

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Extractos de *Argemone mexicana* y *Hamelia patens* Para el Control de *Fusarium oxysporum* Schltdl Agente Causal de la Marchitez Vascular del Tomate *Solanum lycopersicum* L.

Por:

ALDO ALEXIS DÍAZ FERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener su título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Extractos de *Argemone mexicana* y *Hamelia patens* Para el Control de *Fusarium oxysporum* Schldl Agente Causal de la Marchitez Vascular del Tomate *Solanum lycopersicum* L.

Por:

ALDO ALEXIS DÍAZ FERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener su título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Epifanio Castro del Ángel
Asesor Principal

Dra. Ma. Elizabeth Galindo Cepeda
Coasesor

Dr. Agustín Hernández Juárez
Coasesor

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2023

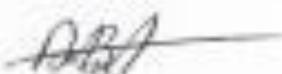
DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta es 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 (autoplagio); 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 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



Aldo Alexis Diaz Fernández

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por las grandes bendiciones y oportunidades, por darme fuerza para seguir adelante y poder cumplir mis sueños.

A mi **ALMA MATER** que tanto amo y llevaré por siempre en mi corazón, por cobijarme, alimentarme y darme todo lo necesario para ser alguien la vida. Gracias por darme enseñanza, conocimiento y por poner grandes personas en mi camino, amigos que ahora son familia y que jamás olvidaré, gracias por enseñarme a valorar y amar a nuestra madre tierra, a la familia, amigos y a la vida.

Al **Dr. Epifanio Castro del Ángel** por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto, por todo su apoyo, conocimiento y consejos que siempre que me ayudaron a salir adelante y a mejorar como persona, por las anécdotas y experiencias con todos los amigos. Gracias por ser un buen Dr. y brindarme su amistad la cual valoro y estimo muchísimo.

Al **Dr. Agustín Hernández Juárez** por proporcionar la cepa del patógeno evaluada en esta investigación, y darnos facilitación al equipo del rotavapor, además por la revisión y los comentarios al escrito.

A la **Dra. Ma. Elizabeth Galindo Cepeda** por la revisión y los comentarios al escrito.

A la **T. A. María Cristina Sánchez Flores** por su apoyo y atenciones brindadas durante la investigación en laboratorio, por tomarse el tiempo en buscarnos el material requerido con tal de no atrasarnos o demorar. Gracias por sus consejos y su bella amistad.

A mis **Amigos de la Mesteño 340** que se volvieron familia y estimo como hermanos, al Calderón-Tamaulipas, Edilberto-Chelix y a Saúl-Guarchi, con quienes compartí un hogar, un plato de comida y con quienes también pasé momentos difíciles, pero siempre estuvimos el uno para el otro, llevo conmigo todas las experiencias los bellos momentos, las anécdotas los viajes, las risas, que marcaron mi vida. A leyver-veneno, Edgar-Chapu, Aldahir Rosales, Dagoberto-Muñeca, Sergio-Japo, Aide-Rosales y Velazco. Siempre los recordaré, gracias familia buitre.

A mis **Amigos** que conocí durante mi estancia en la Narro, Ignacio-Tony, Clarisa Sandoval, Ivette-China, Mauricio Ruiz, Mario Lopez. A quienes agradezco por todos los momentos especiales y experiencias únicas, gracias por haber formado parte de esta historia.

A **Yoselin** mi novia, mi amiga que es una persona especial, quien estuvo para mí cuando más lo necesitaba, gracias por los consejos y los ánimos que me ayudaron mucho para no darme por vencido.

A toda la **familia Ontiveros** por recibirme y brindarme un espacio en su familia, por su apoyo, por su cariño y por los buenos momentos en los cuales me hicieron saber qué familia no solo es de sangre, si no familia es la que está para ti y a pesar de todo puedes contar con ellos. Gracias profe Javier, maestra Maira Garza y maestra Regina Ontiveros.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Socima Fernández Rodríguez y Juan Eleuterio Díaz Hernández, a quienes amo con todo mi corazón, Agradezco todo su apoyo incondicional que me han brindado, por confiar en mí, este logro no solo es mío sino también de ustedes, los admiro y me siento orgulloso de quienes son, por darme valor para seguir adelante, gracias por dedicarme su tiempo, por sacrificar su tiempo sus sueños y sus comodidades por los míos, es cierto que no he sido perfecto ni el mejor hijo, pero si me dieran a elegir, los elegiría mil veces, son mi ejemplo, mi sostén y mi fuerza. Gracias por llenar mi vida de cuidados y de amor.

A mis hermanos:

Mario Alberto, Héctor Manuel y Luis Enrique, a quienes amo y admiro muchísimo, gracias por todo el apoyo brindado por escucharme por estar al pendiente de que nada me faltara, les agradezco eternamente cada detalle de ustedes por creer en mí y ser un ejemplo a seguir.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIAS	VI
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XIV
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Justificación.....	2
1.2.- Objetivos generales.....	2
1.3.- Objetivos específicos.....	2
1.4.- Hipótesis.....	2
2.- REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.- Cultivo de tomate.....	3
2.1.1.- Importancia económica.....	3
2.1.2.- Condiciones agroecológicas del cultivo.....	3
2.1.3.- Problemas fitopatológicos del tomate.....	5
2.2.- Marchitez vascular (<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>).....	7
2.2.1.- Signos y síntomas.....	8
2.2.2.- Agente causal.....	8
2.2.3.- Medidas de prevención.....	11
2.3.- Control biológico.....	12
2.3.1.- Extractos vegetales.....	13
2.3.2.- Metabolitos bioactivos de las plantas.....	13
2.3.3.- Métodos de extracción y caracterización de extractos vegetales.....	14
2.4.- Especies utilizadas en la investigación.....	14

2.4.1.- <i>Hamelia patens</i>	14
2.4.2.- <i>Argemone mexicana</i>	17
3.- MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1.- Ubicación del experimento	19
3.2.- Caracterización morfológica del patógeno	19
3.2.1.- Purificación del fitopatógeno.....	19
3.2.2.- Multiplicación masiva del patógeno	20
3.2.3.- Preparación de la suspensión de conidios.....	20
3.3.- Preparación de los extractos vegetales.....	20
3.3.1.- Efecto inhibitorio de los extractos contra <i>Fusarium oxysporum</i> en laboratorio	21
3.4.- Pasteurización de suelo	21
3.5.- Establecimiento del experimento de invernadero	22
3.5.1.- Producción de plántula	22
3.5.2.- Trasplante y aplicación de los tratamientos	22
3.6.- Parámetros agronómicos evaluados en la investigación.....	23
3.6.1.- Toma de altura y diámetro	23
3.6.2.- Nutrición de la planta	23
3.7.- Parámetros a evaluar	24
3.7.1.- Incidencia y severidad	24
3.7.2.- Pesado de planta en fresco	24
3.7.3.- Lavado y toma de datos de la raíz.....	24
3.7.4.- Frecuencia de aislamiento (triple lavado de raíz)	25
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1.- Caracterización de fitopatógeno.....	26

4.2.- Estudio del efecto inhibitorio <i>in vitro</i> de extractos metanólicos y etanólicos de <i>Argemone mexicana</i> y <i>Hamelia patens</i> sobre el crecimiento y desarrollo de <i>Fusarium oxysporum</i>	26
4.2.1.- Comportamiento del crecimiento micelial de <i>Fusarium oxysporum</i> sobre diferentes tratamientos.....	26
4.2.2.- Inhibición <i>in vitro</i> de extracto metanólico de <i>Argemone mexicana</i> contra <i>Fusarium oxysporum</i>	27
4.2.3.- Inhibición <i>in vitro</i> de extracto etanólico de <i>Argemone mexicana</i> contra <i>Fusarium oxysporum</i>	29
4.2.4.- Inhibición <i>in vitro</i> de extracto metanólico de <i>Hamelia patens</i> contra <i>Fusarium oxysporum</i>	30
4.2.5.- Inhibición <i>in vitro</i> de extracto etanólico de <i>Hamelia patens</i> contra <i>Fusarium oxysporum</i>	31
4.3.- Uso de compuestos fitoquímicos bajo condiciones de invernadero en el cultivo de tomate variedad Río Grande para el control de <i>Fusarium oxysporum</i>	33
4.3.1.- Efecto de control de los extractos sobre la incidencia y severidad de la enfermedad.....	33
4.3.2.- Efecto de los extractos de <i>Argemone mexicana</i> y <i>Hamelia patens</i> sobre la altura y diámetro en plantas de tomate variedad Río grande en invernadero.	34
4.3.3.- Efecto de los extractos de <i>H. patens</i> y <i>A. mexicana</i> sobre el peso fresco de la biomasa.....	35
4.3.4.- Efecto de los extractos de <i>H. patens</i> y <i>A. mexicana</i> en la promoción del peso radicular.	36
4.3.5.- Efecto de los extractos de <i>H. patens</i> y <i>A. mexicana</i> en la promoción del crecimiento de la raíz.....	37

4.3.6.- Efecto de los extractos de <i>H. patens</i> y <i>A. mexicana</i> en la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.....	38
5. CONCLUSIONES	39
6. LITERATURA CITADA	40
ANEXOS	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos y dosis que se utilizó para el desarrollo del experimento.....	22
Cuadro 2. Incidencia y severidad de <i>F. oxysporum</i> en plantas de tomate variedad Río grande evaluadas en distintos tratamientos.	33
Cuadro 3. Resultado de análisis de varianza de la inhibición del extracto metanólico de <i>A. mexicana</i> contra <i>F. oxysporum</i>	54
Cuadro 4. Resultados de análisis de varianza de la inhibición del extracto etanólico de <i>A. mexicana</i> contra <i>F. oxysporum</i>	54
Cuadro 5. Resultados de análisis de varianza de la inhibición del extracto metanólico de <i>H. patens</i> frente a <i>F. oxysporum</i>	55
Cuadro 6. Resultados de análisis de varianza de la inhibición del extracto etanólico de <i>H. patens</i> frente a <i>F. oxysporum</i>	55
Cuadro 7. Resultados de análisis de varianza del peso fresco de la biomasa.	56
Cuadro 8. Resultados de análisis de varianza de la promoción del peso radicular.	56
Cuadro 9. Resultados de análisis de varianza en la promoción del crecimiento de la raíz.	57
Cuadro 10. Resultados de análisis de varianza en la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.	57
Cuadro 11. Resultados de análisis de varianza de la primera toma de datos en altura de las plantas.	58
Cuadro 12. Resultados de análisis de varianza de la primera toma de datos en altura de las plantas.	58
Cuadro 13. Resultado de análisis de varianza de la primera toma de datos en diámetro de plantas.....	59
Cuadro 14. Resultado de análisis de varianza de la segunda toma de datos en diámetro de plantas.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Crecimiento de <i>Fusarium oxysporum</i> en contacto con distintos tratamientos.	27
Fig. 2. Crecimiento de <i>Fusarium oxysporum</i> en contacto con extracto concentrado de <i>Argemone mexicana</i>	28
Fig. 3. Comportamiento de <i>F. oxysporum</i> frente a extracto metanólico de <i>A. mexicana</i> en distintas concentraciones.	28
Fig. 4. Extractos etanólicos de <i>A. mexicana</i> frente a <i>F. oxysporum</i> a 700, 1,400 y 2,100 ppm	29
Fig. 5. Crecimiento micelial de <i>F. oxysporum</i> sobre extracto etanol de <i>A. mexicana</i>	30
Fig. 6. Crecimiento de <i>F. oxysporum</i> sobre extracto metanólico de <i>H. patens</i>	31
Fig. 7. Crecimiento de <i>F. oxysporum</i> sobre extracto etanólico de <i>H. patens</i>	32
Fig. 8. Crecimiento de <i>F. oxysporum</i> sobre extractos de <i>H. patens</i> en etanol y metanol en distintas concentraciones.	32
Fig. 9. Altura y diámetro de tallo de plantas de tomate en distintos tratamientos bajo invernadero.	34
Fig. 10. Peso fresco de la biomasa de plantas de tomate bajo invernadero.	35
Fig. 11. Peso fresco de raíces de plantas de tomate bajo invernadero.....	36
Fig. 12. Longitud radical de plantas de tomate bajo invernadero.	37
Fig. 13. Efecto de extractos etanólicos y metanólicos de <i>A. mexicana</i> y <i>H. patens</i> frente a la supervivencia de <i>F. oxysporum</i> en la raíz.	38
Fig. 14. Conteo de conidias en cámara de Neubauer.	52
Fig. 15. Ajuste de la concentración del fitopatógeno.	52
Fig. 16. Ajuste de las concentraciones de los distintos tratamientos.	52
Fig. 17. Aplicación de los tratamientos a 3 L/Ha antes del trasplante.	52
Fig. 18. Establecimientos del experimento completamente al azar.....	52
Fig. 19. Corte y pesado de la biomasa fresca.	52
Fig. 20. Efecto del extracto metanólico de <i>A. mexicana</i> en el crecimiento radical	53
Fig. 21. Efecto del extracto etanólico de <i>H. patens</i> en el crecimiento radical.	53

Fig. 22. Efecto del producto comercial (ExodusMax) sobre la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.....	53
Fig. 23. Efecto del extracto etanólico de <i>H. patens</i> sobre la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.....	53
Fig. 24. Recuperación del Fitopatógeno	53
Fig. 25. Efecto del extracto etanólico de <i>A. mexicana</i> sobre la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.....	53

RESUMEN

El tomate *Solanum lycopersicum* es una de las hortalizas que más se produce a nivel mundial, sin embargo, su producción se ve limitada por enfermedades causadas por virus, bacterias y hongos, de estos; de los más devastadores en este cultivo es *Fusarium oxysporum* que ocasiona la marchitez vascular del tomate. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de extractos botánicos etanólicos y metanólicos concentrados de *Argemone mexicana* y *Hamelia patens* frente a *F. oxysporum* en tres dosis diferentes 1 L/Ha, 2 L/Ha. y 3 L/Ha. que se obtuvieron utilizando un evaporador rotatorio. El extracto metanólico de *H. patens* a 3 L/Ha. presentó un efecto de inhibición favorable frente al patógeno, sin embargo, el extracto etanólico de *H. patens* bajo invernadero mostró efecto significativo a comparación del resto de los tratamientos al no presentar sintomatología, este mismo efecto fue comprobado al no obtenerse desde la raíz. Además, promovió el crecimiento de altura, diámetro de tallo, peso fresco de biomasa y longitud radical de las plantas. Para detectar diferencia estadística se utilizó el software SAS versión 9.0 y prueba de comparación de medias por el método de Duncan para condiciones de laboratorio y Tukey para condiciones de invernadero.

1.- INTRODUCCIÓN

El tomate *Solanum lycopersicum* es una de las hortalizas que más se consumen en el mundo por su alta demanda (Salazar *et al.*, 2020). Con un consumo per cápita promedio de 20.2 kg (Pérez-Díaz *et al.*, 2020). De todas las exportaciones mundiales, el tomate mexicano corresponde a un 25 % en el mercado internacional, posicionando a México como uno de los líderes mundiales en tomate, siendo este el tercer producto agrícola de exportación en México después de la cerveza y aguacate (Gutiérrez, 2021). Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán y Zacatecas lideran la producción a nivel nacional (SIAP, 2021).

Un factor limitante para la producción del tomate, son las enfermedades causadas por virus, bacterias y hongos (Salas *et al.*, 2022). Uno de los hongos fitopatógenos más devastadores a nivel mundial y nacional es *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol), que ocasiona la marchitez vascular del tomate, llegando a generar grandes pérdidas económicas (Gayosso-Barragán *et al.*, 2021).

En los últimos años, con la ayuda de productos químicos se han mitigado pérdidas, sin embargo, cabe destacar que generan un impacto negativo con efectos indeseados para la salud como toxicidad y daños al medio ambiente (García, 2020). La implementación de biocontroladores es necesaria como una alternativa más sana y eficiente, utilizando opciones más favorables, como el hongo *Trichoderma* spp. son una opción como agente de control biológico gracias a sus mecanismos antagonistas determinados por poseer ciertas características metabólicas y genéticas (Castillo-Sanmiguel *et al.*, 2022).

Por otro lado, los extractos vegetales son utilizados para determinar la actividad fúngica contra el hongo, lo cual ayuda a la planta a generar mecanismos de defensa en presencia de un estrés (Pérez, 2020). Estos productos naturales menos nocivos en la salud humana, animal y vegetal, pueden representar alternativas de manejo fitosanitario, ya que han sido reconocidos por poseer una importante fuente de metabolitos secundarios que pueden utilizarse contra agentes microbianos (Di Liberto, 2021).

1.1.- Justificación

Las principales alternativas que se utilizan para contrarrestar el marchitamiento vascular en tomate son las químicas, por lo que se buscan nuevas alternativas que sean amigables con el medio ambiente.

1.2.- Objetivos generales

Proteger el cultivo de tomate mediante el uso de compuestos fitoquímicos de *Hamelia patens* y *Argemone mexicana* para el control de *Fusarium oxysporum*.

1.3.- Objetivos específicos

1. Caracterizar morfológicamente el fitopatógeno de la marchitez del tomate.
2. Estudiar el efecto inhibitorio *in vitro* de extractos metanólicos y etanólicos de *Argemone mexicana* y *Hamelia patens* sobre el crecimiento y desarrollo de *Fusarium oxysporum*.
3. Evaluar compuestos fitoquímicos bajo condiciones de invernadero en el cultivo de tomate variedad Río Grande para el control de *Fusarium oxysporum*.

1.4.- Hipótesis

Se espera que al menos una de las estrategias de control tenga efecto significativo sobre la marchitez del tomate.

2.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- Cultivo de tomate

El tomate es una planta originaria de América del sur por las zonas de Chile, Ecuador y Colombia, su domesticación dio inicio en la parte sur de México y el norte de Guatemala (Jaramillo *et al.*, 2006). Esta hortaliza es considerada como una de los principales productos de exportación y el séptimo producto de gran importancia a nivel mundial después del maíz, arroz, trigo y papa (Álvarez, 2020). En los últimos años, ha ganado gran popularidad por su particular valor nutritivo como vitamina C, licopeno, betacaroteno y flavonoides (Gerszberg *et al.*, 2015).

2.1.1.- Importancia económica

El tomate *Solanum lycopersicum* es uno de los cultivos más importantes de México y el mundo (SADER, 2022). Con una producción anual de 180.766.329 toneladas, China lidera la mayor producción en el mundo con 62.869.502 t/año, India con 19.007.000 t/año y Turquía el tercer mayor productor con 12.841.990 t/año. Estos tres países juntos producen el 50% del tomate total a nivel mundial (Atlas, 2022).

En el año 2021, México reporto 32 estados productores de tomate en los ciclos de desarrollo primavera-verano, otoño-invierno, con una superficie sembrada de 48,041.88 ha, y un rendimiento promedio de 69.34 t/ha, se obtuvo un volumen de producción total de 3,324,263.09 toneladas. Entre los principales estados productores se encuentran Sinaloa con 677,612.23 ton, San Luis Potosí 440,875.72 ton y Michoacán 283,259.11 ton (SIAP, 2021).

2.1.2.- Condiciones agroecológicas del cultivo

2.1.2.1.- Temperatura

La planta de tomate necesita un periodo de 3 a 4 meses entre su establecimiento y la cosecha del primer fruto, las condiciones óptimas para un buen desarrollo de la planta durante el día oscilan entre 23-25 °C y de 15-17 °C durante la noche, en promedio el cultivo de tomate debe recibir diariamente un mínimo de 8 a 16 horas luz. Temperaturas inferiores a 8 °C y superiores a 30 °C alteran el desarrollo del tomate (Arellano, 2019).

2.1.2.2.- Humedad relativa

Esta varía entre 60 y 80%, humedades relativas muy bajas dificultan la fijación del polen al estigma de flor. Por otro lado, humedades relativas muy elevadas provocan agrietamiento en fruto y favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas (Escalona *et al.*, 2009).

2.1.2.3.- Suelo

Según López (2017) el tomate crece adecuadamente en un pH de 5.0 a 6.8, tolera la acidez y medianamente a la salinidad, los suelos de texturas medias, permeables y sin impedimentos físicos, dan mejores resultados.

2.1.2.4.- Riego

Estos se establecen de acuerdo al clima, suelo y desarrollo del cultivo, cuando se encuentra en desarrollo de raíces se recomiendan riegos de 3 a 4 días, después se realizan riegos semanales hasta la etapa final del cultivo. El trasplante, polinización de la flor y maduración del fruto son unos de los periodos más críticos en riego. Por otro lado, el exceso de agua disminuye la producción y favorece el desarrollo de enfermedades por hongos y ataque de plagas (Castellón, 2019).

2.1.3.- Problemas fitopatológicos del tomate

Este cultivo se enfrenta a una diversidad de factores que afectan en gran medida el rendimiento y la producción. Algunos de los principales factores limitantes son las bacterias, virus y hongos (Roque-Enríquez *et al.*, 2021). Sin embargo, los nematodos fitoparásitos también limitan la producción de tomate, generando pérdidas de hasta un 20% (Salazar-Antón y Guzmán-Hernández, 2013a).

2.1.3.1.- Nematodos

De los principales nematodos que afectan al cultivo de tomate, podemos encontrar géneros como *Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp., *Tylenchorhynchus* sp., y *Helicotylenchus* sp. (Salazar-Antón y Guzmán-Hernández, 2013a).

El género *Meloidogyne* sp. o también conocido como agallador de las raíces, es uno de los nematodos más nocivos en tomate que genera grandes pérdidas económicas (Durán-Mora y Guzmán, 2017). Su capacidad puede reducir hasta un 68% de rendimiento, además de tener una rápida expansión, provoca diferentes grados de achaparramiento en plantas, deficiencias nutricionales y marchitamiento (Salazar-Antón y Guzmán-Hernández, 2013b).

2.1.3.2.- Bacterias

Erwinia carotovora es una de las más comunes y agresivas, causante de la pudrición blanda en tomates, además de ciertas especies como *Pseudomonas* y *Xanthomonas*, con un modo de acción y signos similares a los que causa *Erwinia* (Ruiz *et al.*, 2012). La marchitez bacteriana causada por el fitopatógeno *Ralstonia solanacearum* es otra enfermedad limitante de alto impacto en la producción de tomate, esta bacteria coloniza los haces vasculares de la planta a través de las raíces, ocasionando un empardecimiento del xilema, epinastia foliar y una marchitez generalizada (Zeiss *et al.*, 2019).

Por otro lado, *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* o también conocido como el cancro bacteriano, es una de las principales limitantes en producción de tomate en el mundo. Esta bacteria penetra los tejidos de la planta a través de estomas, heridas o vesículas de la hoja, causando marchitamiento marginal de folíolos, posteriormente aparecen estrías necróticas que se extienden del peciolo hasta unirse con el tallo, finalmente se marchita adquiriendo un color castaño y muere (Borboa *et al.*, 2009).

2.1.3.3.- Virus

Dentro de las enfermedades virales activas con mayor impacto se encuentra el virus rugoso del tomate (ToBRFV) es uno de los patógenos más peligrosos que causan enfermedades en tomate (Davino y Panno, 2019). Este nuevo tobamovirus ocasiona una gran reducción en la cantidad de flores y frutos, mosaico en hojas, provocación de necrosis en el pedúnculo del fruto, además, los frutos presentan un color amarillo o marrón y rugosidad en la superficie (Nolasco-García *et al.*, 2020). Por otro lado, el virus del mosaico del tomate (ToMV) causa retraso en el crecimiento de los tejidos foliares de la planta, apareciendo manchas de color amarillo, el conocido mosaico. Los frutos suelen tener menor tamaño mostrando machas necróticas, lo que provoca una disminución en su valor comercial (Arias, 2016).

El tobamovirus del mosaico moteado del tomate (ToMMV) es uno de los fitopatógenos que han mostrado una rápida propagación a nivel mundial, causando una distorsión, mosaico, moteado y necrosis en las hojas. En frutos se muestra un mosaico de diferentes tonos rojizos, amarillentos o anaranjados, maduraciones irregulares, deformaciones y reducción de frutos (Mut, 2021; Tiberini *et al.*, 2022).

2.1.3.4.- Hongos

Dentro de los hongos fitopatógenos causantes de enfermedades en tomate podemos encontrar *Alternaria solani*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Martínez-Ruiz *et al.*, 2019). Además, *Leveillula taurica* también causa pérdidas sustanciales de rendimiento en cultivo de tomate (Mosquera *et al.*, 2019).

Tizón temprano (*Alternaria solani*) ataca la parte aérea de la planta en cualquier fase de crecimiento, originando lesiones extensas y de color negro en el tallo, además de manchas foliares de un color pardo a negro con un halo amarillo alrededor. Estas se desarrollan en hojas maduras en la parte baja de la planta (Santibáñez *et al.*, 2015).

Cenicilla (*Leveillula taurica*) este hongo afecta principalmente tallos, hojas, flores y frutos causando lesiones que van de un color verde descolorido a un amarillento brillante en la parte superior de las hojas, posteriormente aparece la esporulación polvorienta en la parte inferior de las hojas (Martínez-Ruiz *et al.*, 2016).

Pudrición gris (*Botrytis cinerea*) este fitopatógeno es el segundo de mayor importancia en el tomate (Martínez-Ruiz *et al.*, 2019). Suele inducir lesiones necróticas empapadas de agua de color gris a marrón, afectando el tallo, foliolo, peciolo y en ocasiones toda la planta, incluyendo una pudrición blanda (Arie *et al.*, 2007).

2.2.- Marchitez vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*)

Es una de las principales enfermedades que causa efectos fisiológicos en la planta, así como el déficit hídrico, regulaciones en la conductancia estomática y alteraciones en los contenidos de clorofila y su fluorescencia (Carmona *et al.*, 2020). Como consecuencia de esta enfermedad se puede tener hasta un 100% de pérdida

en la producción de frutos al no realizar estrategias de manejo (García-Jaramillo *et al.*, 2022).

2.2.1.- Signos y síntomas

El síntoma característico de la marchitez se debe a la acumulación de hifas presentes en los vasos de la raíz, liberación de toxinas, geles y formación de tílides. Posteriormente, cuando el patógeno coloniza las raíces y los tallos de la planta, el síntoma se presenta como una pudrición necrótica, afectando las raíces laterales, lo cual acelera el marchitamiento en el follaje (Srinivas *et al.*, 2019), que es más notable después de la floración, cuajamiento de los frutos y durante los periodos más calurosos del día (Vázquez-Ramírez y Cataño-Zapata, 2017).

Los principales síntomas comienzan en las hojas viejas presentando un amarillamiento el cual se extiende en toda la planta, además ocasiona una clorosis que en ocasiones solo se presenta en las hojas de un solo lado de la planta, las más viejas mueren repentinamente al marchitarse, sin embargo, comúnmente muestran epinastia de peciolo, achaparramiento, necrosis marginal de hojas, marchitez de hojas y tallos jóvenes, amarillamiento en las hojas inferiores y defoliación (Gayosso-Barragán *et al.*, 2021).

2.2.2.- Agente causal

Fusarium oxysporum es un hongo cosmopolita y uno de los más comunes del suelo, su comportamiento es de dos tipos; primero puede competir con otros saprofitos obligados, hongos que afectan raíces y segundo este patógeno se comporta en plantas como un importante hongo vascular sobre muchas especies a nivel mundial (Huarhua, 2018).

2.2.2.1.- Taxonomía

SENASICA (2020) reporta la siguiente taxonomía de *Fusarium oxysporum*.

Phylum: Ascomicota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *Fusarium oxysporum* Schldl

2.2.2.2.- Etiología

Fusarium oxysporum f. sp. *lycopersici* se caracteriza por producir macroconidias fusiformes, hialinas, que miden 2.5-3.3 x 3.5-5.5 μ de tamaño, en su mayoría de dos a tres septos, también microconidios que miden 2.5-4 x 6-15 μ de tamaño, son unicelulares hialinos y ovoides, las clamidosporas se forman en micelio más viejo (Maurya *et al.*, 2019). Por otro lado, su crecimiento en medios de cultivo varía ampliamente, el micelio puede ser algodonoso, aéreo o abundante, su color puede varear de blanco y cambiar a rosado durazno, púrpura o morado que se vuelve más intenso, la producción de esporas, microconidios y macroconidias son de un color naranja o violeta pálido, además de esporodoquios pequeños color marrón claro a oscuro (Huarhua, 2018).

2.2.2.3.- Diseminación

Bawa (2016) menciona que, la temperatura óptima de desarrollo del patógeno es de 28 °C, si la temperatura del suelo es óptima, pero la temperatura de aire es inferior a la óptima, el patógeno se extenderá a la parte inferior de la planta y no presentarán síntomas externos, además, el agua de riego, equipo agrícola y movimiento humano alrededor del campo infectado también pueden propagar el hongo.

Los tutores en plantas, semilla, y trasplante de plántulas infectadas son algunas formas por las cuales se disemina el patógeno (Martínez-Ruiz *et al.*, 2016). Además, herramientas y maquinaria que se utilizan en el cultivo, contribuyen al alto porcentaje de locomoción del patógeno de un campo a otro, especialmente cuando los implementos se usan en un campo infectado y se llevan a un campo limpio (Joshi, 2018).

2.2.2.4.- Epidemiología

La progresión de la enfermedad es compleja, el proceso de infección se observa primero en la raíz con síntomas de interacción huésped-patógeno (Salas *et al.*, 2022). El hongo tiene la capacidad de sobrevivir y permanecer en el suelo como propágulos latentes (clamidosporas), cuando estas germinan ante la presencia de la raíz, las hifas se adhieren y el micelio penetra las células corticales, entrando al sistema vascular a través del xilema, una vez dentro se comienza a producir microconidios los cuales se dispersan por toda la planta a través de la savia, infectando hojas, tallos etc. (Srinivas *et al.*, 2019). Por último, exudan toxinas y factores de virulencia provocando la muerte de las plantas (Torres, 2023).

Las condiciones que benefician el desarrollo de la patología son climas cálidos y generalmente suelos arenosos, puede propagarse a temperaturas mayores de 28 °C, la falta de N y P y alta concentración de K aumentan la virulencia, sin embargo,

temperaturas superiores a los 34 °C e inferiores a los 17 °C retarda el crecimiento del patógeno (Martínez-Ruiz *et al.*, 2016).

2.2.2.5.- Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol)

La patogenicidad por este hongo ha evolucionado ocasionando enfermedades vasculares en distintos cultivos, cada raza ha definido estrictamente la especificidad al hospedante (Huarhua, 2018). Hasta ahora se conocen tres razas, la raza 1 fue descrita en 1886 en Inglaterra, la raza 2 se identificó en 1945 en Ohio y la raza 3 fue descrita en Queensland Australia en el año 1978 y fue observada en Estados Unidos y parte de México en 2003 (Hernández *et al.*, 2014).

2.2.3.- Medidas de prevención

La generación de cultivares resistentes es uno de los avances más importantes para el control de la enfermedad (Guerra, 2021). El uso de semilla certificada es una práctica que se utiliza para evitar pérdidas severas en los cultivos a causa de este patógeno, además, las estrategias culturales como la selección del lugar de siembra, evitar suelos con pH ácidos, mal drenaje, texturas livianas pueden implementarse para evitar el contacto inicial con *Fusarium oxysporum* (Delgado, 2019). La rotación de cultivos, especialmente con gramíneas, es muy importante para la reducción del inóculo, por otro lado, el aumento de la temperatura del suelo por medio de la radiación solar y cobertura hermética con plástico, es una de las alternativas físicas de desinfección más ensayadas (Segura y Torres, 2020).

2.2.3.1.- Control químico

El tratamiento de semillas con productos químicos puede eliminar el inóculo del patógeno parcialmente en ellas, pero sin mayor efecto contra el patógeno del suelo (Avendaño *et al.*, 2006). Existen diversos productos químicos que ayudan en gran medida en reducir la incidencia de este patógeno, algunos de estos fungicidas son

como procloraz, bromuconazol, benomyl y carbendazim (Rodríguez, 2020). La utilización de bromuconazole y procloraz aplicados al suelo, son más efectivos en reducir la marchitez vascular, además, el bromuro de metilo combinado con tricloronitrometano es un tratamiento que controla esta y otras enfermedades causadas por patógenos presentes en el suelo, por otro lado, el uso indiscriminado de estos productos puede causar nuevas cepas patogénicas con resistencia y residuos en agua y suelo (Vázquez-Ramírez y Cataño-Zapata, 2017).

El control químico no es satisfactorio del todo, generalmente el patógeno se controla aplicando productos al suelo, lo cual genera riesgos para la salud, el medio ambiente y la seguridad, además, el bromuro de metilo está clasificado como un compuesto que agota la capa de ozono por lo cual se le prohibió su utilización (Ajilogba y Babalola, 2013).

2.3.- Control biológico

El control biológico puede definirse como la acción que tienen los parásitos, depredadores o patógenos sobre otros organismos, manteniendo las poblaciones a niveles más bajos, este concepto fue concedido a inicios del siglo XIX (Guédez *et al.*, 2008). Los sistemas productivos que se expanden e intensifican, fortalecen la existencia de manejos más sustentables y rentables. La sustentabilidad y la protección del medio ambiente van de la mano, esto impulsa la investigación y la búsqueda de alternativas como el control biológico, este método trata de disminuir y anular los impactos de distintas plagas y enfermedades que amenazan a las plantas y suelos (Pérez, 2018).

Este control ofrece mejores alternativas al uso de productos químicos (Ajilogba y Babalola, 2013). A menudo que pasa el tiempo el interés sobre controladores biológicos ha crecido, estos incluyen bacterias como *Pseudomonas fluorescens* y *Burkholderia cepacia* y hongos tales como, *Trichoderma spp.*, *Gliocladium virens*. Estos biocontroladores disminuyen significativamente la marchitez vascular, en

ciertos casos el efecto de este manejo puede ser superior al efecto de los funguicidas, y aún más si estos biocontroladores son combinados, lo que sugiere que la diversidad microbiana es benéfica en el manejo de la enfermedad (Vázquez-Ramírez y Cataño-Zapata, 2017).

Existen reportes para el control de *Fusarium*, como es la inmersión de la raíz de plántulas en suspensiones de *Trichoderma* spp. o *Paenibacillus lentimorbus* antes del trasplante, disminuyendo así la contaminación ambiental y riesgos a la salud (Duarte *et al.*, 2013). Por otro lado, *Pseudomonas fluorescens* tiene gran potencial de degradación de compuestos aromáticos y xenobióticos lo que puede suprimir la enfermedad en las plantas, protegiendo las raíces y semillas (García 2020).

Segura y Torres (2020) mencionan que en un estudio realizado bajo invernadero se demostró que el uso de *Azotobacter* sp., *Bacillus cereus* y *Bacillus megaterium* combinados con ácido húmico puede reducir la marchitez vascular en tomate.

2.3.1.- Extractos vegetales

Los extractos vegetales representan una opción como fuente de productos naturales con características deseables, bioactivos, más seguros y de bajo costo, teniendo poca toxicidad o nula en mamíferos. Las plantas poseen una variedad de sustancias bioactivas que utilizan para protegerse del ataque de otros organismos, estos compuestos pueden utilizarse como insecticida, repelente o funguicida (Rodríguez-Montero *et al.*, 2020; Cruz-Ortiz y Flores-Méndez, 2022).

2.3.2.- Metabolitos bioactivos de las plantas

Los productos derivados de plantas han mostrado un efecto antimicrobiano, algunos de los compuestos que se destacan son los flavonoides, terpenos, aceites esenciales, alcaloides, lectinas y polipéptidos (Lauzardo *et al.*, 2007). Estos son producidos dentro de los órganos vegetales como productos de su metabolismo

secundario, la concentración depende de la parte de la planta, especie, estación, etc. (Ramírez, 2021).

Por otra parte, los mecanismos de acción son variables y se pueden producir diferentes compuestos; la toxicidad de fenoles atribuye a la inhibición enzimática por oxidación de compuestos, en los alcaloides se postula que se intercalan con el ADN, los terpenos y aceites pueden causar rompimiento de la membrana a través de compuestos lipofílicos, las lectinas y polipéptidos causan la inhibición competitiva por adhesión de proteínas microbianas a los polisacáridos receptores del hospedero (Lauzardo *et al.*, 2007; Tucuch-Pérez *et al.*, 2021).

2.3.3.- Métodos de extracción y caracterización de extractos vegetales

La obtención de estos componentes se extrae de raíces, hojas, tallos, flores y frutos, existen diversas técnicas de extracción, algunas de ellas emplean la utilización de distintos solventes de los cuales se pueden obtener extractos acuosos, etanólicos o aceites esenciales, una de estas técnicas es la extracción soxhlet, la cual puede presentar altos rendimientos de extracción y presenta una versatilidad en la separación de componentes por sus características polares. La percolación y el arrastre con vapor son otro tipo de técnicas de extracción (Mesa *et al.*, 2019).

2.4.- Especies utilizadas en la investigación

2.4.1.- *Hamelia patens*

Es un arbusto ornamental el cual es utilizado en la medicina tradicional y se emplea en el tratamiento de procesos inflamatorios, dermatológicos, analgésicos, picaduras de insectos, mordeduras de víbora, asma, cólicos, diabetes, dolor de cabeza, fatiga y debilidad del corazón (Fontanills *et al.*, 2018; Wong *et al.*, 2018).

2.4.1.1.- Clasificación taxonómica

Según Kaushik y Singh (2020) la clasificación se describe de la siguiente manera:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Rubiales

Familia: Rubiaceae

Género: *Hamelia*

Especie: *patens*

2.4.1.2.- Distribución

Este arbusto silvestre es nativo de climas tropicales del continente americano, se puede encontrar en climas cálidos. En México se ha registrado en los estados de Veracruz, Campeche, Chiapas, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Querétaro, Oaxaca, Quintana Roo, Tamaulipas, entre otros (Rugerio, 2018).

2.4.1.3.- Descripción botánica

Es considerado un arbusto muy ramificado con una altura de 1,5 a 2 m, tiene un tallo color café, hojas abundantes simples y opuestas o verticiladas, usualmente tres en el nudo, de margen entero, su haz es de color verde oscuro mientras que su envés es de color verde claro miden de 14 a 20 cm de largo, su nervio central es de

color rojizo, sus flores tienen una corola tubular de color rojo-anaranjado, que miden hasta 2,5 cm de largo, su fruto es globoso o elipsoide de color rojo, sus semillas son color café y presentan estipulas interpeciolares (Carrillo *et al.*, 2004).

2.4.1.4.- Usos

Hamelia patens posee varias bioactividades como antihemorrágica, antioxidante, antihiper glucémica y antibacteriana (Gutiérrez-Sánchez *et al.*, 2022). Esta planta se utiliza para tratar afecciones dérmicas como granos, heridas, llagas, quemaduras, raspones y úlceras, además, se usa en baños para el alivio de las piernas hinchadas y aliviar el reumatismo. Las preparaciones de jugos con hojas de esta planta alivian picaduras de insectos e irritaciones (Escobar y Guzmán, 2021).

2.4.1.4.1.- Reporte de usos en fitopatógenos

Según Sánchez (2022) menciona que se han realizado estudios para observar la actividad antibacteriana de esta planta, elaborando extractos con etanol, presentan buenos resultados de inhibición contra las bacterias *Escherichia coli* y *Salmonella typhi*, además de *Staphylococcus aureus* y *S. epidermidis*, esto se debe por diverso contenido de terpenos, flavonoides, alcaloides, cumarinas, taninos y polifenoles.

Por otro lado, Kanchana *et al.* (2020) reportan que en un estudio realizado con extractos etanólicos de tallo de *Hamelia patens*, demostraron apreciable propiedad antibacteriana frente a *Staphylococcus aureus* y *E. coli*.

Según Rugerio (2018) utilizando tallos y hojas de *H. patens*, evaluó pruebas con extractos metanólicos y acuosos frente a *F. oxysporum*, donde todos los extractos metanólicos representaron mejor efecto inhibitorio en un periodo de 72 h de 49% y 20% favoreciendo la inhibición del crecimiento micelial del hongo, mientras que los extractos acuosos mostraron todo lo contrario al no favorecer la inhibición.

2.4.2.- *Argemone mexicana*

Argemone mexicana es una planta originaria de México, la cual actualmente prevalece como maleza anual, principalmente relacionada con cultivos de importancia económica y ambientes hostiles, en algunas tribus se usaba esta planta para fines étnicos, comúnmente se le conoce también como amapola espinosa mexicana, cardo floreciente, cardosanto, chicalote (Alam y Khan, 2020).

2.4.2.1.- Clasificación taxonómica

Pathak *et al* (2021) describe la taxonomía de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Filo: Angiosperma

Clase: Eudicots

Orden: Ranunculales

Familia: Papaveraceae

Género: *Argemone*

Especie: *mexicana*

2.4.2.2.- Descripción botánica

Es una planta herbácea que mide un aproximado de 120-150 cm de altura, el tallo generalmente espinoso y erguido, de color verde pálido azulado, sus follajes son alternos sin peciolo, cubriendo el tallo, de 15 cm de largo, lobulados con márgenes dentados y espinosos, flores con un diámetro de 2,4 a 4,5 cm, el fruto es una cápsula espinosa de 2 a 4,5 cm de largo y 2 de ancho (Alam y Khan, 2020).

2.4.2.3.- Usos

La producción de polen, extracción de aceite para jabones, son algunos de sus usos, se emplea como antiinflamatorio y posee propiedades antibióticas, también se usa para problemas digestivos, pulmonares y oculares, además tiene capacidades biológicas como antidiarreicos, analgésico, cicatrizante y anticonvulsivo (Elizondo, 2020).

2.4.2.3.1.- Reporte de usos en fitopatógenos

Se ha reportado que esta planta tiene actividad antifúngica tanto en extractos crudos como en componentes químicos aislados, los principales componentes de *Argemone mexicana* que presentan dicha actividad son alcaloides, terpenoides, flavonoides y fenoles. Se conoce que los compuestos fenólicos actúan sobre la membrana celular, pared celular y mitocondrias, esta actividad fúngica se ha reportado para los fitopatógenos como *F. oxysporum* y *R. solani* (Hernández *et al.*, 2022).

Sin embargo, Andleeb *et al.* (2020) menciona que los extractos en distintos solventes como metanol, etanol y cloroformo de *A. mexicana* tiene actividad antifúngica sobre *Aspergillus fumigates* y *Aspergillus niger*. Por otro lado, Hernández *et al.* (2020) evaluaron actividad antifúngica con extractos acuosos de *A. mexicana* a una concentración de 2000 ppm, los resultados mostraron un efecto de inhibición frente a *Sclerotinia sclerotiorum*.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitopatología, ubicado en el Departamento de Parasitología, al igual que en el invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

3.2.- Caracterización morfológica del patógeno

El patógeno fue proporcionado por el Laboratorio de Entomología Molecular y Alternativas de Control de Plagas del Departamento de Parasitología de la UAAAN.

Obtenida la muestra, en la campana de flujo se tomó parte del material infectado para posteriormente realizar siembras en cajas petri previamente preparadas con medio nutritivo Agar Dextrosa y Papa (PDA), una vez realizada la siembra se llevó a la incubadora a una temperatura óptima de 26 °C.

3.2.1.- Purificación del fitopatógeno

Este procedimiento se llevó a cabo con la técnica de cultivos monoconidiales, el cual se utilizaron dos explantes del patógeno y 8 tubos de ensaye con 9 mL de agua destilada estéril, los cuales se llevaron a un vortex para la liberación de conidios, posteriormente se agregaron 150 µL en cajas petri con medio de agar bacteriológico y con una varilla acodada se esparció por toda la caja, finalmente se mantuvo en incubación a 26 °C, después de 24 h se extrajo un solo conidio germinado el cual se llevó a un nuevo medio con PDA.

3.2.2.- Multiplicación masiva del patógeno

En la campana de flujo laminar se realizó un lavado de esporas utilizando agua completamente estéril de 6 tubos de ensaye con 10 mL cada uno, se colocó 1,000 μ L por caja y con ayuda de una espátula se lavó por toda el área, una vez terminado, se agregaron 100 μ L por caja en nuevo medio PDA, obteniéndose 36 cajas las cuales se llevaron a la incubadora a 26 °C hasta su posterior utilización.

3.2.3.- Preparación de la suspensión de conidios

Para calcular la concentración de conidios por mililitro, se dispersaron 10 mL de agua destilada a una caja petri con crecimiento activo del fitopatógeno por toda la superficie y se raspó. Posteriormente, se recuperó la muestra concentrada de cada caja petri y se concentró en un matraz Erlenmeyer de 1000 mL para después ser homogeneizada; se tomó una gota y se colocó en el centro de la cámara de Neubauer, posteriormente se llevó al microscopio utilizando los lentes de 10x y 40x para llevar a cabo el conteo de conidias resultando una concentración de 6.43×10^7 conidios/mL.

3.3.- Preparación de los extractos vegetales

Las plantas utilizadas fueron *A. mexicana* y *H. patens*, las cuales se colectaron en los campos de la UAAAN y en la Huasteca Veracruzana, respectivamente.

En el Laboratorio de Fitopatología, las plantas obtenidas se cortaron separando tallos y hojas, posteriormente se pulverizaron en una licuadora hasta obtener un polvo fino, el cual se mantuvo en frascos de vidrio cubiertos con papel estroza para evitar la entrada de luz.

Para la preparación de extractos se utilizó etanol (Et-OH) y metanol (Met-OH), el cual en matraces de 1000 mL se agregaron 70 g del polvo y 700 mL de solvente,

enseguida se llevaron a una placa termoagitadora donde se mantuvieron en agitación durante 8 días, al cumplir el tiempo indicado se filtraron en papel filtro Whatman número 2, se envasaron y se llevaron a concentrar a un rotavapor. Terminada la filtración se pasaron a un matraz bola el cual se llevó a un evaporador rotatorio (Yamato®) a una temperatura de 82 °C durante aproximadamente 4 horas, al terminar se vertieron en tubos Falcon de 50 mL, los cuales se cubrieron con aluminio, se etiquetaron y se mantuvieron en refrigeración hasta su utilización.

3.3.1.- Efecto inhibitorio de los extractos contra *Fusarium oxysporum* en laboratorio

El efecto inhibitorio se llevó a cabo con extractos etanólicos y metanólicos de *A. mexicana* y *H. patens* donde posteriormente se realizó una mezcla con medio nutritivo PDA.

Para esto se utilizaron matraces de 250 mL, se agregaron 3 g de PDA a 700 mL de agua estéril, en la campana de flujo laminar se realizó una mezcla homogénea y posteriormente se vaciaron en cajas petri. Una vez que los medios solidificaron se realizó una siembra del patógeno realizando pequeños cortes con ayuda de un sacabocados, al terminar la siembra se marcaron, se sellaron y se llevaron a la incubadora a una temperatura de 26 °C, el crecimiento micelial se determinó cada 24 horas a diferentes dosis de 1, 2, 3 L/Ha con sus respectivos tratamientos y repeticiones.

3.4.- Pasteurización de suelo

Se obtuvieron 2 metros cúbicos de suelo donde posteriormente se cribó con ayuda de una pala y una caja con orificios, una vez terminado, se utilizaron bolsas de aproximadamente 4 kg donde se embolsó y enseguida se llevaron a la autoclave a una temperatura de 75 °C durante 35 min. A cada bolsa se le repitió el mismo procedimiento tres veces, dejando un lapso de 24 horas entre cada proceso.

3.5.- Establecimiento del experimento de invernadero

3.5.1.- Producción de plántula

Se utilizó una charola de 200 cavidades y semilla de la variedad Río Grande, se colocó una semilla por cavidad, se mantuvo en condiciones de riego y en observación por un periodo de 45 días antes de su trasplante.

3.5.2.- Trasplante y aplicación de los tratamientos

El suelo previamente pasteurizado se depositó en bolsas tipo maceta color negro No.17 para poder trasplantar. Al centro de la maceta se colocó la plántula del cultivo en estudio y a su vez los tratamientos de la investigación, los cuales se reportan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos y dosis que se utilizó para el desarrollo del experimento

Tratamientos	Descripción	Dosis
F1 (Et-OH-Am)	Extracto etanólico de <i>Argemone mexicana</i>	3L/Ha, 2L/Ha, 1L/Ha
F2 (Met-OH-Am)	Extracto metanólico de <i>Argemone mexicana</i>	3L/Ha, 2L/Ha, 1L/Ha
F3 (Et-OH-Hp)	Extracto etanólico de <i>Hamelia patens</i>	3L/Ha, 2L/Ha, 1L/Ha
F4 (Met-OH-Hp)	Extracto metanólico de <i>Hamelia patens</i>	3L/Ha, 2L/Ha, 1L/Ha
F5 (Químico)	ExodusMax	1L/Ha
F6 (Patógeno)	<i>F. oxysporum</i>	-
F7 (Testigo)	Testigo absoluto	-

Las macetas se llevaron al invernadero de la UAAAN donde se acomodaron utilizando un diseño completamente al azar. La segunda aplicación consistió en 2 L/Ha, 7 días después del trasplante y la tercera a los 14 días a una dosis de 1 L/Ha. El procedimiento se repitió en cada extracto excepto el producto comercial, ya que se aplicó referente a la dosis recomendada por la empresa que consiste en 1 L/Ha.

3.6.- Parámetros agronómicos evaluados en la investigación

3.6.1.- Toma de altura y diámetro

Con ayuda de una cinta métrica y un vernier, se tomaron los datos de altura y diámetro del tallo 20 días después del trasplante, en el caso del diámetro la referencia tomada fue el nivel superior de la bolsa y del mismo punto se tomó la altura hasta las primeras hojas de la planta.

3.6.2.- Nutrición de la planta

El fertilizante orgánico que se utilizó para este experimento fue el producto Acadian, que está elaborado a base de algas marinas, aplicando una dosis de 1.5 L/Ha como lo marca el producto, agregando 400 mL por planta, durante el periodo que se mantuvo el experimento se realizaron 3 aplicaciones repitiendo el mismo procedimiento con un lapso de 7 días entre cada aplicación.

3.7.- Parámetros a evaluar

3.7.1.- Incidencia y severidad

La incidencia se evaluó utilizando la fórmula de Pilaloo *et al.*, (2021).

$$Incidencia = \frac{\text{Numero de plantas enfermas}}{\text{Total de plantas}} (100)$$

En el caso de severidad a cada planta se le realizó una observación utilizando como referencia la tabla de Marlatt *et al.* (1996).

1. Sin síntoma.
2. Clorosis leve, atrofia o marchitamiento.
3. Clorosis moderada, retraso del crecimiento o marchitamiento.
4. Clorosis severa, retraso de crecimiento o marchitamiento.
5. Muerte.

3.7.2.- Pesado de planta en fresco

Con la ayuda de una navaja se cortó el tallo al nivel de la bolsa, se retiró el tutor y se llevaron al laboratorio de fitopatología donde posteriormente con una balanza analítica se pesó cada planta por tratamiento y repetición.

3.7.3.- Lavado y toma de datos de la raíz

Para obtener la raíz se remojó el suelo para evitar daños, se marcaron con su respectivo tratamiento y repetición, posteriormente se llevaron al laboratorio y con una balanza analítica y una regla se tomaron medidas del largo y peso de la raíz.

3.7.4.- Frecuencia de aislamiento (triple lavado de raíz)

Se cortaron pequeños trozos de raíz y se colocaron en cajas petri con su respectivo tratamiento, por otro lado, en vasos de precipitado se agregó hipoclorito al 3% y agua destilada completamente estéril, posteriormente en la campana de flujo laminar se llevó a cabo un triple lavado el cual consistió agregar el hipoclorito durante 3 min, enseguida se lavó con agua estéril durante 1 min repitiendo dos veces, una vez terminado el procedimiento, se colocaron sobre sanitas estériles durante 24 horas para secar y evitar contaminación.

Una vez secas las raíces, se colocaron en 5 de oros sobre cajas petri con medio nutritivo PDA, se llevaron a la incubadora durante 20 días y así poder observar el crecimiento del patógeno.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- Caracterización de fitopatógeno

El hongo fitopatógeno proporcionado por el laboratorio de Entomología Molecular y Alternativas de Control de Plagas fue caracterizado molecular y morfológicamente, el cual presento micelio algodonoso de color variable rosado a violeta pálido dependiendo según su edad, los microconidios de forma ovalada, elíptica, en gran abundancia. Los macronidios contaban de tres a cinco septos y en forma de media luna, las clamidosporas con una apariencia circular lisa de doble pared individualmente o en parejas. Estas características morfológicas corresponden a las descritas por Castro-del Ángel *et al.*, (2019). Por otro lado, Nirmaladevi *et al.* (2016) mencionan semejanzas morfológicas sobre *Fusarium oxysporum* el cual produce tres tipos de esporas, macroconidios, microconidios y clamidosporas.

4.2.- Estudio del efecto inhibitorio *in vitro* de extractos metanólicos y etanólicos de *Argemone mexicana* y *Hamelia patens* sobre el crecimiento y desarrollo de *Fusarium oxysporum*.

4.2.1.- Comportamiento del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* sobre diferentes tratamientos

En la Fig. 1 se reporta el crecimiento diario del patógeno sobre diferentes tratamientos. Se puede observar que todos los tratamientos fueron cercanos al testigo, sin embargo, el producto comercial (ExodusMax) fue el que obtuvo el menor crecimiento micelial de *F. oxysporum*. Al respecto, Juárez-García *et al.* (2020) utilizando extractos etanólicos frescos de *Argemone ochroleuca* obtuvieron resultados significativos en la inhibición de *F. oxysporum*. Utilizando concentraciones de 23 y 31% no obtuvieron crecimiento.

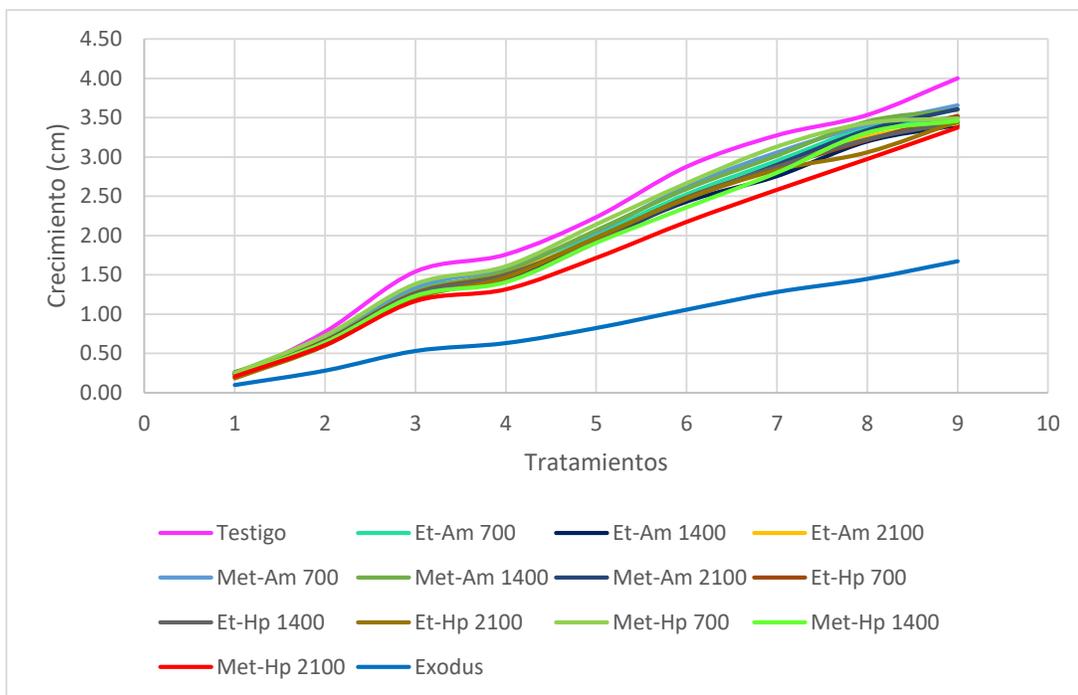


Fig. 1. Crecimiento de *Fusarium oxysporum* en contacto con distintos tratamientos.

4.2.2.- Inhibición *in vitro* de extracto metanólico de *Argemone mexicana* contra *Fusarium oxysporum*.

En la Fig. 2 se puede observar que no hubo diferencia significativa ($p=0.2406$) entre concentraciones, sin embargo, la concentración de 1,400 y 2,100 ppm presentaron mayor efecto de inhibición en comparación a la de 700 ppm. Al respecto, Bojórquez (2017) en un mecanismo Soxhlet, obtuvo extractos de *Argemone mexicana* utilizando tejido de hoja y metanol como solvente a una temperatura de 60 °C por 36 h, el cual no mostro resultados de inhibición contra *F. oxysporum*, *B. cinerea* y *A. solani*. En este mismo contexto, Enyiukwu *et al.* (2013) menciona que los metabolitos secundarios constituyen el armamento de las plantas contra plagas y patógenos, estos complejos se pueden encontrar en extractos acuosos. Por otro lado, en esta investigación se sugiere que al someter los extractos a ciertas temperaturas puede afectar propiedades importantes de los metabolitos, los cuales pueden degradarse y perder un efecto inhibitorio sobre el crecimiento en patógenos.

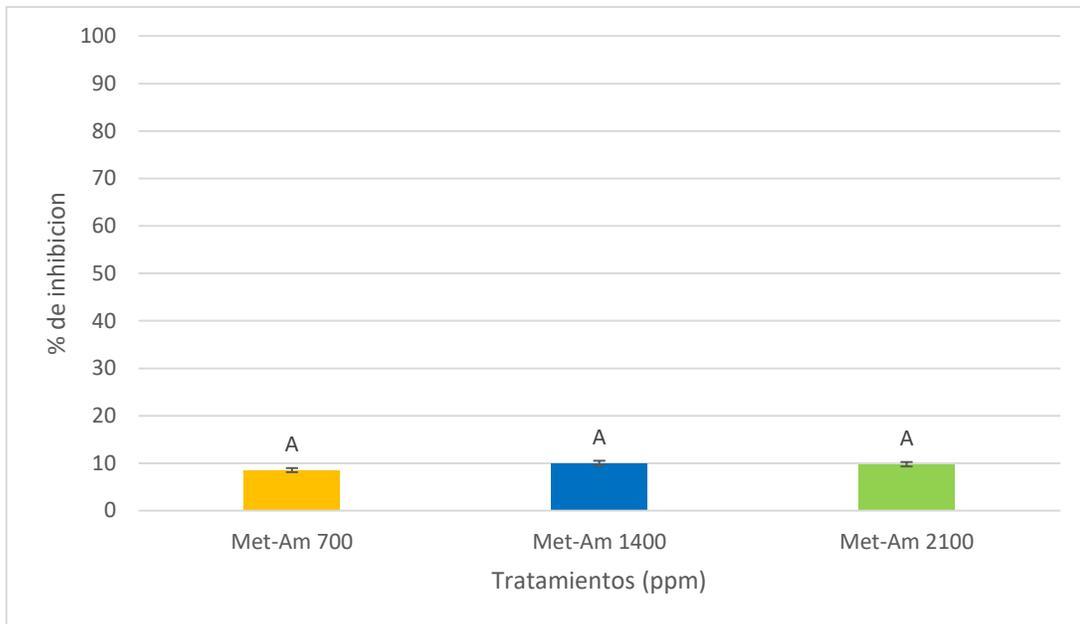


Fig. 2. Crecimiento de *Fusarium oxysporum* en contacto con extracto concentrado de *Argemone mexicana*.

El crecimiento micelial de *F. oxysporum* sobre el extracto metanólico, no muestra diferencia significativa entre los tres tipos de concentraciones, como se aprecia en la Fig. 3. Comparando el testigo con cada concentración no se obtuvo un resultado de inhibición favorable, sin embargo, García-Mateos *et al.* (2021) menciona que extractos metanólicos de *Argemone ochroleuca* a una concentración de 50% se obtiene una efectividad de un 73.8% sobre *Colletotrichum gloeosporioides*.



Fig. 3. Comportamiento de *F. oxysporum* frente a extracto metanólico de *A. mexicana* en distintas concentraciones.

4.2.3.- Inhibición *in vitro* de extracto etanólico de *Argemone mexicana* contra *Fusarium oxysporum*.

Los extractos etanólicos de *A. mexicana* mostraron poco efecto inhibitorio sobre el patógeno. Se puede observar en la Fig. 4 el comportamiento de las concentraciones, de las cuales 1,400 y 2,100 ppm obtuvieron resultados semejantes, siendo la de 700 ppm la más baja de las tres teniendo menos efectividad sobre el crecimiento micelial del patógeno. Por un lado, Zaynab *et al.* (2018) mencionaron que los metabolitos secundarios contienen propiedades antifúngicas tales como compuestos fenólicos y flavonoides que se encuentran presentes en la cutícula y hojas de las frutas y participan en la defensa y resistencia a enfermedades. Sin embargo, Kumari *et al.* (2022) obtuvieron extractos metanólicos de hojas y raíces de *A. mexicana*, los cuales evaluaron frente al crecimiento micelial de *F. oxysporum*, *Candida albicans* y *Macrophomina phaseolina*, resaltando que sobre *F. oxysporum* no se encontró actividad antifúngica en todos los extractos de hojas evaluados.

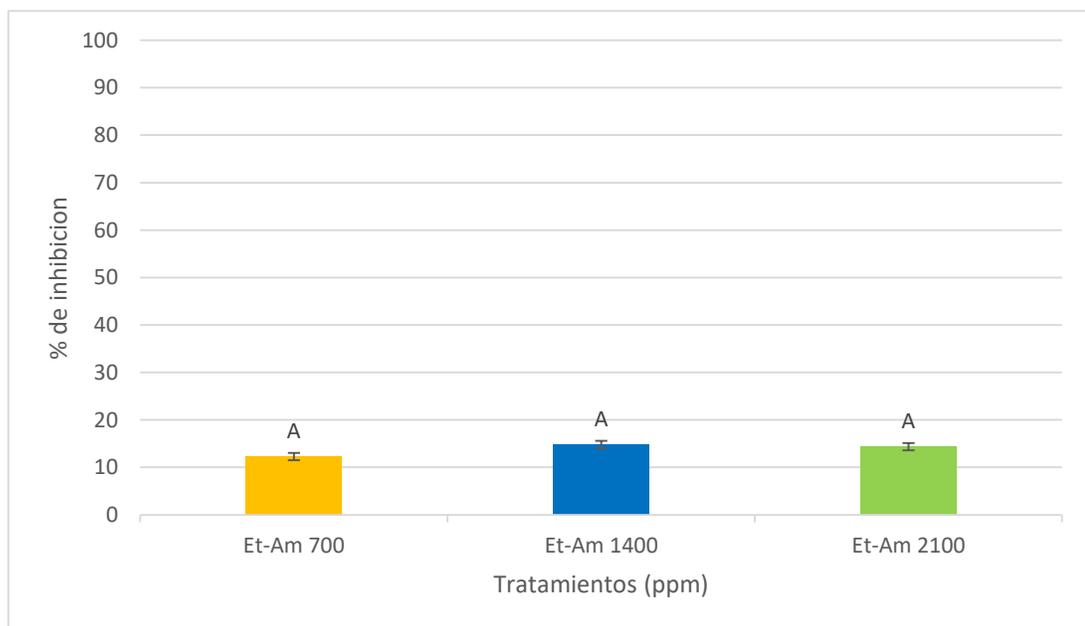


Fig. 4. Extractos etanólicos de *A. mexicana* frente a *F. oxysporum* a 700, 1,400 y 2,100 ppm

Las concentraciones de 1,400 y 2,100 ppm mostraron mínima diferencia en comparación con el testigo y la concentración de 700 ppm, como se muestra en la Fig. 5. El micelio en el testigo se mantuvo de una coloración blanquecina-rojiza hasta el noveno día, mientras que en las demás concentraciones se tornó a un color violeta-oscuro y más algodonoso, presentando un halo en los primeros días de desarrollo del patógeno, sin embargo, la inhibición micelial fue poco proporcional en las tres concentraciones. Al respecto, Cid-Lucero *et al.* (2021) en un presente estudio evaluaron el efecto de extractos acuosos y etanólicos a distintas concentraciones de 10%, 20% y 30% de dos especies del género *Cylindropuntia* sobre el crecimiento micelial de *Fusarium* sp. y *Aspergillus* sp. los resultados no mostraron porcentaje de inhibición, sino que se obtuvo un efecto contrario, promoviendo el crecimiento micelial de ambos patógenos.



Fig. 5. Crecimiento micelial de *F. oxysporum* sobre extracto etanol de *A. mexicana*.

4.2.4.- Inhibición *in vitro* de extracto metanólico de *Hamelia patens* contra *Fusarium oxysporum*.

Los extractos metanolicos de *H. patens* no presentaron diferencia significativa ($p= 0.5043$). Es importante señalar que la concentración de 2,100 ppm obtuvo mejor porcentaje de inhibición en comparación a las de 700 y 1,400 ppm, como se muestra en la Fig. 6. Por otra parte, Rodriguez *et al.* (2022) evaluaron extractos de *H. patens*

contra *R. solani* a distintas concentraciones siendo las de 700 mg/L y 800 mg/L las más efectivas, obteniendo el mayor porcentaje de inhibición micelial del patógeno.

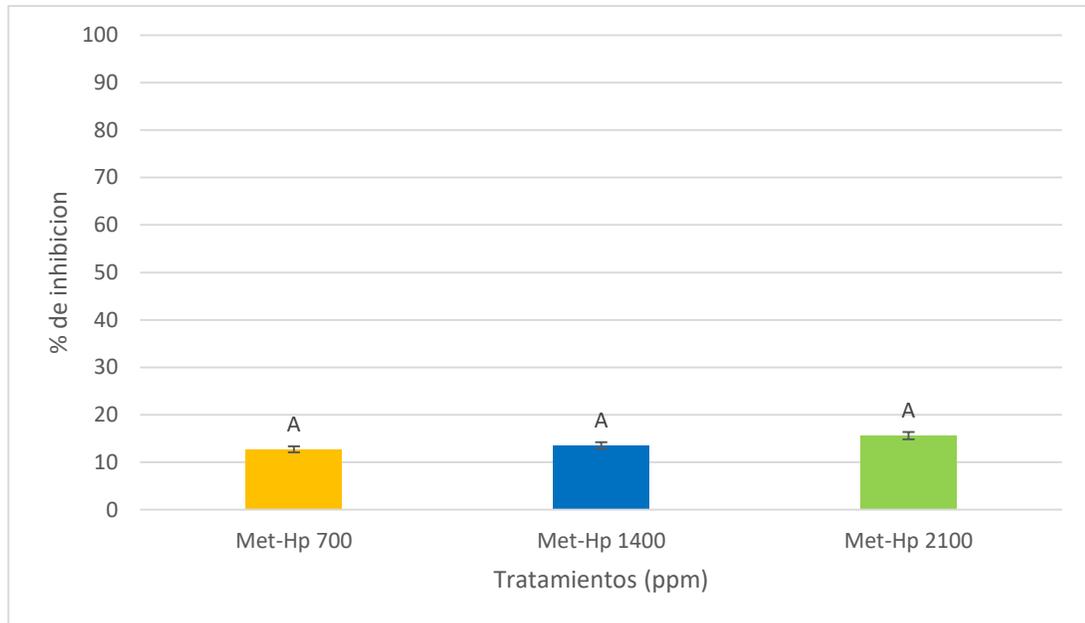


Fig. 6. Crecimiento de *F. oxysporum* sobre extracto metanólico de *H. patens*.

4.2.5.- Inhibición *in vitro* de extracto etanólico de *Hamelia patens* contra *Fusarium oxysporum*.

El extracto etanólico de *H. patens* a diferentes concentraciones no mostró un efecto de inhibición frente al crecimiento micelial de *F. oxysporum*. Por otro lado, Rubio *et al.* (2018) determinaron la composición fitoquímica y la actividad antibacteriana de extractos etanólicos de hojas de *H. patens* contra *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* y *Escherichia coli*. Obteniendo un efecto antibacteriano sobre *S. aureus* y *S. epidermidis*, pero no mostró un efecto de inhibición sobre *E. coli*.

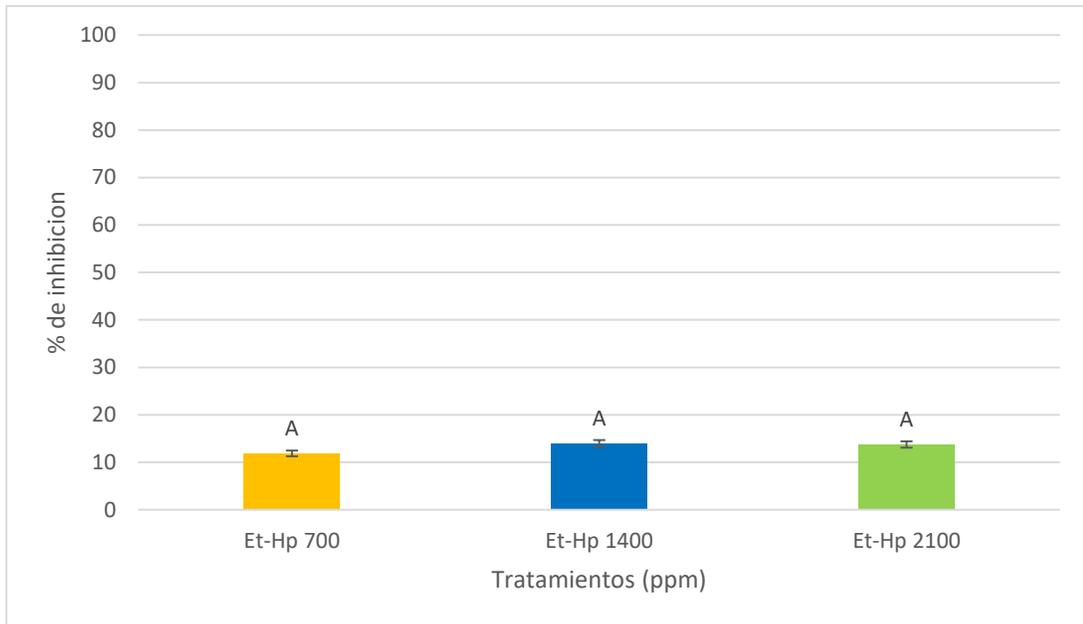


Fig. 7. Crecimiento de *F. oxysporum* sobre extracto etanólico de *H. patens*.

En la Fig. 8. Se muestra el crecimiento micelial de *F. oxysporum* sobre extractos etanólicos y metanólicos de *H. patens* a concentraciones de 700, 1,400 y 2.100 ppm, siendo el extracto metanólico en la más alta concentración la que demostró más efectividad contra el patógeno, inhibiendo 15.63% después el extracto etanólico a 1,400 ppm inhibiendo 13.96%.

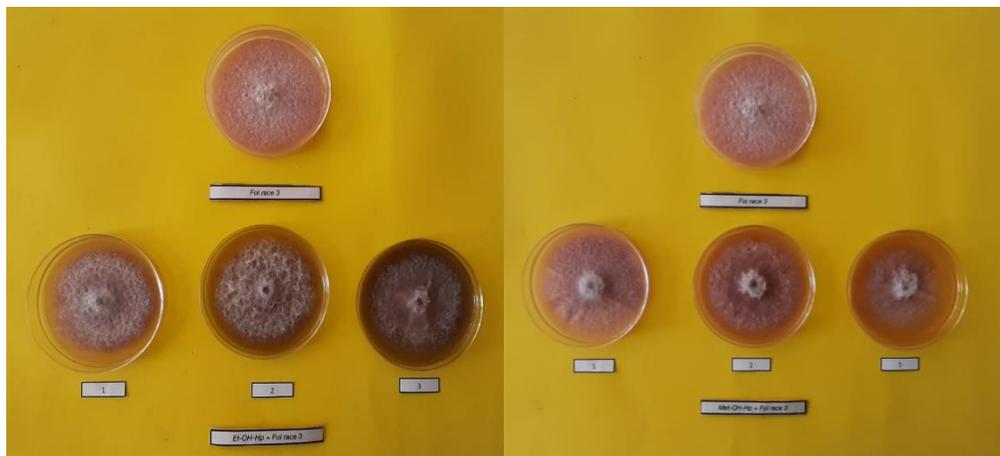


Fig. 8. Crecimiento de *F. oxysporum* sobre extractos de *H. patens* en etanol y metanol en distintas concentraciones.

4.3.- Uso de compuestos fitoquímicos bajo condiciones de invernadero en el cultivo de tomate variedad Río Grande para el control de *Fusarium oxysporum*.

4.3.1.- Efecto de control de los extractos sobre la incidencia y severidad de la enfermedad

En los distintos tratamientos se observó una diferencia de incidencia y severidad en comparación al testigo, *F. oxysporum* se ubicó en la clase número (3) de la escala de Marlatt *et al.* (1996) con clorosis moderada y marchitamiento y un 100% de incidencia, siendo este el más alto de todos. Por otro lado, el extracto etanólico de *H. patens* demostró control favorable frente al patógeno, no presentando síntoma como se muestra en el Cuadro. 2. Es importante mencionar que el extracto metanólico de *H. patens* tuvo semejanza con el tratamiento de ExodusMax, ubicados en el número (2) mostrando una clorosis leve. Al respecto, Rivera-Solís *et al.* (2021) evaluaron el potencial bioestimulante de 17 extractos hidroalcohólicos de *Sargassum* spp. frente a *F. oxysporum*, de los cuales uno de ellos a una concentración de 25% mostro control prometedor sobre la enfermedad con un 17% menos de la severidad respecto al testigo.

Cuadro 2. Incidencia y severidad de *F. oxysporum* en plantas de tomate variedad Río grande evaluadas en distintos tratamientos.

Tratamiento	Incidencia de la enfermedad (%)	Severidad de la enfermedad ¹
F1 Et-OH-Am	83.3	1.8
F2 Met-OH-Am	100	2.0
F3 Et-OH-Hp	0	1.0
F4 Met-OH-Hp	50	1.5
F5 Exodus	66.6	1.7
F6 Fol3	100	3.0
F7 Testigo	0	1.0

¹Escala de Marlatt *et al.* (1996).

4.3.2.- Efecto de los extractos de *Argemone mexicana* y *Hamelia patens* sobre la altura y diámetro en plantas de tomate variedad Río grande en invernadero.

En la Fig. 9 se muestra el crecimiento de altura y diámetro de tallo de plantas de tomate en distintos tratamientos en comparación al testigo absoluto, siendo este el que destacó por encima de todos en diámetro, como se observa en la (Fig.9 B). El extracto etanólico de *H. patens* evidenció un efecto estimulante a comparación de los demás, tanto en altura como diámetro. Así mismo, se puede mencionar que el extracto metanólico de *H. patens* mostró diferencia frente al producto comercial Exodus y el extracto metanólico de *A. mexicana*. Al respecto, Rodríguez *et al.* (2020) menciona que se han identificado especies con un alto contenido de polifenoles y actividad antioxidante que pueden ser utilizados como promotores de crecimiento, en su ensayo evaluaron el efecto de extractos metanólicos de *Rhus muelleri*, *Rhus trilobata* y *Flourensia microphylla* como promotores de crecimiento y calidad de fruto en plantas de tomate saladette, siendo el extracto *R. muelleri* el que mostró mayor efectividad en promover el crecimiento y producción de fruto.

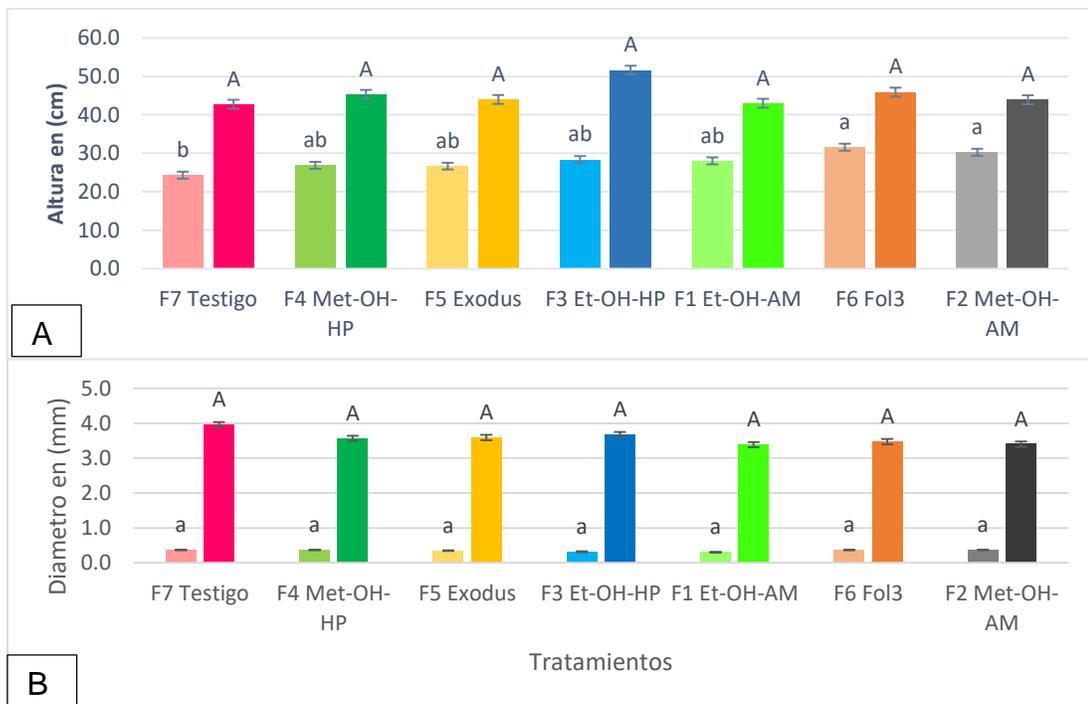


Fig. 9. Altura y diámetro de tallo de plantas de tomate en distintos tratamientos bajo invernadero.

4.3.3.- Efecto de los extractos de *H. patens* y *A. mexicana* sobre el peso fresco de la biomasa.

El peso de la biomasa fresca de los tratamientos mostró una diferencia significativa ($p=0.0013$) siendo el extracto etanólico de *H. patens* el cual presentó una diferencia promedio en peso frente a los demás tratamientos. Por otro lado, Jang y Kuk (2019) determinaron efectos de promoción del crecimiento de la lechuga con extractos de agua, agua hervida, fermentación y etanol a partir de 31 materiales agrícolas, los extractos más efectivos que obtuvieron fueron de agua y agua hervida a base de *Allium tuberosum* y de soja (cvs. Daewon y Haepum), además de etanólicos de soja. Estos indujeron un aumento del 31-45% en el peso fresco de los brotes de lechuga.

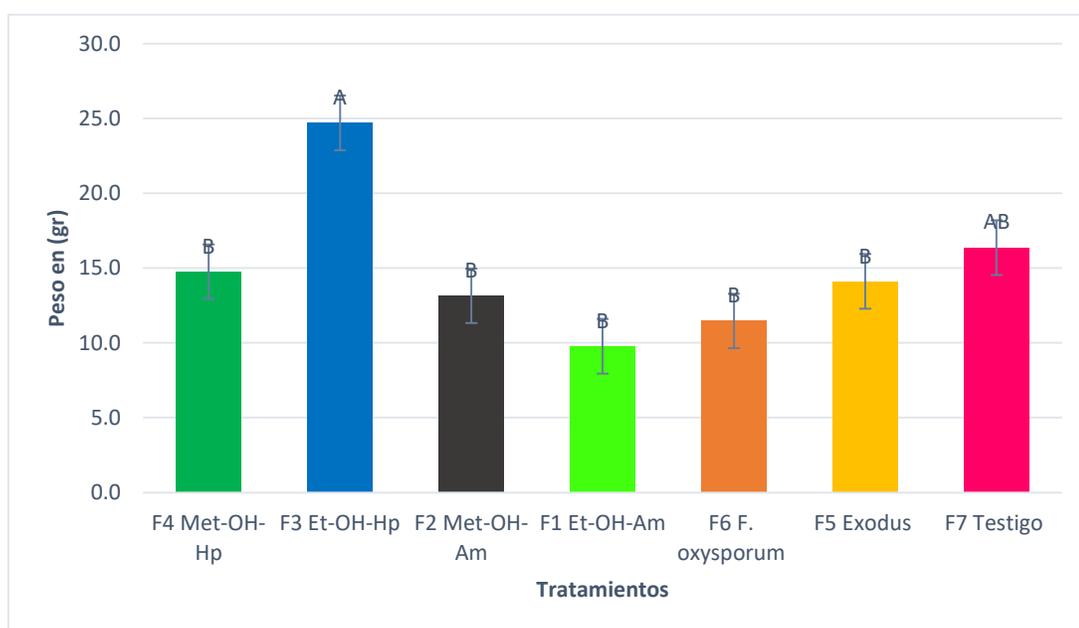


Fig. 10. Peso fresco de la biomasa de plantas de tomate bajo invernadero.

4.3.4.- Efecto de los extractos de *H. patens* y *A. mexicana* en la promoción del peso radicular.

En la Fig. 11 se muestra el peso radicular de las plantas, siendo el extracto etanólico de *H. patens* y el testigo los que obtuvieron una semejanza junto con el extracto etanólico de *A. mexicana*, sin embargo, el producto comercial fue el que presentó menor peso de la raíz. Por otro lado, López-Padrón *et al.* (2020) menciona que la utilización de algas ofrece gran beneficio, estimulando el crecimiento y rendimiento de los cultivos, además, favorecen la actividad microbiana del suelo y mejoran la absorción de nutrientes por las raíces. Al respecto, Mendoza-Morales *et al.* (2019) analizaron el efecto de extractos acuosos de dos macroalgas *Sargassum vulgare* y *Ulva fasciata* como bioestimulantes del crecimiento de plántulas de *Lens esculenta*. Lo cual evidenció que el empleo de éstos a bajas concentraciones obtuvo un incremento en el desarrollo de brote con respecto a la raíz.

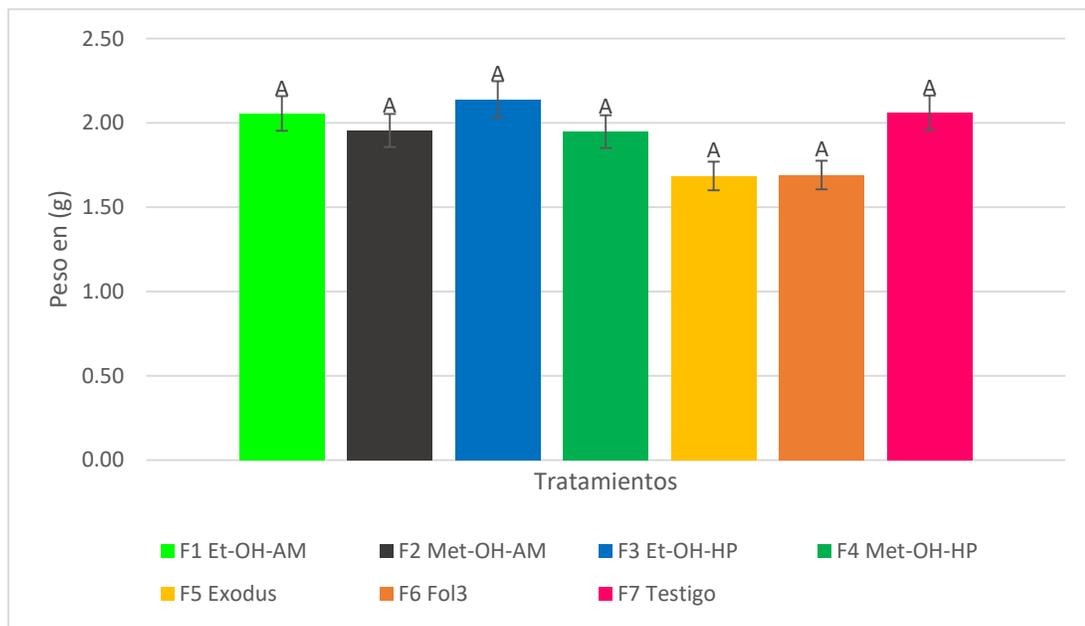


Fig. 11. Peso fresco de raíces de plantas de tomate bajo invernadero

4.3.5.- Efecto de los extractos de *H. patens* y *A. mexicana* en la promoción del crecimiento de la raíz

Los extractos mostraron diferencia significativa en el crecimiento radicular frente al testigo, como se muestra en la Fig. 12, siendo el extracto etanólico de *H. patens* el que mostró 49% más crecimiento, de igual forma el extracto etanólico de *A. mexicana* con 41% y el extracto metanólico de *H. patens* con 39% más sobre el crecimiento del testigo. Por otro lado, Sariñana-Aldaco *et al.* (2021) evaluaron extractos hidroalcohólicos de *Sargassum* spp. al 1.5% más dos tratamientos de control, agua destilada y un producto comercial sobre el crecimiento y compuestos antioxidantes de plántulas de tomate, dónde el extracto de *Sargassum* spp. extraído durante 30 min a una temperatura de 160 °C y 50% de etanol, fue el que presentó resultados prometedores al aumentar la altura, diámetro de tallo, materia fresca y seca total de plántulas de tomate con 8.67, 32.32, 25.03 y 11.59% respectivamente en comparación con el tratamiento de agua destilada.

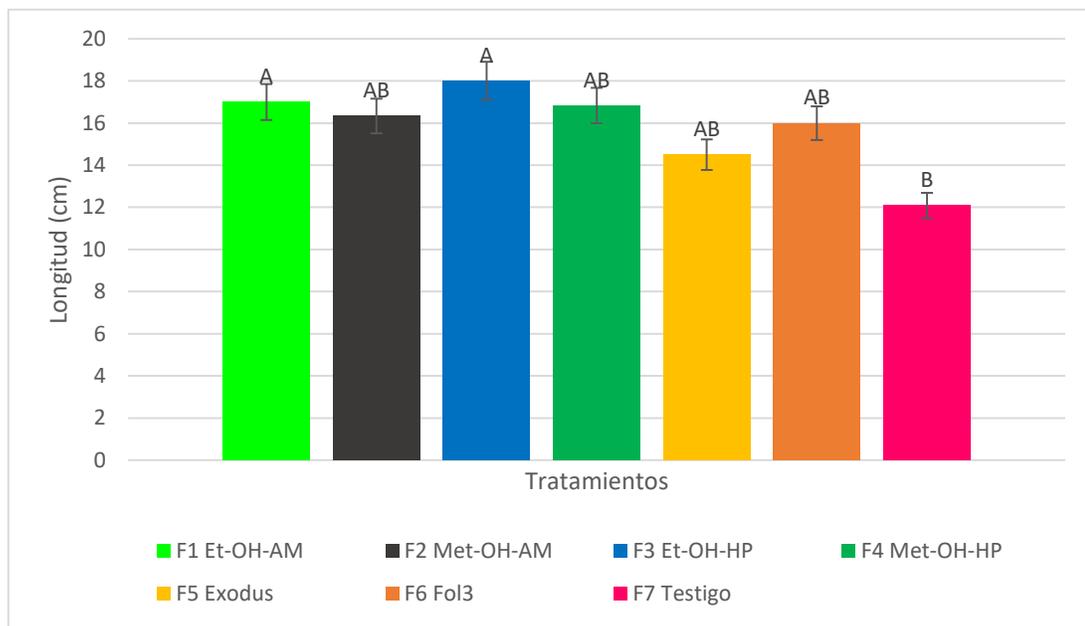


Fig. 12. Longitud radical de plantas de tomate bajo invernadero.

4.3.6.- Efecto de los extractos de *H. patens* y *A. mexicana* en la supervivencia del fitopatógeno de la raíz

Después de la recuperación del patógeno desde la raíz se determinó el efecto de los extractos frente a la supervivencia del patógeno, como se puede observar en la Fig. 13. Los extractos etanólicos y metanólicos de *A. mexicana* presentaron un efecto menor en la recuperación del patógeno, le siguieron el extracto metanólico de *H. patens* y el producto comercial (Exodus). Sin embargo, el extracto etanólico de *H. patens* tuvo un efecto de reducción en la presencia del patógeno de la raíz, lo que nos indica que puede funcionar como inductor de resistencia favoreciendo la planta frente a este patógeno. Al respecto, Valencia-Botin *et al.* (2018) evaluaron extractos etanólicos, metanólicos, acuosos, acetónicos y hexánicos de hojas y tallos de *Vitex mollis* contra diferentes bacterias y especies de *Fusarium*, los resultados mostraron que los extractos metanólicos y acuosos de tallo presentaron mayor porcentaje de inhibición contra diferentes tipos de *Fusarium* entre ellos *F. oxysporum lycopersici* hasta 39 y 51%. Por otro lado, en un trabajo realizado por Rodríguez-Castro *et al.* (2020) evaluaron extractos metanólicos de distintas plantas, entre ellas *Larrea tridentata* al 10% frente a *F. oxysporum*, en el cual obtuvieron hasta un 100% de inhibición frente a este patógeno.

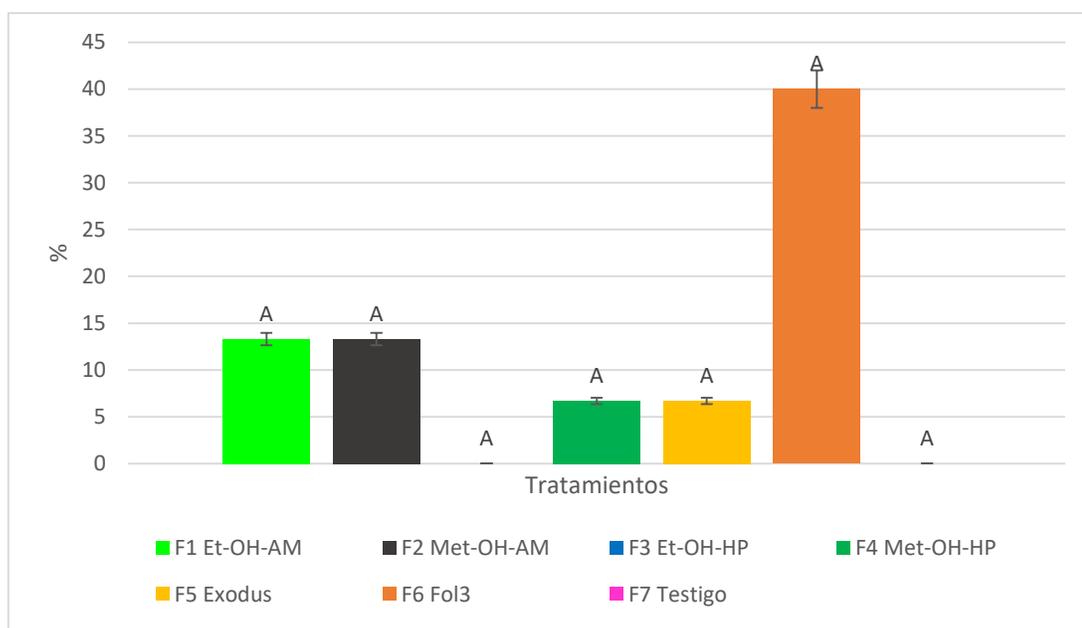


Fig. 13. Efecto de extractos etanólicos y metanólicos de *A. mexicana* y *H. patens* frente a la supervivencia de *F. oxysporum* en la raíz.

5. CONCLUSIONES

Bajo condiciones de laboratorio, el extracto metanólico de *H. patens* presentó un efecto de inhibición favorable frente al crecimiento micelial de *F. oxysporum*, sin embargo, bajo condiciones de invernadero, el extracto etanólico de *H. patens* mostró efecto significativo a comparación del resto de los tratamientos en el crecimiento de altura, diámetro de tallo, peso fresco de la biomasa, longitud radical y en la supervivencia del fitopatógeno de la raíz. Podemos indicar que el extracto actuó como un inductor de resistencia, favoreciendo a la planta en sus mecanismos de defensas, sin embargo, falta estudio enzimático para determinar la acción y metabolitos secundarios que promueve el extracto de esta planta.

6. LITERATURA CITADA

- Ajilogba, C. F., & Babalola, O. O. (2013). Integrated management strategies for tomato *Fusarium* wilt. *Biocontrol science*, 18(3), 117-127.
- Alam, A., & Khan, A. A. (2020). *Argemone mexicana* L.: A weed with versatile medicinal and pharmacological applications. *Annals of Phytomedicine: International Journal*, 9(1), 218-223.
- Álvarez, T. B. G. (2020). Sobreexpresión de diversos factores de transcripción pertenecientes a la familia *ap2/erf* en plantas transgénicas de tomate y su efecto en la tolerancia al estrés biótico y abiótico.
- Andleeb, S., Alsahme, A., Al-Zaqri, N., Warad, I., Alkahtani, J., & Bukhari, S. M. (2020). *In-vitro* antibacterial and antifungal properties of the organic solvent extract of *Argemone mexicana* L. *Journal of King Saud University-Science*, 32(3), 2053-2058.
- Arellano, J. C. B. (2019). Efecto de las condiciones ambientales en la dinámica de absorción de CO₂ en tomate de invernadero.
- Arias, J. M. (2016). Caracterización y secuenciación de un aislado español del virus del mosaico del tomate (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Arie, T., Takahashi, H., Kodama, M., & Teraoka, T. (2007). Tomato as a model plant for plant-pathogen interactions. *Plant Biotechnology*, 24(1), 135-147.
- Atlas (2022). Atlas Big. Producción mundial de tomate por país. <https://www.atlasbig.com/en-us/countries-tomato-production>
- Avendaño, C., Arbeláez, G., & Rondón, G. (2006). Control biológico del marchitamiento vascular causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* en frijol *Phaseolus vulgaris* L., mediante la acción combinada de *Entrophospora colombiana*, *Trichoderma* sp. y *Pseudomonas fluorescens*. *Agronomía colombiana*, 24(1), 62-67.
- Bawa, I. (2016). Management strategies of *Fusarium* wilt disease of tomato incited by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) A Review. *Int. J. Adv. Acad. Res*, 2(5).

- Bojórquez, J. V. (2017). Actividad fungicida *in vitro* de extractos orgánicos contra patógenos del tomate (*Solanum lycopersicum*) (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo).
- Borboa, J. F., Rueda, E. O. P., Acedo, E. F., Ponce, J. F., Cruz, M., Grimaldo, O. J., & García, A. M. O., (2009). Detección de *Clavibacter michiganensis* subespecie *michiganensis* en el tomate del estado de Sonora, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(4), 319-326.
- Carmona, S. L., Villarreal-Navarrete, A., Burbano-David, D., & Soto-Suárez, M. (2020). Cambios fisiológicos y mecanismos genéticos asociados a la marchitez vascular causada por *Fusarium* en tomate: una revisión actualizada. *Temas Agrarios*, 25(2), 166-189.
- Carrillo, M. C., Junco, P. S., & Monge, G. G. (2004). Propiedades medicinales y colecta de germoplasma de la especie *Hamelia patens* en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 17(1), 27-29.
- Castellón, A. M. (2019). Epifitiología de enfermedades y daños en tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú" (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas).
- Castillo-Sanmiguel, P. A., Cortés-Sánchez, L. R., & Acero-Godoy, J. (2022). Molecular aspects of tomato (*Solanum lycopersicum*) vascular wilt by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and antagonism by *Trichoderma* spp. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 40(1).
- Castro del Ángel, E., Hernández Castillo, F. D., Gallegos Morales, G., Ochoa Fuentes, Y. M., & Castillo Reyes, F. (2019). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* with endophytic bacteria formulationst1 and its effect in the growth promotion in bean crop. *Revista bio ciencias*, 6, e416. Epub 18 de marzo de 2020. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e416>
- Cid-Lucero, A., González-Fernández, R., & Galán, J. V. (2020). Efecto promotor del crecimiento micelial de *Fusarium* sp. y *Aspergillus* sp. en condiciones *in vitro* de extractos acuosos y etanólico de dos especies de *Cylindropuntia*. *Tecnociencia Chihuahua*, 14(3), 641-641.

- Cruz-Ortiz, L., & Flores-Méndez, M. (2022). Avances en el desarrollo de nuevos herbicidas biológicos a partir de extractos vegetales fitotóxicos aplicados in vitro. *Informador Técnico*, 86(1), 34-45.
- Davino, S., & Panno, S. (2019). Tomato brown rugose fruit virus. Una nueva amenaza para el tomate en Europa. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (314), 124-129.
- Delgado, L. D. M. (2019). Evaluación de inducción de resistencia en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con silicio y antagonismo de *Trichoderma viride* contra la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* f. sp *lycopersici*.
- Di Liberto, M. G. (2021). Búsqueda de biofungicidas pos-cosecha a partir de fuentes vegetales autóctonas, aplicables a naranjas, frutillas y duraznos.
- Duarte, Y., Pino, O., & Martínez, B. (2013). Efecto de cuatro aceites esenciales sobre *Fusarium* spp. *Revista de Protección Vegetal*, 28(3), 232-235.
- Durán-Mora, J., & Guzmán, T. (2017). Comportamiento de nematodos fitoparásitos en dos sistemas de cultivo de tomate convencional en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(3), 59-70.
- Elizondo, J. H. L. (2020). Evaluación, identificación y caracterización de fracciones con actividad antiparasitaria de *Argemone mexicana* (L) y *Kalanchoe daigremontiana* (Hamet & H. Perrier)" (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- Enyiukwu D. N., Awurum A. N., Ononuju C. C. and Nwaneri J. A. (2013). Significance of characterization of secondary metabolites from extracts of higher plants in plant disease management. Department of Plant Health Management, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, P. M. B. 7269 Umuahia, Nigeria.
- Escalona, V. C., Alvarado, P. V., Monardes, H. M., Urbina, C. Z., & Martin, A. B. (2009). Requerimientos de Clima y Suelo. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), 13.

- Escobar, J. H. H., Guzmán, O. G. (2021). Influencia del Sangregado (*Croton lechleri*) y Maduro Zapote (*Hamelia patens jacq.*) en la Cicatrización de Porcinos Castrados.
- García, A. V. M. (2020). Aislamiento de (*Fusarium oxysporum* F.) De zonas productoras de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Del guayas y su biocontrol con un antagonista a nivel de laboratorio (Doctoral dissertation, universidad agraria del ecuador).
- García, D. A. N. (2020). Estudio del efecto antagónico de idiolitos bacterianos contra *Rhizopus stolonifer* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Master's thesis).
- García-Jaramillo, D. J., López-Zapata, S. P., Bustamante-Granada, S., López, W. R., Castaño-Zapata, J., & Ceballos-Aguirre, N. (2022). Reacción y rendimiento de microinjertos de tomate (*Solanum* spp.) inoculados con *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen causante del marchitamiento vascular. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(180), 714-729.
- García-Mateos, M. R., Acosta-Ramos, M., Rodríguez-Pérez, E., Vásquez-Sánchez, J., & Hernández-Ramos, L. (2021). Plant extracts for control of *Colletotrichum gloeosporioides in vitro* and flowering period and postharvest stage on *Carica papaya*. *Polibotánica*, (51), 213-228.
- Gayosso-Barragán, O., López-Benítez, A., Marroquín-Morales, J. Á., López-Aguilar, K., Hidalgo-Ramos, D. M., & Chávez-Aguilar, G. (2021). Evaluación de la respuesta de diferentes genotipos de tomate a *Fusarium oxysporum* raza 3. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(3), 409-420.
- Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., Kowalczyk, T., & Kononowicz, A. K. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 120, 881-902.
- Guédez, C., Castillo, C., Cañizales, L., & Olivar, R. (2008). Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *Academia*, 7(13), 50-74.

- Guerra, J. A. S. (2021). Manejo de la enfermedad Marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) en el cultivo de tomate de mesa (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021).
- Gutiérrez, M. F. R. (2021). Guía de exportación de tomate a Estados Unidos. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/5280>
- Gutiérrez-Sánchez, M. D. C., Aguilar-Zárate, P., Michel-Michel, M. R., Ascacio-Valdés, J. A., & Reyes-Munguía, A. (2022). The Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols from Mexican Firecracker (*Hamelia patens* Jacq.): Evaluation of Bioactivities and Identification of Phytochemicals by HPLC-ESI-MS. *Molecules*, 27(24), 8845.
- Hernández, I. S., Juárez, A. M., Campos, R. G. M., Aguirre, G. A., & Hernández, A. D. F. (2022). *Argemone mexicana* contiene metabolitos secundarios que controlan hongos fitopatógenos. *Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 8(15), 6-10. <https://doi.org/10.29057/icap.v8i15.8150>
- Hernández, I. S., Prieto, J. M., Madariaga, A. N., Campos, R. G. M., Jimenez, R. A., & Hernandez, A. D. F. (2020). Actividad biológica in vitro del extracto acuoso de *Argemone mexicana* L. en un hongo fitopatógeno: *Sclerotinia sclerotiorum*. *Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 6(12), 12-14. <https://doi.org/10.29057/icap.v6i12.5925>
- Hernández, R. M., López, A. B., Borrego, F. E., Espinoza, J. V., Sánchez, D. A., Maldonado, I. E. M., & López, L. A. O. (2014). Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en predios tomateros en San Luis Potosí. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(7), 1169-1178.
- Huarhua, M. H. Z. (2018). Razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* aisladas de tomate (*Solanum lycopersicum*) proveniente de Costa Central del Perú.
- Jang, S. J., & Kuk, Y. I. (2019). Growth promotion effects of plant extracts on various leafy vegetable crops. *Horticultural Science and Technology*, 37(3), 322-336.
- Jaramillo Noreña, J., Rodríguez, V. P., Guzmán, M., & Zapata, M. (2006). El cultivo de tomate bajo invernadero.
- Joshi, R. (2018). A review of *Fusarium oxysporum* on its plant interaction and industrial use. *J. Med. Plants Stud*, 6(3), 112-115.

- Juárez-García, R. A., Sanzón-Gómez, D., Ramírez-Santoyo, L. F., Ruiz-Nieto, J. E., & Hernández-Ruíz, J. (2020). Inhibición del crecimiento in vitro de *Fusarium oxysporum* Schltdl., con extracto de *Argemone ochroleuca* Sweet (Papaveraceae). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6(1).
- Kanchana, V., Kumar, G. V., & Shalini, R. V. (2020). Preliminary phytochemical analysis and antibacterial study of crude extract from *Hamelia patens* stems.
- Kumari, S., Sindhu, M., Goel, N., Panghal, M., Singh, S., & Rani, I. (2022). Effect of Extraction Techniques and Evaluation of Antimicrobial Activity of *Argemone mexicana* L. Leaves and Roots Extracts in Different Solvents. *Journal of Scientific Research and Reports*, 28(6), 37-43.
- Lauzardo, A. N. H., Baños, S. B., & Del Valle, M. G. V. (2007). Prospectiva de extractos vegetales para controlar enfermedades postcosecha hortofrutícolas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(2), 119-123.
- López, L. M. M. (2017). Manual técnico del cultivo del tomate *Solanum lycopersicum*. San José, C.R. : INTA.121 p.
- López-Padrón, I., Martínez-González, L., Pérez-Domínguez, G., Reyes-Guerrero, Y., Núñez-Vázquez, M., & Cabrera-Rodríguez, J. A. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura. Una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2).
- Marlatt M. L. J., Correll J. C., Kaufman P., Cooper P. E. (1996) Two genetically distinct populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in the United States. *Plant Diseases* 80: 1336-1342.
- Martínez-Ruiz, F. E., Andrade-Bustamante, G., Aispuro Hernández, E., Hernández-Montiel, L. G., Holguín Peña, R. J., & Rueda-Puente, E. O. (2019). Antisuero vs hongos fitopatógenos en el cultivo de tomate en Sonora, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 873-884.
- Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C. E., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez, C. L. D. T., & Rueda-Puente, E. O. (2016). Hongos fitopatógenos asociados al tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en la zona árida del noroeste de México: la importancia de su diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18).

- Maurya, S., Dubey, S., Kumari, R., & Verma, R. (2019). Management tactics for fusarium wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.): A review. *Management*, 4(5), 1-7.
- Mendoza-Morales, L. T., Mendoza-González, A. C., Mateo-Cid, L. E., & Rodríguez-Dorantes, A. (2019). Analysis of the effect as biostimulants of *Sargassum vulgare* and *Ulva fasciata* extracts on *Lens esculenta* growth. *Mexican Journal of Biotechnology* 4(4):15-28.
- Mesa, V.A.M., Marín, P., Ocampo, O., Calle, J., & Monsalve, Z.. (2019). Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 45(1), 23-30. Recuperado en 08 de febrero de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142019000100023&lng=es&tlng=es.
- Mosquera, S., Chen, L. H., Aegerter, B., Miyao, E., Salvucci, A., Chang, T. C., ... & Stergiopoulos, I. (2019). Cloning of the cytochrome b gene from the tomato powdery mildew fungus *Leveillula taurica* reveals high levels of allelic variation and heteroplasmy for the G143A mutation. *Frontiers in microbiology*, 10, 663.
- Mut Bertomeu, M. (2021). Detección de Tomato Mottle Mosaic virus en semilla comercial de tomate y pimiento.
- Nirmaladevi, D., Venkataramana, M., Srivastava, R. K., Uppalapati, S. R., Gupta, V. K., Yli-Mattila, T., ... & Chandra, N. S. (2016). Molecular phylogeny, pathogenicity and toxigenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Scientific reports*, 6(1), 21367.
- Nolasco-García, L. I., Marín-León, J. L., Ruiz-Nieto, J. E., & Hernández-Ruiz, J. (2020). Identification methods for Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) in México. *Agronomía Mesoamericana*, 31(3), 820-829.
- Pérez, J. A. R. (2020). Extractos Vegetales Y *Beauveria Bassiana* Como Control Biológico En Plantas De Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.).
- Pérez, L. C. (2018). Control biológico, una estrategia tan sostenible como rentable *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 44(2), 4-8. Recuperado en 06

de febrero de 2023, de

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142018000200002&lng=es&tlng=es.

- Pérez-Díaz, F., Arévalo-Galarza, M., Pérez-Flores, L. J., Lobato-Ortiz, R., & Ramírez-Guzmán, M. E. (2020). Crecimiento y características postcosecha de frutos de genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista fitotecnica mexicana*, 43(1), 89-99.
- Pilaloa, W. D., Pérez, D. V., Alvarado, A. A., & Torres, S. S. (2021). Manejo agroecológico de la Moniliasis en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) mediante la utilización de biofungicidas y podas fitosanitarias en el cantón La Troncal. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(15), 70-85.
- Ramírez, N. F. Q. (2021). Formulación de extractos vegetales para el control de enfermedades agrícolas.
- Rivera-Solís, L. L., Rodríguez-Jasso, R. M., Flores-López, M. L., Robledo-Olivo, A., Sandoval-Rangel, A., Sariñana-Aldaco, O., & González-Morales, S. (2021). Extractos de *Sargassum* spp. como inductores de tolerancia a *Fusarium oxysporum* en plántulas de tomate. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(1), 14.
- Rodríguez, A. P. P. (2020). Compatibilidad de fungicidas químicos, biológicos y de origen vegetal sobre el hongo benéfico *Trichoderma harzianum*, controlador de *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate (*Solanum lycopersium*). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/8628>.
- Rodríguez, D. J. D., Alonso-Cuevas, C. F., Rodríguez-García, R., Ramírez, H., Díaz-Jiménez, L., Villarreal-Quintanilla, J. A., & Juárez-Maldonado, A. (2020). Extractos de plantas del semidesierto en la inducción del crecimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(1).
- Rodríguez-Castro, A., Torres-Herrera, S., Domínguez-Calleros, A., Romero-García, A., & Silva-Flores, M. (2020). Extractos vegetales para el control de *Fusarium*

- oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, una alternativa sostenible para la agricultura. Abanico Agroforestal, 2.
- Rodríguez-Montero, L., Berrocal-Jiménez, A., Campos-Rodríguez, R., & Madriz-Martínez, M. (2020). Determinación de la actividad biocida de extractos vegetales para el combate de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Tecnología en Marcha*, 33(3), 117-129.
- Rodríguez-Navarro, M. C., Castro-del Ángel, E., Hernández-Juárez, A., Galindo-Cepeda, M. E., Delgado-Ortiz, J. C. (2022). Actividad Inhibitoria *in vitro* De Extractos De *Hamelia patens* Jacq (*Rubiaceae*) Sobre *Rhizoctonia solani* Kühn (*Ceratobasidiaceae*). Tesis de licenciatura, Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Repositorio institucional.
- Roque-Enríquez, A., Delgado-Ortiz, J. C., Beltrán-Beache, M., Ochoa-Fuentes, Y. M., & Cerna-Chávez, E. (2021). Parámetros agronómicos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado con " *Candidatus Liberibacter solanacearum*" y tratados con fosfitos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(1).
- Rubio, Y. F., Valdivia, A. L. A., Camacho, C. C., Matos, M. T., Sosa, M. D. C., Pérez, Y. H. (2018). Composición fitoquímica y actividad antibacteriana de extractos de hoja de *Hamelia patens* Jacq. *Biotecnología Vegetal* 18(1).
- Rugiero, C. E. (2018). Potencial biológico de *Hamelia patens* Jacq. y *Bouvardia ternifolia* (Cav.) Schldl. en el control de *Fusarium oxysporum* y el tratamiento de diabetes.
- Ruiz, J. M., Vicente, A. A., Montañéz, J. C. S., Rodríguez, R. H., & Aguilar, C. N. G. (2012). Un tesoro percedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel. 54, 42-48.
- SADER. (2022). El jitomate, hortaliza mexicana de importancia mundial. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-jitomate-hortaliza-mexicana-de-importancia-mundial?idiom=es>
- Salas, A. L., Osorio, E., Espinoza, C. A., Rodríguez, R., Segura, M. T. de J., Ramírez, E. N., & Estrada, B. (2022). Principales enfermedades del cultivo

- de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de campo. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4190-4210. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1793
- Salazar, S. A. M., Quintero, J. D. C., & Botello, E. A. D. (2020). Optimización de la prueba de tetrazolio para evaluar la viabilidad en semillas de *Solanum lycopersicum* L. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3 (2020)), 1-12.
- Salazar-Antón, W., & Guzmán-Hernández, T. D. J. (2013a). Nematodos fitoparásitos asociados al tomate en la zona occidental de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 27-36.
- Salazar-Antón, W., & Guzmán-Hernández, T. D. J. (2013b). Efecto de poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento del tomate. *Agronomía mesoamericana*, 24(2), 419-426.
- Sánchez, S. P. (2022). Efecto de extractos de citro geranio (*Pelargonium graveolens*), fosforillo (*Hamelia patens*), ruda (*Ruta graveolens*) y tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre el crecimiento *in vitro* de bacterias fitopatógenas del género *Pactobacterium*, *Pseudomonas* y bacterias promotoras de crecimiento del género *Azospirillum* y *Bacillus*.
- Santibáñez, J. A. M., Sandoval, C. B., & Núñez, F. B. A. (2015). Evaluación de la mezcla de fluopiram y tebuconazole en el control de *Alternaria solani* Y *Alternaria alternata* en tomate industrial (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.).
- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Robledo-Olivo, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Preciado-Rangel, P., & Gonzalez-Morales, S. (2021). Efecto de extractos de *Sargassum* spp. en el crecimiento y antioxidantes de plántulas de tomate. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(2).
- Segura, B. O., & Torres, G. A. G. (2020). Evaluación de planes de manejo de *Fusarium Oxysporum* F. SP en plantas de tomate, bajo condiciones controladas.

- SENASICA. (2020). Ficha Técnica, *Fusarium spp.* (Hypocreales: Nectriaceae) Podredumbre de raíces.
- SIAP. (2021). Tomate rojo (Jitomate). Recuperado el 11 de febrero de 2023, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732608/Jitomate_Mayo.pdf
- Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B & Srivastava, R. K. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity—A review. Saudi journal of biological sciences, 26(7), 1315-1324.
- Tiberini, A., Mangli, A., Taglienti, A., Vučurović, A., Brodarič, J., Ferretti, L., ... & Mehle, N. (2022). Development and Validation of a One-Step Reverse Transcription Real-Time PCR Assay for Simultaneous Detection and Identification of Tomato Mottle Mosaic Virus and Tomato Brown Rugose Fruit Virus. Plants, 11(4), 489.
- Torres, J. A. R. (2023). Actividad antifúngica de actinomicetos marinos y quitosano para el control de *Fusarium solani* en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.).
- Tucuch-Pérez, M. A., Bojórquez-Vega, J. J., Arredondo-Valdes, R., Hernández-Castillo, F. D., & Anguiano-Cabello, J. C. (2021). Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 8(2).
- Valencia-Botin, A. J., Gutiérrez-Lomelí, M., Morales-Del-Rio, J. A., Guerrero-Medina, P. J., Robles-García, M. A., Ruiz-Cruz, S & Toro-Sánchez, C. L. D. (2018). Efecto inhibitorio de extractos de *Vitex mollis* Kunth contra bacterias y especies de *Fusarium* de importancia humana y agrícola. Revista fitotecnia mexicana, 41(4), 353-363.
- Vásquez-Ramírez, L. M., & Castaño-Zapata, J. (2017). Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (SACC.) WC SNYDER & HN HANSEN]: una revisión. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 20(2), 363-374.

- Zaynab, M., Fátima, M., Abbas, S., Sharif, Y., Umair, M., Zafar, MH y Bahadar, K. (2018). Papel de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas frente a patógenos. *Patogénesis microbiana*, 124, 198-202.
- Zeiss, D. R., Mhlongo, M. I., Tugizimana, F., Steenkamp, P. A., & Dubery, I. A. (2019). Metabolomic profiling of the host response of tomato (*Solanum lycopersicum*) following infection by *Ralstonia solanacearum*. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16), 3945.

ANEXOS



Fig. 14. Conteo de conidias en cámara de Neubauer.



Fig. 15. Ajuste de la concentración del fitopatógeno.



Fig. 16. Ajuste de las concentraciones de los distintos tratamientos.



Fig. 17. Aplicación de los tratamientos a 3 L/Ha antes del trasplante.



Fig. 18. Establecimientos del experimento completamente al azar.



Fig. 19. Corte y pesado de la biomasa fresca.



Fig. 20. Efecto del extracto metanólico de *A. mexicana* en el crecimiento radical



Fig. 21. Efecto del extracto etanólico de *H. patens* en el crecimiento radical.



Fig. 22. Efecto del producto comercial (ExodusMax) sobre la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.



Fig. 23. Efecto del extracto etanólico de *H. patens* sobre la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.



Fig. 24. Recuperación del Fitopatógeno

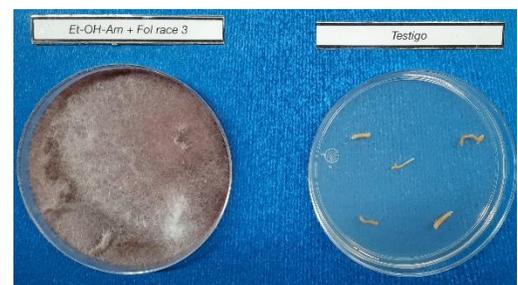


Fig. 25. Efecto del extracto etanólico de *A. mexicana* sobre la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.

ANÁLISIS

Cuadro 3. Resultado de análisis de varianza de la inhibición del extracto metanólico de *A. mexicana* contra *F. oxysporum*.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	3.73820000	1.86910000	0.31	0.7463
Modelo	2	3.73820000	1.86910000	0.31	0.7463
Error	6	36.48760000	6.08126667		
Total correcto	8	40.22580000			

Coefficiente de variación: 26.10468

R-cuadrada = 0.092930

Cuadro 4. Resultados de análisis de varianza de la inhibición del extracto etanólico de *A. mexicana* contra *F. oxysporum*.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	10.76388889	5.38194444	1.82	0.2406
Modelo	2	10.76388889	5.38194444	1.82	0.2406
Error	6	17.70833333	2.95138889		
Total correcto	8	28.47222222			

Coefficiente de variación: 12.43147

R-cuadrada = 0.378049

Cuadro 5. Resultados de análisis de varianza de la inhibición del extracto metanólico de *H. patens* frente a *F. oxysporum*.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	13.54166667	6.770833333	0.77	0.5043
Modelo	2	13.54166667	6.770833333	0.77	0.5043
Error	6	52.82713333	8.80452222		
Total correcto	8	66.36880000			

Coeficiente de variación: 21.25531

R-cuadrada = 0.204037

Cuadro 6. Resultados de análisis de varianza de la inhibición del extracto etanólico de *H. patens* frente a *F. oxysporum*.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	2	7.90486667	3.952433333	0.79	0.4953
Modelo	2	7.90486667	3.952433333	0.79	0.4953
Error	6	29.95213333	4.99202222		
Total correcto	8	37.85700000			

Coeficiente de variación: 16.93066

R-cuadrada = 0.208809

Cuadro 7. Resultados de análisis de varianza del peso fresco de la biomasa.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	6	842.6433333	140.4405556	4.71	0.0013
Modelo	6	842.6433333	140.440556	4.71	0.0013
Error	35	1043.556667	29.815905		
Total correcto	41	1886.200000			

Coeficiente de variación: 36.64694

R-cuadrada = 0.446741

Cuadro 8. Resultados de análisis de varianza de la promoción del peso radicular.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	6	1.17952857	0.19658810	0.23	0.9655
Modelo	6	1.17952857	0.19658810	0.23	0.9655
Error	35	30.40350000	0.86867143		
Total correcto	41	31.58302857			

Coeficiente de variación: 48.18448

R-cuadrada = 0.037347

Cuadro 9. Resultados de análisis de varianza en la promoción del crecimiento de la raíz.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	6	139.0357143	23.1726190	3.22	0.0126
Modelo	6	139.0357143	23.1726190	3.22	0.0126
Error	35	251.8750000	7.1964286		
Total correcto	41	390.9107143			

Coeficiente de variación: 16.95559

R-cuadrada = 0.355671

Cuadro 10. Resultados de análisis de varianza en la supervivencia del fitopatógeno de la raíz.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	6	3390.476190	565.079365	1.85	0.1599
Tratamiento	6	3390.476190	565.079365	1.85	0.1599
Error	14	4266.666667	304.761905		
Total, correcto	20	7657.142857			

Coeficiente de variación: 152.7525

R-cuadrada = 0.442786

Cuadro 11. Resultados de análisis de varianza de la primera toma de datos en altura de las plantas.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	6	207.5833333	34.5972222	3.73	0.0057
Modelo	6	207.5833333	34.5972222	3.73	0.0057
Error	35	324.4166667	9.2690476		
Total correcto	41	532.0000000			

Coeficiente de variación: 10.87325

R-cuadrada = 0.390194

Cuadro 12. Resultados de análisis de varianza de la primera toma de datos en altura de las plantas.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	6	337.6428571	56.2738095	1.65	0.1624
Modelo	6	337.642857	56.273810	1.65	0.1624
Error	35	1192.458333	34.070238		
Total correcto	41	1530.101190			

Coeficiente de variación: 12.90618

R-cuadrada = 0.220667

Cuadro 13. Resultado de análisis de varianza de la primera toma de datos en diámetro de plantas.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	6	0.02809524	0.00468254	2.14	0.0734
Modelo	6	0.02809524	0.00468254	2.14	0.0734
Error	35	0.07666667	0.00219048		
Total correcto	41	0.10476190			

Coefficiente de variación: 13.46374

R-cuadrada = 0.268182

Cuadro 14. Resultado de análisis de varianza de la segunda toma de datos en diámetro de plantas.

Fuente	DF	cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	6	1.40106190	0.23351032	1.54	0.1955
Modelo	6	1.40106190	0.23351032	1.54	0.1955
Error	35	5.32130000	0.15203714		
Total correcto	41	6.72236190			

Coefficiente de variación: 10.89450

R-cuadrada = 0.208418