracto de canela, donde se observan diferencias significativas entre las concentraciones en estudio, respecto al testigo.

Para *Alternaria* sp., la concentración de 2%, fue la que obtuvo el menor crecimiento micelial con una media de 5.62 cm en tanto que el testigo presentó el mayor diámetro de 8.5 cm, seguido de la concentración 1% con 6.74 cm; estos resultados coinciden con Ayala *et al.* (2008), quienes informaron que el extracto de canela inhibió el crecimiento micelial de *A. alternata*, indicando que la inhibición se incrementó al aumentar la concentración del extracto. Otros autores han reportado un crecimiento de 50 mm para *Alternaria porri* con extracto de corteza de canela, mismos que coinciden con lo medido en el presente estudio (Pawar y Thaker, 2007). Sin embargo difieren a lo reportado por Ramírez *et al.* (2016), quienes en un estudio de efectividad *in vitro* con extracto de canela hidrolatada en microondas al 30% reportan un crecimiento nulo en cepas de *A. solani* y *F. oxysporum*. Por otra parte los resultados superan a los crecimientos reportados por Pupo *et al.* (2011) quienes encontraron que los extractos de *Tagetes erecta* estimulan el crecimiento de *A. solani*.

En el bioensayo de *Fusarium* sp., la concentración de 1% mostró valores medios de crecimiento de 8.02 cm mientras que la concentración mayor (2%) presentó un incremento del 21.41% sobre dicha concentración, y 27.1% más que el testigo; los resultados se asemejan a los obtenidos por Ochoa *et al.* (2012), en un estudio realizado con extracto de *C. zeylanicum* sobre *F. oxysporum*, *F. culmorum* y *F. solani*, quienes obtuvieron porcentajes de inhibición del crecimiento de 4.47, 2.56 y 3.15%, respectivamente, con una concentración de 50 ppm. Asimismo, la media del diámetro obtenido con la concentración de 2% (6.2 cm), son muy parecidos a

los reportados en un estudio con extracto de corteza de *C. zeylanicum* Blume, las mediciones reportadas fueron de 40 mm de diámetro (Pawar y Thaker, 2007).

Para el caso de *Helminthosporium* sp., el análisis de varianza muestra diferencias significativas entre las concentraciones. Por ejemplo, para la concentración de 2% se obtuvo un crecimiento nulo, mientras que la concentración de 1% presentó un crecimiento medio de 2.66 cm, siendo este último 68.71% inferior a la media del testigo. Igualmente, las medias de la concentración al 2% presentan un crecimiento nulo, que es similar a lo obtenido en un estudio en campo sobre la pudrición de frutos de tomate, ocasionada por *Helminthosporium* spp., donde se reporta un diámetro del halo de crecimiento de 0.61, 0.63 y 99.96 mm, con extractos de orégano (*Lippia palmeri*) al 0.5%, de chachanilla (*Pluchea seríceea*) al 1% y con el control a base de agua, respectivamente (Andrade *et al.*, en prensa).

Cuadro 3. Medias del crecimiento micelial (cm) de *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., y *Helminthosporium* sp., tratadas con extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*).

Concentración (%)	<i>Alternaria</i> sp. ¹	<i>Fusarium</i> sp. ²	<i>Helminthosporium</i> sp. ³
	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD
0.00	8.50 ± 0.00 a	8.50 ± 0.00 a	8.50 ± 0.34 A
1.00	6.74 ± 0.56 b	8.02 ± 0.13 b	2.66 ± 0.16 B
1.25	6.38 ± 0.33 bc	7.06 ± 0.15 c	1.48 ± 0.44 C
1.50	5.43 ± 0.38 d	6.96 ± 0.39 cd	1.26 ± 0.47 C
1.75	6.14 ± 0.34 bcd	6.60 ± 0.31 de	1.15 ± 0.31 C
2.00	5.62 ± 0.47 cd	6.20 ± 0.09 e	0.00 ± 0.00 D

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. ¹ = 312 h, ² = 312 h y ³ = 168 h de incubación.

Para determinar las concentraciones a evaluar en el estudio con gobernadora se tomaron como referencia trabajos previamente realizados por otros autores y se encontraron investigaciones con concentraciones utilizadas de 100, 200, 400 y 600 mg L⁻¹ (Moreno *et al.*, 2011); así como 5, 10 (López *et al.*, 2005) y 20 por ciento (Valero *et al.*, 2014).

La comparación de medias para la variable de crecimiento micelial mostró diferencias significativas en todas las concentraciones evaluadas y en los tres fitopatógenos estudiados, respecto al testigo.

En el análisis realizado para las concentraciones utilizadas en *Alternaria* sp., el menor crecimiento, con 1.75 cm, se registró en la concentración de 2%, mientras que el mayor se obtuvo en la de 1% con 3.37 cm de diámetro, respecto al testigo. Cabe resaltar que, a partir de la concentración de 1% se presentaron diferencias numéricas pero no estadísticas. Además, el valor del diámetro (1.75 cm) alcanzado con una concentración de 2% es muy similar a 1.62 cm (de diámetro) reportado por Ocaña (2013) en un estudio de efectividad fúngica de gobernadora sobre *F. oxysporum* en tomate. En contraparte, se ha demostrado que el extracto acuoso de *L. tridentata* es capaz de estimular el crecimiento del micelio de *A. solani* un 17.33% más que en el control después de un periodo de incubación de 72 horas esto a una concentración de 10% (Valero *et al.*, 2014).

Para el caso de *Fusarium* sp., se tuvieron medias en el crecimiento micelial de 2.87 y 2.06 cm, para las concentraciones 1 y 2%, correspondientemente; sin embargo, en estudios realizados por otros autores se reporta el crecimiento micelial de 1.27 cm de diámetro para *F. oxysporium* var. *lycopersicum* tratado con extracto de *Parthenium hysterophorus* (escoba amarga), valor similar al obtenido en el presente estudio con una concentración de 2% (Rodríguez *et al.*, 2000).

En el Cuadro 4, para el fitopatógeno *Helminthosporium* sp., se aprecia una mayor diferencia entre las medias del crecimiento micelial de la concentración de 2% y la del testigo, con 2.86 y 8.50 cm, respectivamente.

Cuadro 4. Medias del crecimiento micelial (cm) de *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., y *Helminthosporium* sp., tratadas con extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*).

Concentración (%)	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Helminthosporium</i> sp.
	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD
0.00	8.50 ± 0.00 a	8.50 ± 0.00 a	8.50 ± 0.00 A
1.00	3.37 ± 1.83 b	2.87 ± 0.15 b	4.48 ± 0.14 B
1.25	2.24 ± 0.48 b	2.48 ± 0.11 c	3.58 ± 0.11 C
1.50	1.81 ± 0.64 b	2.32 ± 0.16 cd	3.54 ± 0.22 cd
1.75	1.72 ± 0.05 b	2.30 ± 0.18 cd	3.34 ± 0.23 cd
2.00	1.75 ± 0.15 b	2.06 ± 0.23 d	2.86 ± 0.78 D

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales. ¹ = 456 h, ² = 384 h y ³ = 168 h de incubación.

Inhibición micelial

Los mayores porcentajes medios de inhibición para *Alternaria* sp., con extracto de canela fueron de 36.1% valor obtenido con una concentración de 2%, mientras que la media mínima fue de 20.70 por ciento de inhibición, resultado de una concentración de 1%, esta última concentración coincide con Guillén *et al.* (2014), quienes reportan una inhibición del crecimiento de *Penicillium digitatum*, *Rhizopus stolonifer*, *F. oxysporum* y *A. alternata* utilizando una concentración de 1% (v/v) de una mezcla de quitosano, cera de abeja, ácido oleico, aceite de: tomillo, canela y clavo. De igual manera los valores obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del rango de inhibición (28.31 - 58.61%) reportado por Ramírez *et al.* (2016).

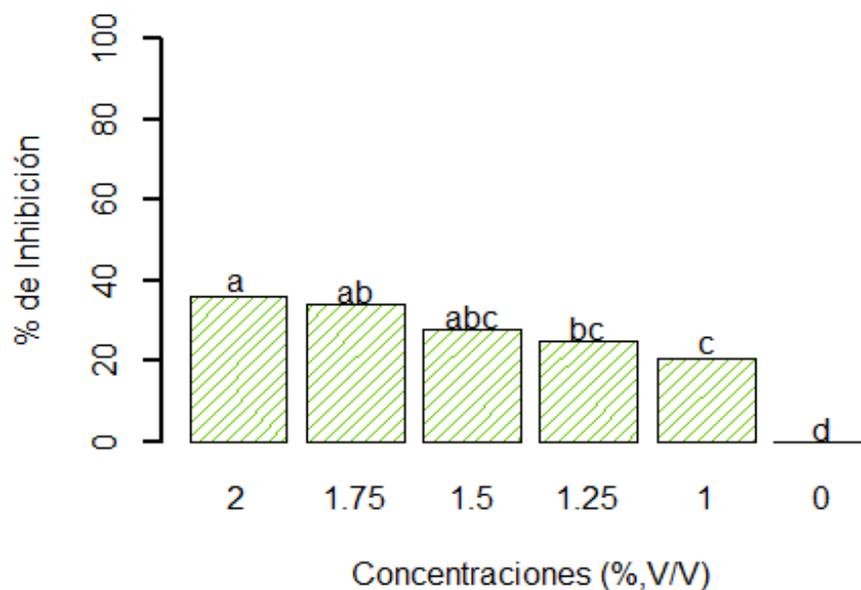


Figura 3. Comparación de medias de la inhibición micelial de *Alternaria* sp., con extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*).

Se observan diferencias significativas en el porcentaje de inhibición micelial de *Fusarium* sp., tratado con extracto botánico de canela. El mayor porcentaje de inhibición se reportó en la concentración de 2% con un porcentaje medio de 27.03%, dicho valor es similar a lo reportado por Barrera *et al.* (2008; 2009), en un estudio realizado con aceites de clavo y canela alcanzando rangos de inhibición de 29 a 84% y de 30 a 68%, respectivamente, utilizando de 100 a 300 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para el aceite de canela, lo que indica que los aceites inhiben parcialmente el crecimiento de *Fusarium*. Asimismo, se concuerda con López *et al.* (2005) quienes demostraron que extractos acuosos de canela inhiben el crecimiento de *F. oxysporum* un 31.4 y 63.6%, con concentraciones de 5 y 10%, respectivamente. Hasta cierto punto, las diferencias de los porcentajes de inhibición pueden deberse a la procedencia del material o del proceso de extracción (Grasso, 2013), o al grado de polaridad de solventes utilizados (Moreno *et al.*, 2011). Por otra parte, Peñuelas *et al.* (2015), muestran la variabilidad de los rendimientos de extractos de gobernadora de 3.24, 4.71, 18 y

95%, utilizando como solventes agua, etanol, diclorometano y metanol, respectivamente.

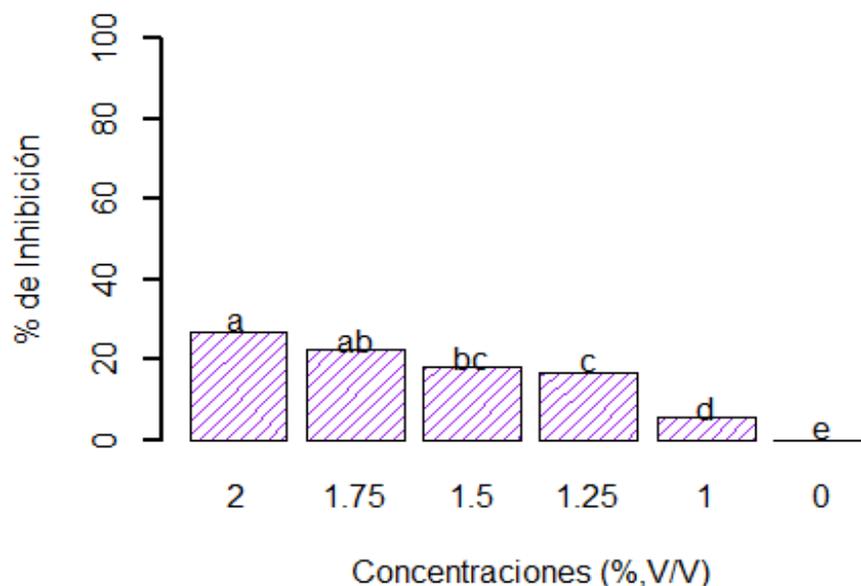


Figura 4. Comparación de medias de la inhibición micelial de *Fusarium* sp., con extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*).

Por lo que se refiere a las evaluaciones realizadas con extracto de canela sobre el desarrollo micelial de *Helminthosporium* sp., se alcanzó una inhibición del 100% con una concentración de 2%. Los resultados del análisis de varianza reportaron diferencias significativas muy marcadas, donde la eficiencia del extracto fue totalmente efectiva, la inhibición total del crecimiento coincide con el control de *Helminthosporium* sp., con Imazalil y Fosetyl–Al a una dosis de 800 y 500 ppm, obteniendo con ambos ingredientes activos un 100% de inhibición en plantas tropicales de *Capsicum chinense* (Cristóbal *et al.*, 2013). Incluso, el porcentaje medio de inhibición de 100% es similar a lo reportado por Andrade *et al* (en prensa), quienes reportan porcentajes de inhibición *in vitro* de 94, y 96%, con extractos acuosos de orégano al 1%, al 0.5% y con Captan® (ftalimina) a 2000 mg L⁻¹, correspondientemente. Sin embargo, actualmente el su mayoría el

control de *Helminthosporium* está basado en el control químico, pero aun así, se han hecho estudios con estrategias de control biológico, donde se ha utilizado la cepa CBCK46 de *Bacillus* sp., para lograr porcentajes de inhibición micelial de hasta un 78%, (Sánchez *et al.*, 2011).

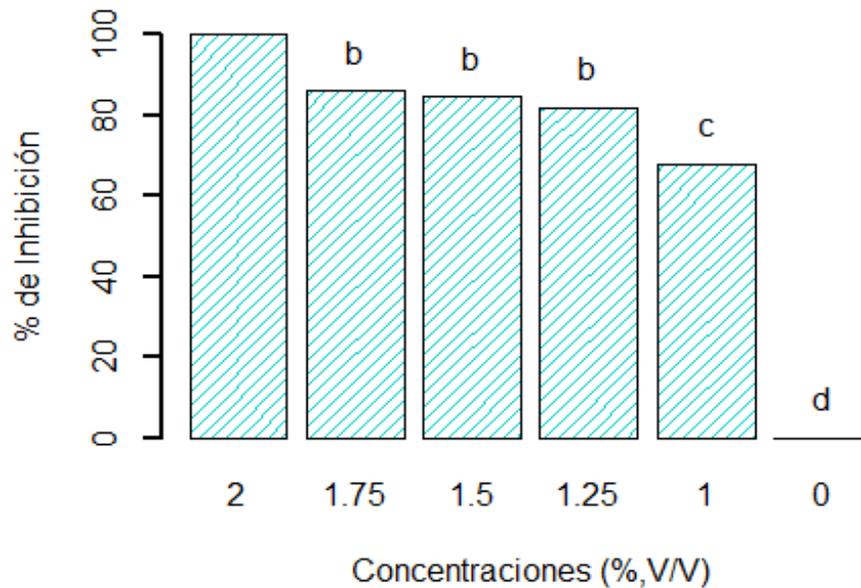


Figura 5. Comparación de medias la inhibición micelial de *Helminthosporium* sp., con extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*).

Por consiguiente, el efecto inhibitorio del extracto de gobernadora sobre *Alternaria* sp., fue positivo con valores de inhibición de 57.84 a 72.71% con concentraciones de 1 y 2%, respectivamente. En cuanto a los resultados obtenidos, son cercanos a los reportados por Peñuelas *et al.* (2015), quienes con una dosis de 750 ppm alcanzaron una inhibición del 100% en un estudio realizado *in vitro* con extracto de *L. tridentata* sobre *A. tenuissima*. La inhibición que presentó Gober® sobre el fitopatógeno puede estar relacionada a la presencia del ácido NDGA, además de fitoestrógenos que complementan la actividad anti fúngica del extracto (Lira, 2003). Asimismo, en un estudio se observó que el extracto acuoso de *L. tridentata* al 20% presentó el mayor porcentaje de inhibición del crecimiento del micelio para la cepa *A. solani* con un 21.46%, luego un periodo de incubación de 96 h (Valero *et al.*, 2014).

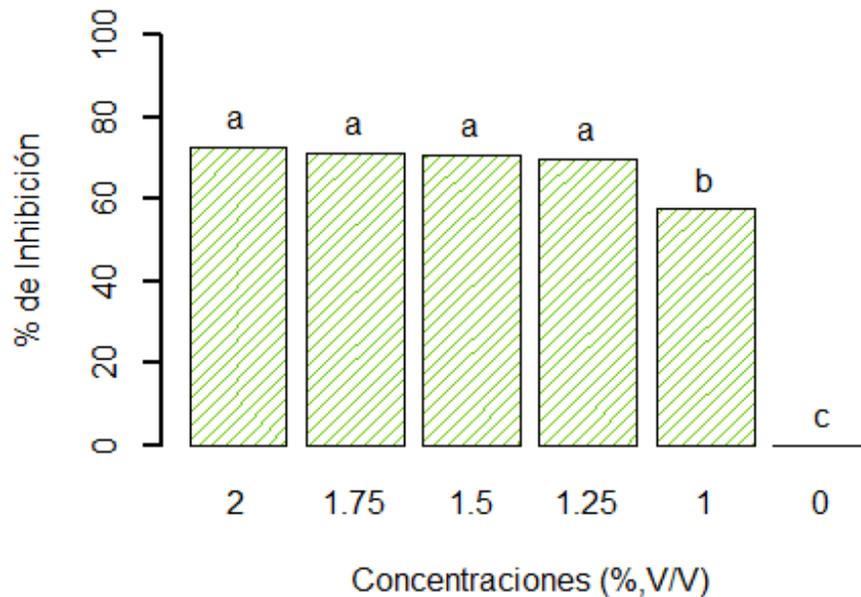


Figura 6. Comparación de medias la inhibición micelial de *Alternaria* sp., con extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*).

El efecto inhibitorio promedio de los porcentajes de inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium* sp.; en la concentración 2% del extracto de gobernadora fue 75.83% mientras que la concentración de 1% apenas alcanzó el 66.26%. Los valores registrados en el porcentaje de inhibición alcanzados en este trabajo se encuentran dentro de los reportados por Tequida *et al.* (2002), en un estudio de evaluación de extractos alcohólicos de *L. tridentata* sobre *F. poae* y *F. moniliforme* donde se obtuvo un rango de inhibición desde 41.5 hasta un 100%, igualmente, los resultados obtenidos se encuentran cercanos a los reportados en un estudio donde se evaluó el efecto inhibitorio de un extracto acuoso de gobernadora al 5 y 10% de concentración sobre *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* alcanzando valores de 81.3 y 92.7%, respectivamente (López *et al.*, 2005).

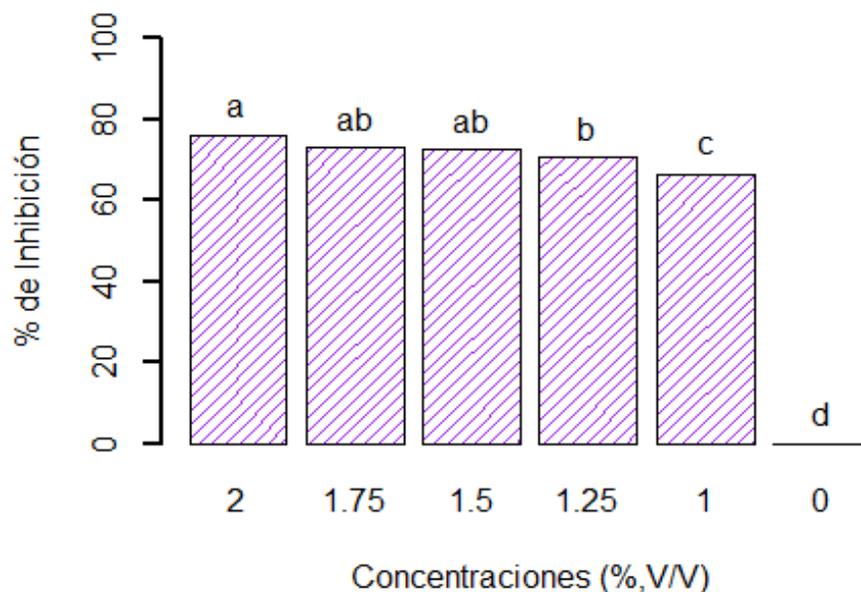


Figura 7. Comparación de medias la inhibición micelial de *Fusarium* sp., con extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*).

De los tres fitopatógenos sometidos al control biológico con extracto botánico de gobernadora, *Helminthosporium* sp., mostró la menor inhibición en la concentración de 2% con un 66.31 por ciento. En la Figura 8, se observa que la mayor inhibición fue de 66.31%, seguida de un 60.73%, y así sucesivamente, hasta llegar al testigo que presentó una inhibición nula. Entre las concentraciones aplicadas al medio de dilución existe una diferencia de 18.98% entre la concentración de 2% y la de 1%. No se han reportado porcentajes de inhibición para este hongo con extractos de gobernadora, sin embargo, se han realizado trabajos de control biológico con *Trichoderma* spp., donde se ha observado sólo una incidencia del 35.13% de *Helminthosporium solani* aplicando al suelo una dosis de 100 kg ha⁻¹ del agente de control (Limachi, 2010).

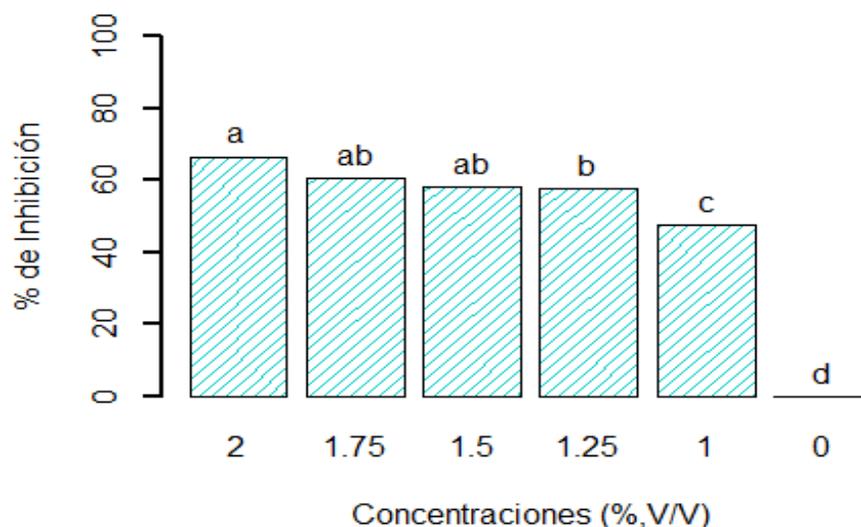


Figura 8. Comparación de medias la inhibición micelial de *Helminthosporium* sp., con extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*).

Como complemento a la variable de inhibición micelial, se calculó la concentración inhibitoria media (CI₅₀) necesaria del extracto de canela (Cuadro 5) para reducir el desarrollo micelial. Las concentraciones obtenidas fueron 3.29, 3.78 y 0.88% para *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., y *Helminthosporium* sp., correspondientemente. Asimismo, se determinó la CI₅₀ para el extracto de gobernadora (Cuadro 6) y se obtuvieron las concentraciones: 0.72, 1.05 y 1.01% para los mismos fitopatógenos.

Cuadro 5. Concentración inhibitoria para *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., y *Helminthosporium* sp., de extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*).

Fitopatógeno	CI ₅₀ (%)	LFI - LFS	CI ₉₅ (%)	Ecuación de predicción
<i>Alternaria</i> sp.	3.29	2.38495 – 11.56711	8.41	Y = -0.0604 ± 0.3465
<i>Fusarium</i> sp.	3.78	2.58685 – 19.55794	29.3	Y = -0.6337 ± 0.36144
<i>Helminthosporium</i> sp.	0.88	0.71446 – 0.98900	2.16	Y = -0.0545 ± 0.4079

LFI = Límite Fiducial Inferior, LFS = Límite Fiducial Superior

Cuadro 6. Concentración inhibitoria para *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., y *Helminthosporium* sp., de extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*).

Fitopatógeno	CI ₅₀ (%)	LFI - LFS	CI ₉₅ (%)	Ecuación de predicción
<i>Alternaria</i> sp.	0.72	0.20926 – 0.97216	6.78	Y = -0.0478 ± 0.3052
<i>Fusarium</i> sp.	1.05	0.83451 – 1.17979	4.01	Y = -0.0473 ± 0.3041
<i>Helminthosporium</i> sp.	1.01	0.22657 – 1.26637	2.16	Y = -0.0459 ± 0.2842

LFI = Límite Fiducial Inferior, LFS = Límite Fiducial Superior

Número de esporas formadas

El extracto de canela manifestó diferencias estadísticas en la esporulación de los tres fitopatógenos evaluados.

La mayor producción de conidias de *Alternaria* sp., se registró en el testigo con 1.43×10^6 esporas mL⁻¹. Se reporta una diferencia en la esporulación en todas las concentraciones, respecto al testigo. Sin embargo, entre las mismas concentraciones no existen diferencias estadísticas significativas. Los datos obtenidos coinciden con Ramírez (2013), quien reportó que hidrolatos de canela obtenidos por destilación a concentraciones del 10 y 20% (v/v), inhiben la formación de conidias en *Moniliophthora roreri*.

La producción de conidias de *Fusarium* sp., se vio inhibida por el extracto de canela, en el testigo se obtuvieron 1.86×10^6 esporas mL⁻¹ y la diferencia estadística significativa se obtuvo a partir de la concentración de 1.25% donde se registró una media de 0.54×10^6 esporas mL⁻¹, equivalente a una inhibición que se obtuvo para la mayor concentración evaluada fue 70.9 % respecto al testigo, valor que supera a los reportados por Ramírez (2016), en un estudio con extractos hidrodestilados *Fusarium* sp., obteniendo un rango de inhibición entre 28.31 y 58.61% en la formación de conidias respecto al testigo absoluto. Asimismo, el valor registrado en el testigo (1.86×10^6 esporas mL⁻¹), es muy

similar al reportado por Ochoa *et al.* (2012), quienes contabilizaron 1.6×10^5 conidios de *F. oxysporum* por mL en el testigo. Por otro lado Pupo *et al.* (2011), evaluaron extractos de flores de *Tagetes erecta*, hojas de *Lantana camara* y planta completa de *Cleome viscosa* sobre *A. solani*, encontrando que el extracto de *T. erecta* estimula el crecimiento, mientras que con los extractos de *L. camara* y *C. viscosa* inhiben más de 50% de la germinación de los conidios a una concentración de 2 mg mL^{-1} y con 3 mg mL^{-1} superan el 80%. Otros autores como Sharma *et al.* (2009), reportan la efectividad de extractos etanólicos de *Capparis decidua*, *Lantana camara* y *Tridax procumbens* sobre la inhibición en la germinación de esporas de *F. oxysporum* con valores de hasta un 100%.

Cuadro 7. Comparación de medias del efecto del extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) sobre el número de conidias ($\times 10^6 \text{ mL}^{-1}$) producidas por cada hongo fitopatógeno.

	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Helminthosporium</i> sp.
Concentración (%)	Media \pm SD	Media \pm SD	Media \pm SD
0.00	1.43 \pm 0.96 a	1.86 \pm 0.87 a	16.78 \pm 0.89 a
1.00	0.07 \pm 0.05 b	0.97 \pm 0.27 ab	11.74 \pm 1.56 b
1.25	0.12 \pm 0.09 b	0.54 \pm 0.03 b	8.83 \pm 0.56 c
1.50	0.09 \pm 0.07 b	0.51 \pm 0.14 b	7.21 \pm 0.47 c
1.75	0.04 \pm 0.02 b	0.33 \pm 0.07 b	6.76 \pm 0.93 c
2.00	0.03 \pm 0.02 b	0.47 \pm 0.20 b	1.95 \pm 0.50 d

*Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

Jasso *et al.* (2007), reportan que el extracto de *L. tridentata* a 4 mg mL^{-1} presentó inhibición para *A. alternata* de 66.4 % en la esporulación.

CONCLUSIONES

El extracto vegetal con mayor eficacia para el control biológico de los tres fitopatógenos (*Alternaria* sp., *Fusarium* sp. y *Helminthosporium* sp.) fue el extracto de gobernadora, debido a que presentó los mayores porcentaje de inhibición comparado con el de canela. Así como los menores crecimientos de micelio para *Alternaria* sp. y *Fusarium* sp, se obtuvieron con el extracto de gobernadora; además que estos presentaron la menor CI₅₀, mientras que para *Helminthosporium* sp. el extracto de canela mostró la menor CI₅₀.

LITERATURA CITADA

- Abdel, M. F.; Abo, E. K. A. M.; y Morsy, K. M. 2011. Effectiveness of plant extracts on suppression of damping-off and wilt diseases of lupine (*Lupinus termis* Forsik). Crop protection, 30(2), 185-191.
- Aboaba, O.; Efuwape, B. M. 2001. Antibacterial Properties of Some Nigerian Species. Bio. Res. Comm. 13: 183-188.
- Aceves, A. M.; Sánchez, M. O.; Rojero, M. R.; Ariza, F. R.; Barrios, A. A.; Rebolledo, M. A. 2008. Control biológico *in vitro* de enfermedades fungosas en tomate *lycopersicum esculentum* Mill. Avances en Investigación Agropecuaria, 12 (3), 55-68.
- Agrios, G. N. 2005. Fitopatología. Quinta Edición. Academic Press, San Diego, California. 952 p.
- Agrios, G. N. 2008. Fitopatología. Quinta Edición. Academic Press, San Diego, California. 428 p.
- Alexopoulos, C. J.; Mims, C. W.; Blackwell, M. 1996. Introductory Mycology. 4th ed. John Wiley & Sons: New York.
- Alvarado, R. G.; García, L. J.; Fernández, P. S. 2011. Enfermedades del Jitomate (*Solanum lycopersicum*) Cultivado en Invernadero en la Zona Centro de Michoacán. Revista Mexicana de Fitopatología, 29 (1), 50-59.
- Álvarez, H. J. C. 2012. Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertadas. Acta Agronómica, 61(2).
- Amaral, D. O. J.; Magalhaes, M.; Vilela, L.; Vanusa, M. 2008. Differential gene expression induced by salicylic acid and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* infection in tomato. Pesq Agrop Bras. 43(8): 1017-1023.
- Andrade, B. G.; Cervantes, D. L., Aíl, C. C. E.; Del Toro, S. C. L.; Borboa, F. J.; Rangel, P. P.; Rueda, P. E. En prensa. Nota técnica Potencial de los extractos de orégano y cachanilla para el control de hongos fitopatógenos en frutos de tomate.
- Arbeláez, T. G. 2000. Algunos aspectos de los hongos del genero *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. Agronomía Colombiana, 17(1-3), 11-16.

- Arce, P. G. Junio de 2013. Distribución geográfica de los "tomates silvestres" (*Solanum* L. sect. *Lycopersicon* (Mill.) Wettst.: Solanaceae. *Arnaldoa*, 20(2), 301 - 304. Recuperado el 28 de Septiembre de 2018
- Arteaga, S.; Andrade, A. C.; Cardenas, R. 2005. "*Larrea tridentata* (Creosote bush), an abundant plant of Mexican and US-American deserts and its metabolite nordihydroguaiaretic acid". *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3): 231-239.
- Augustyn, A.; Bauer, P.; Duignan, B.; Eldridge, A.; Gregersen, E.; Luebering, J.E.; McKenna, A.; Petruzzello, M.; Rafferty, J. P.; Ray, M.; Rogers, K.; Tikkanen, A.; Wallenfeldt, J.; Zeidan, A.; Zelazko, A. Octubre 07, 2016. *Helminthosporium*. Encyclopædia Britannica, inc.
- Ayala, F. E.; Soto, A.; González, E; Álvarez, O. M.; González. G. 2008. Microencapsulation of cinnamon leaf (*Cinnamomun zeylanicum*) and Garlic (*Allium sativum*) oils in β -cyclodextrin. *Journal of Inclusion Phenomena Macroscopic Chemistry* 60: 359- 368.
- Barnett H.L.; Hunter B. B. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 4° edición. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA.
- Barrera, N. L. L.; Garduño, C.; García, B. J. 2009. *In vitro* antifungal activity of essential oils and their compounds on mycelial growth of *Fusarium oxisporum* f. sp. *gladioli* (Massey) Snyder and Hensen. *Plant Pathology Journal* 8 (1): 17-21.
- Bautista, B. S.; Flores, M. H. I.; Rojas, E. A. 2008. Efficacy of essential oils on the conidial germination, growth of *Colletotrichum gloeosporioides*(penz.) Penz. And Sacc. and control of postharvest diseases in papaya (*Carica papaya* L.). *Plant Pathology Journal* 7 (2): 174-178.
- Bautista, B. S.; Hernández, L. M.; Díaz, P. J. C.; Cano, O. C. F. 2000. Evaluation of the fungicidal properties of plant extracts to reduce *Rhizopus stolonifer* of 'ciruela'fruit (*Spondias purpurea* L.) during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 20(1), 99-106.
- Bautista, L. G. 1994. *Etimologías de la Lengua Náhuatl*.

- Beckles, D. M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 129-140.
- Brinker, F., 1993. "Larrea *tridentata* (D.C) (Chaparral or cresote bush)". *British Journal of Phytoterapy*, 3: 10-30.
- Carmo, E.S.; Lima, E. D.; de Souza, E. L.; de Sousa, F. B. 2008. Effect of *Cinnamomum zeylanicum* blume essential oil on the growth and morphogenesis of some potentially pathogenic *Aspergillus* species. *Braz. J. Microbiol.* 39 (1): 91–97.
- Carter, M. R.; Kunelius, H. T.; Sanderson, J. B.; Kimpinski, J.; Platt, H. W.; Bolinder, M. A. 2003. Productivity parameters and soil health dynamics under long – term 2 – year potato rotations in Atlantic Canada. *Soil and Tillage Research* 72(2):153-168.
- Cazar, M. E.; Villena, P.; Parra, J.; Espinoza, V. V.; Larriva, G.; Caldas, A. 2014. UNIVERSIDAD DE CUENCA y IUC. (06). Artículo.
- CEICKOR, 2007. Principales plagas y enfermedades del tomate en invernadero.
- Cristóbal, A. J.; Navarrete, M. Z.; Herrera, P. E.; Mis, M. M.; Tun, S. J. M.; Ruiz, S. E. 2013. Hyphomycetes associated with tropical plants from Yucatán state, Mexico: generic identification and evaluation of fungicides for their control. *Revista de Protección Vegetal*, 28(2), 138-144. Recuperado en 02 de diciembre de 2018
- Darwin, S.; Knapp, S.; Peralta, I. 2003. "Tomatoes" in the Galápagos Islands: morphology of native and introduced species of *Solanum* section *Lycopersicon* (Solanaceae). *Syst. Biodiv.* 1: 29–54.
- Díaz de Castro, F. J.; Restrepo, M. A.; Rojas, W. 2007. *Microbiología de las infecciones humanas*. Primera Edición. Corporación para Investigaciones Biológicas. Medellín. Colombia
- Edwards, R.; Gatehouse, J. A. 1999. Secondary metabolism. pp. 193-218. In: P.J. Lea., and R.C. Leegood (eds.). *Plant Biochemistry and Molecular Biology*. John Wiley and Sons Ltd. Maryland, USA. 384 p.

- Enespa; Dwivedi, S.K. 2014. Effectiveness of some Antagonistic fungi and botanicals against *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* infecting brinjal and tomato plants. Asian J. Plant Path. 8(1):18-25.
- Errampalli, D.; Saunders, M.; Holley, D. 2001. Emergence of silver scurf (*Helminthosporium solani*) as an economically important disease of potato. Plant Pathology (Inglaterra) 50: 14
- FAOSTAT. 2016. Datos sobre alimentación y agricultura. Producción mundial de tomate fresco. www.fao.org/faostat/es
- FAOSTAT. 2016. Datos sobre alimentación y agricultura. Rendimiento mundial de *tomate fresco*. www.fao.org/faostat/es
- Fernández, P. S. P.; Rodríguez, A. G.; Fernández, P. Y. L. 2008. Enfermedades forestales de cultivos agrícolas en el estado de Michoacán. Biológicas 10:28-38. Ficha técnica, 2011.
- FIRA. 2017. Panorama Agroalimentario: Tomate Rojo. Producción Nacional Primaria. p.10
- Gerszberg, A.; Hnatuszko, K. K.; Kowalczyk, T.; Kononowicz, A. K. 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 120(3), 881-902.
- Gnabre, J.; Ito, Y.; Ma, Y.; Huang, R. 1996. "Isolation of anti- HIV-1 lignans from *Larrea tridentata* by counter-current chromatography". Journal of Chromatography, 7(19): 353-364.
- Grasso, F. V. 2013. Diseño del proceso: Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna (Doctoral dissertation, Facultad de Ingeniería).
- Groenewald, S. 2006. Biology, pathogenicity and diversity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Trabajo de grado de Maestría. Universidad of Pretoria. Pretoria. Sudáfrica.
- Gualazzi, R. J. Enero de 2002. *lycopersicum esculentum*: una breve historia del tomate. Horticultura y Sociedad, 158. Recuperado el 30 de Agosto de 2018

- Guerrero, R. E.; Solís, G. S.; Hernández, C. F. D.; Flores, O. A.; Sandoval, L. V.; Jasso, C. D. 2007. Actividad Biológica *in vitro* de Extractos de *Flourensia cernua* D.C. en Patógenos de Postcosecha: *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) Keissl., *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. Revista mexicana de fitopatología, 25(1), 48-53. Recuperado en 19 de noviembre de 2018
- Guillén, S. J.; Hernández, M.; Bautista, B. S.; Barrera, L. y Guillén, S. D. 2014. Actividad biológica de películas de quitosano en el crecimiento micelial de hongos asociados con frutos de papaya. Rev. Mex. Fitopatol. 32 (suplemento julio): 70 p.
- Hernández, H. R. M.; Santacruz, R. F.; Ruiz, L. M. A.; Norrie, J.; Hernández, C. G. 2014. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). Journal of applied phycology, 26(1), 619-628.
- Hunger, R. M.; McIntyre, G. A. 1979. Occurrence, development, and losses associated with silver scurf and black dot on Colorado potatoes. American Potato Journal, 56(6), 289-306.
- Isla, L. H.; Bernal, A.; Díaz, M.; Ravelo, H. G.; López, R. 2004. El tizón de la inflorescencia del tomate causado por *Alternaria solani* Sor. bajo cultivo protegido. Centro Agrícola, 31(1-2), 109.
- Jasso, R. D.; Rodríguez, G. R.; Hernández, C. F. D.; Villarreal, Q. J. A.; Galván, C. 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.
- Jayaprakasha, G. K.; Negi, P. S.; Jena, B. S.; Jagan, M. R. L. Antioxidant and antimutagenic activities of *C. zeylanicum* fruit extracts. J. Food Compos 2007; 20: 330–336
- Juárez, B. G. P.; Sosa, M. M. E.; López, M. A. 2010. Hongos Fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos, 4 (2), 14-23.
- Junta de Andalucía. 2017. *ALTERNARIA Alternaria macrospora*. Ciclo de la enfermedad.

www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/visorraif/Ayudas/Algodon/ALTERNARIA_CE.html

- Kishore, N.; Chansouria, J.; Dubey, N. 1996. "Antidermatophytic action of the essential oil of *Chenopodium ambrosioides* and an ointment prepared from it". *Phytotherapy Research*, 10: 453-455.
- KOPPERT. 2018. Marchitez vascular: *Fusarium oxysporum*
- Leslie, J. F.; y Summerell, B. A. 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. Blacwell. Iowa USA. 388 p.
- Limachi, V. J. M. 2010. Efecto de la aplicación de bioinsumos para el control de la enfermedad mancha plateada (*Helminthosporium solani*) en el cultivo de papa nativa (*Solanum stenotomum*) en la comunidad de Colomi, Cochabamba (Doctoral dissertation, UMSA).
- Lira, S. R. H. 2003. "Estado actual del conocimiento sobre las propiedades biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C) Coville]". *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2): 214-222.
- Lira, S. R. H.; Sánchez, 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.
- López, B. A.; López, B. S.; Vázquez, B. M.; Rodríguez, H. S.; Mendoza, E. M.; Padrón, C. E. 2005. Inhibición del Crecimiento Micelial de *Fusarium oxysporum* Schlechtend. f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen, *Rhizoctonia solani* Kühn y *Verticillium dahliae* Kleb. Mediante Extractos Vegetales Acuáticos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 23 (2), 183-190.
- Marijke, H. L. 2009. La sarna plateada (*Helminthosporium solani* (Dur. & Mont.), una enfermedad de creciente importancia en papa. *Agronomía mesoamericana*, 20 (2). 418 -420
- Montes, B. R. 2009. Diversidad de compuestos químicos producidos por las plantas contra hongos fitopatógenos. *Revista Mexicana de Micología*, 29, 73-82.
- Montes, B. R.; Cruz, C. V.; Martínez, M. G.; Sandoval, G. G.; García, L. R.; Zilch, D. S.; Carvajal, M. M. 2000. Propiedades antifúngicas en plantas

- superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. Revista Mexicana de Fitopatología, 18(2).
- Montes, B. R.; Cruz, C. V.; Martínez, M. G.; Sandoval, G. G.; García, L. R.; Zilch, D. S.; Carvajal, M. M. 2000. Propiedades antifúngicas en plantas superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. Revista Mexicana de Fitopatología, 18(2).
- Moreno, L. S.; González, S. L. N.; Salcedo, M. S. M.; Cárdenas, Á. M. L.; Perales, R. A. 2011. Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición *in vitro* de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. Polibotánica, (32), 193-205.
- Morozumi, S.; Wuake, T.; Kudoh Y.; and Hitoko, H. 1989. Antifungal effects of commercial foods and spices, and their components. In: S. Nattori, K. Hashimoto and Y. Ueno. Mycotoxins and Phycotoxin's 88. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, Holanda. 155-160.
- Naeini, A.; Ziglari, T.; Shokri, H.; Khosravi, A. R. 2010. Assessment of growth-inhibiting effect of some plant essential oils on different *Fusarium isolates*. Journal de Mycologie Médicale/Journal of Medical Mycology, 20(3), 174-178.
- Narváez, S.A.; Domínguez, W.; González, G.; Bueso, F.; Ayala, F. 2006. Evaluación del efecto antifúngico *in vitro* del aceite esencial de hoja de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) puro y microencapsulado [Tesis de Licenciatura]. Zamorano, Escuela Agrícola Panamericana. p. 28.
- Nellessen, J. E. 2004. *Larrea tridentata* (Sesse'and Moc. ex DC.) Coville creosote bush. Wildland Shrubs of the United States and Its Territories: Thamnic Descriptions: Volume, 419.
- Ocaña, L. M. E. 2014. Actividad antifúngica *in vitro* de extractos vegetales contra *Fusarium oxysporum* Snyder y Hans.
- Ochoa, F. Y. M.; Cerna, C. E.; Landeros, F. J.; Hernández, C. S.; Delgado, O. J. C. 2012. Evaluación *in vitro* de la actividad antifúngica de cuatro extractos vegetales metanólicos para el control de tres especies de *Fusarium* spp. Phyton (Buenos Aires), 81(1), 69-73.

- Ooi, L.; Li, Y.; Kam, S.; Wang, H.; Wong, E.; Ooi, V. 2006. Antimicrobial Activities of Cinnamon Oil and Cinnamaldehyde from the Chinese Medicinal Herb *Cinnamomum cassia* Blume. *The American Journal of Chinese Medicine*. 34(3): 511–522
- Ortiz, J.B.; Jiménez, S. L.; Morales, G. M.; Quispe, L A.; Turrent, F. A.; Rendón, S. G.; Rendón, M. R. 2013. Nivel de adopción de tecnologías para la producción de jitomate en productores de pequeña escala en el estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4 (3), 447-460.
- Pawar, V. C.; Thaker, V. S. 2007. Evaluation of the anti-*Fusarium oxysporum* f. sp *cicer* and anti-*Alternaria porri* effects of some essential oils. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(8), 1099-1106.
- Peñuelas, R. O.; Arellano, G. M.; Vargas, A. I. C.; Lares, V. F.; Cantú, S. E. U.; Hernández, R. S. E.; Gutiérrez, C. M. A.; Mungarro, I. C. 2015. Bioactividad *in vitro* de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre la inhibición de hongos poscosecha: *Alternaria tenuissima*, *Aspergillus niger*, *Penicillium polonicum* y *Rhizopus oryzae*. *Polibotánica*, (40), 183-198. Recuperado en 19 de noviembre de 2018
- Peralta, I. E. y Spooner, D. M. 2000. Clasification of wild tomatoes: a review. *Kurtziana* 28(1):45 - 54.
- Peralta, I. E.; Knapp, S. K. y Spooner, D. M. 2005. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: *Solanaceae*) from northern Peru *Systematic Botany* 30 (2): 424 – 434
- Peralta, I.; Knapp, S.; y Spooner, D. M. 2008. Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; *Solanaceae*). *Syst. Bot. Monogr.* 84:83–89.
- Pérez, P. R.; Rodríguez, H. C.; Lara, R. J.; Montes, B. R. y Ramírez, V. G. 2004. Toxicidad de aceites, esencias y extractos vegetales en larvas de mosquito *Culex quinquefasciatus* Say (*Diptera: culicidae*). *Acta zoológica mexicana*, 20(1), 141-152
- Pontón, J.; Moragues, M. D.; Gené, J.; Guarro, J.; Quindós, G. 2002. Rev Iberoamericana de Micología. *Alternaria alternata* (Fries) Keissler.

- Pupo, Y.; Kalombo, D.; Herrera, L.; Malheiros, M. D.; Vargas, B. 2011. Efecto de extractos vegetales en el crecimiento y germinación de esporas de *Alternaria solani* (E. & M.) J. & G. en condiciones *in vitro*. Rev. Iberoam. Micol. 28(1):60
- Raiola, A.; Rigano, M. M.; Calafiore, R.; Frusciante, L.; Barone, A. 2014. Enhancing the human-promoting effects of tomato fruit for bofortified food. Hindawi Publishing Corporation Mediators of Inflammation.
- Ramírez, E. R. G.; Gómez, E. H.; Gómez, R. C.; Madrigal, R. Q.; Cantú, D. H. N.; Ruíz, L. D. F. 2010. Manejo integrado de las principales plagas y enfermedades del jitomate en Chiapas.
- Ramírez, G. S. I.; López, B. O.; Espinosa, Z. S.; Wong, V. 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.
- Ramírez, S. 2013. Efectividad de extractos vegetales en el manejo de la Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao (*Theobroma cacao* L.) en México. Tesis de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

- Ramyabharathi, S.A.; Meena, B.; Raguchander, T. 2012. Induction of chitinase and β -1, 3-glucanase PR proteins in tomato through h liquid formulated *Bacillus subtilis* EPCO 16 against *Fusarium* wilt. *Journal of Today's Biological Sciences: Research & Review*. India. 1(1):50-60.
- Reyes, C. 2015. Tizón de la hoja - *Helminthosporium maydis*, *H. turcicum*, *H. carbonum*
- Rodríguez, A. T.; Morales, D.; Ramírez, M. A. 2000. Efecto de extractos vegetales sobre el crecimiento *in vitro* de hongos fitopatógenos. *Cultivos tropicales*, 21(2).
- Rodríguez, M. A.; Troncoso, R. R.; Sánchez, E. A.; González, M. D.; Ruiz, S. E.; Zamora, B. R.; Ceceña, D. C.; Grimaldo, J. O.; Aviles, M. M. 2015. Antifungal effect of phenolic and carotenoids extracts from chiltepin (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) on *Alternaria alternata* and *Fusarium oxysporum*. *Revista argentina de microbiología*, 47(1), 72-77. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2014.12.005>
- Rueda, A.; Shelton, A. M.; Shelton, B.; Weeden, C.; McCandless, L. 1995. Tizón Temprano del Tomate. *Cornell University*, 1 - 3.
- SAGARPA. (Septiembre de 2010). Manejo integrado de las principales plagas y enfermedades del jitomate en Chiapas.
- SAGARPA. 2011. Enfermedades fungosas y bacterianas del cultivo de tomate en el estado de Nayarit. Nayarit, México
- SAGARPA. 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017 - 2030. Obtenido de Jitomate Mexicano.
- Sánchez, E. R.; Bautista, M. Á. M.; Pech, M. S.; Ramírez, A. R. 2011. Aislamiento de Cepas Nativas de *Bacillus* spp. y su Actividad Antagónica en Hongos Fitopatógenos. In *XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*.
- Sepúlveda, J. G.; Porta, D. H.; Rocha, S. M. 2003. La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista mexicana de fitopatología*, 21(3).

- Sharma, R. R.; Singh, D.; Singh, R. 2009. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control* 50: 205–221.
- SIAP. 2011. Producción Nacional de Jitomate. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx>
- SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de Atlas Agroalimentario 2016
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Jitomate. Obtenido de Atlas Agroalimentario 2017
- Sudheer, K.P.; V. Indira, 2007. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Horticulture Science series 7. New India Publishing Agency. New Delhi, India. 291p.
- Tapia, C.; Amaro, J. 2014. Género *Fusarium*. *Revista chilena de infectología*, 31(1), 85-86. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012>
- Tequida, M. M.; Cortez, R. M.; Rosas, B. E. C.; López, S. S.; Corrales, M. 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.
- Unlu, M.; Ergene, E.; Unlu, G.; Zeytinoglu, H.; Vural, N. Composition, antimicrobial activity and *in vitro* cytotoxicity of essential oil from *Cinnamomum zeylanicum* Blume (Lauraceae). *Food and Chemical Toxicology*. Elsevier 2010; 48:
- USDA. FAS. 2016. GAIN Report Number MX6021. "Mexican Continues to Expand Greenhouse Tomato Production". Global Agricultural Information Network, 6/1/2016.
- Valdés, R.; Balbín, M. I. 2000. Curso de fisiología y bioquímica vegetal. La Habana, Cuba: Universidad Nacional de Ciencias Agrarias de la Habana.
- Valero, G. J.; González, D. C.; González, F. R. 2014. Efecto de los extractos acuosos de hojas de plantas de gobernadora (*Larrea tridentata*), hojaseña (*Flourensia cernua*) y encino (*Quercus pungens*), sobre el crecimiento

micelial *in vitro* de hongos fitopatógenos. Acta Universitaria, 24 (5), 13-19.

- Vargas, A. I.; Contreras, V. A.; Hernández, M. J.; Martínez, T. A. 2006. "Arielselenofosfatos con acción antifúngica selectiva contra *Phytophthora blight omnivora*", Revista de fitotecnia Mexicana. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 28(002):171-174. ISSN 0187-7380.
- Villa, M. A.; Pérez, L. R.; Morales, M. H. A.; Basurto, S, M.; Soto, P. J. M.; Martínez, E. E. 2015. Current situation of *Fusarium* spp in the control and evaluation of the antifungal activity on vegetables extracts. Acta Agronómica, 64(2), 194-205.
- Whalen, M. M.; Wilson, S.; Gleghorn, C.; Loganathan, B. G. 2003. Brief exposure to triphenyltin produces irreversible inhibition of the cytotoxic function of human natural killer cells. Environmental Research 92:213-220
- Wu, Z.; Sun, S.; Wang, F.; Guo, D. 2011. Establishment of regeneration and transformation system of *Lycopersicon esculentum* Micro tom. Br Biotechnol J 3:53–60.