

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Uso de Bioestimulantes para el Control *in vitro* de *Fusarium oxysporum* y su Efecto
en Plantas de Jitomate

Por:

AGUSTIN TORRES SANCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Uso de Bioestimulantes para el Control *in vitro* de *Fusarium oxysporum* y su Efecto
en Plantas de Jitomate

Por:

AGUSTIN TORRES SANCHEZ

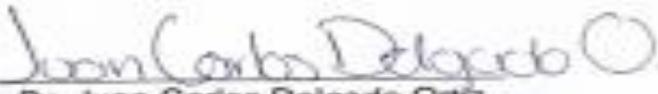
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dra. Yisa María Ochoa Fuentes
Asesor Principal


Dr. Juan Carlos Delgado Ortiz
Asesor Principal Externo


Dra. Mariana Beltrán Beache
Coasesor


Dr. Ernesto Cerna Chávez
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024.

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta academia incorrecta en los siguientes aspectos Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

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

Pasante



Agustín Torres Sánchez

AGREDECIMIENTOS

Estoy totalmente agradecido con la UAAAN, por lo que expreso mi más sincera gratitud a esta institución por el privilegio de haber culminado mis estudios en la mejor universidad de agronomía, siendo la mejor decisión de mi vida ser estudiante de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Al Dr. Juan Carlo Delgado Ortiz le agradezco por brindarme su confianza para realizar este trabajo de tesis, los conocimientos, tiempo, paciencia, apoyo y sobre todo le agradezco por aconsejarme en mi estancia como estudiante universitario.

A mi padre Agustín Torres Espíndola y a mi madre Lorena Sánchez Salazar por cuidarme, apoyarme, aconsejarme, por lo que no tengo las palabras suficientes para agradecerles todo lo que han hecho por mí, porque gracias a ustedes soy alguien en la vida.

Le agradezco a la vida de tener como hermanos a Juan, Cesar y Guadalupe a mis hermanas Edith y Grecia, por lo que me la paso bien cuando estamos todos juntos recordando todas las travesuras que hacíamos juntos, por lo que tuve la mejor infancia estando con ellos.

Le agradezco a mi abuelo Don Lalo y a mi abuelo Belio, por el apoyo que me brindaron y estoy totalmente orgulloso de tenerlos como abuelos.

Le agradezco a mis amigos Alejandro, Arturo, Elihu, Jonás, Guasave, Imanol, Leonardo, Miguel, Mónica, Jesús, Torin, Flavio, Rubén y Yarely, por compartir grandes aventuras y experiencias en las que en todo momento nos divertíamos.

Le agradezco a Dani y Mayra, por contar siempre con su apoyo en los momentos que más las necesite, es por eso que las considero mis mejores amigas, por lo que siempre estere agradecido con ustedes por regalarme su amistad.

DEDICATORIAS

A mi padre: Agustín Torres Espíndola

Quiero agradecerle por haberme dado un hogar donde crecer, aprender y por lo que te agradezco con toda mi sinceridad el apoyo que me has demostrado para cumplir mis metas de la vida.

A mi madre: Lorena Sánchez Salazar

Te agradezco todo lo que has hecho por mí, por lo que con tu amor y consejos me impulsaste para cumplir mis metas de la vida, aun cuando hubo momentos difíciles, siempre tuve su apoyo, gracias por todas las cosas buenas y por todos los años de tu vida que me has dedicado.

A mí hermano: Cesar Torres Sánchez

Tenerte como hermano es un regalo de la vida, gracias por ser un hermano leal, honesto y gracias por todas las aventuras que hemos vivido juntos ya sean buenas o malas, por lo que te agradezco y te deseo todo el éxito del mundo y logres cumplir todas tus metas de la vida.

A mi primo: Ali Torres Rosales

Este logro es de ambos por lo que sigo recordando que me animaste a seguir estudiando y entrar a la UAAAN, por eso te agradezco por darme el mejor consejo de mi vida, por lo que siempre te recordare con las frases que siempre decías (La vida es fácil uno la hace difícil), las promesas tarde o temprano se cumplen.

Contenido

AGREDECIMIENTOS	III
DEDICATORIAS	IV
INDICE DE FIGURAS	VII
INDICE DE TABLAS	VII
TABLA 1. Ingredientes activos implementados en el control de la marchitez vascular	VII
TABLA 2. Tratamientos aplicados en los bioensayos en invernadero.	VII
TABLA 3. Efecto inhibitorio <i>in vitro</i> de los bioestimulantes sobre <i>F. oxysporum</i>.	VII
TABLA 4. Efecto en la esporulación de los bioestimulantes sobre <i>F. oxysporum</i>.	VII
TABLA 5. Estimación de la concentración inhibitoria media de los bioestimulantes evaluadas en el ensayo <i>in vitro</i>.	VII
TABLA 6. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad acumulada de plantas inoculadas con <i>F. oxysporum</i>.	VII
TABLA 7. Variables agronómicas de la evaluación en invernadero.	VII
TABLA 8. Variables agronómicas de la evaluación en invernadero.	VII
INTRODUCCION	2
Justificación	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
REVISION DE LITERATURA	4
Historia del cultivo del tomate	4
Producción mundial del jitomate	5
Producción nacional del jitomate	5
Botánica del tomate	6
Caracteres morfológicos del tomate	6
Taxonomía	7
Principales problemas fitosanitarios del cultivo del jitomate	8
Marchites vascular por <i>F. oxysporum</i>	9
Morfología de <i>F. oxysporum</i>	11
Clasificación taxonómica	11
Sintomatología de <i>F. oxysporum</i> en tomate	12
Epidemiología	12
Estrategias de control de la marchites vascular por <i>F. oxysporum</i>	15

Control biológico.....	15
Control biorracional.....	16
Control genético.....	18
Control químico.....	19
BIOESTIMUANTES.....	20
Ácido salicílico.....	20
Ácido Hexanoico.....	21
Menadiona.....	22
METODOLOGÍA.....	24
Material biológico (cepa <i>F. oxysporum</i>).....	24
Verificación de la Especie.....	24
Evaluación <i>in vitro</i> de inductores de resistencia en <i>Fusarium oxysporum</i>	24
Conteo de esporas.....	25
Diseño experimental.....	26
Evaluación en invernadero.....	26
Producción de plántula.....	26
Inoculación de plantas de tomate con e fitopatógeno.....	26
Aplicación de tratamientos.....	26
Variables a evaluar.....	27
RESULTADOS.....	29
Evaluación del efecto inhibitorio de los bioestimulantes en <i>F. oxysporum</i>	29
Conclusión.....	36
Bibliografía.....	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Producción de jitomate a nivel mundial.

Figura 2 Características macroscópicas y microscópicas de *F. oxysporum*.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1.** Ingredientes activos implementados en el control de la marchitez vascular
- TABLA 2.** Tratamientos aplicados en los bioensayos en invernadero.
- TABLA 3.** Efecto inhibitorio *in vitro* de los bioestimulantes sobre *F. oxysporum*.
- TABLA 4.** Efecto en la esporulación de los bioestimulantes sobre *F. oxysporum*.
- TABLA 5.** Estimación de la concentración inhibitoria media de los bioestimulantes evaluadas en el ensayo *in vitro*.
- TABLA 6.** Área bajo la curva del progreso de la enfermedad acumulada de plantas inoculadas con *F. oxysporum*.
- TABLA 7.** Variables agronómicas de la evaluación en invernadero.
- TABLA 8.** Variables agronómicas de la evaluación en invernadero.

RESUMEN

El jitomate es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial, siendo México es el séptimo productor de jitomate a nivel internacional. Las plagas afectan al cultivo del jitomate, por lo que los productores reinciden el uso excesivo de plaguicidas, por lo que pueden perjudicar a la salud humana y causar problemas al medio ambiente. El marchitamiento vascular causado por *F. oxysporum* es una de las principales enfermedades que afectan al cultivo de jitomate, por lo que se buscan nuevas alternativas para su control por lo que el uso de bioestimulantes se consideran como una alternativa para el control del marchitamiento vascular. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de los bioestimulantes [ácido salicílico (As), ácido hexanoico (AChx) y menadiona (MSB)] en plantas de jitomate para el control de *F. oxysporum*, evaluando la incidencia y severidad de la enfermedad en las plantas. El experimento se desarrolló bajo condiciones *in vitro* y en invernadero. Se evaluó el efecto *in vitro* del As y AChx con concentraciones de 25, 50, 100, 150, 200 y 250 ppm, MBS (100, 200, 250, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm), donde la MSB logro inhibir el crecimiento micelial (14.9-100%) y la esporulación (67.38–85.86%). En los parámetros agronómicos la MSB destaco en altura de planta, peso fresco de la planta, numero de racimos y clorofila total; y en las variables diámetro del tallo, peso fresco de la raíz y longitud de la raíz los compuestos que destacaron fueron la MSB Y el AChx.

Palabras claves: Marchitez vascular, ácido salicílico, ácido hexanoico, MSB, Jitomate.

INTRODUCCION

Los principales países productores de jitomate (*Solanum lycopersicum*), China es el principal país productor, seguido por India, Turquía, Estados Unidos de América y Egipto; México es el séptimo país productor de jitomate por lo que los principales socios comerciales son: Estados Unidos, Canadá, Japón, Guatemala, Uruguay, Emiratos Árabes, Honduras, Costa Rica, Colombia (FAOSTAT, 2024). Los principales estados de México productores de jitomate son Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Jalisco y Morelos (SIAP, 2024). Un factor limitante para su producción son las enfermedades, causadas por virus, nematodos, bacterias, plagas y hongos (Morillo, 2024). Por lo que el marchitamiento vascular causada por *Fusarium oxysporum*, es una de las enfermedades principales en el cultivo de jitomate, se encuentra en el suelo, siendo un fitopatógeno devastador que puede causar pérdidas hasta del 100 % de la producción del cultivo (García *et al.*, 2022). El hongo es un organismo que puede llegar a sobrevivir en restos del cultivo por lo que se mantienen en forma de micelio y en cualquier tipo de esporas, la forma más frecuente en la que se puede encontrar en forma de clamidosporas para infectar cultivos y otros hospederos. Se puede propagar a través de equipos agrícolas contaminados, también se puede propagar a cortas distancias a través del agua y a larga distancia por trasplantes infectados (Leslie y Sumerell., 2006; Agrios., 2004). Los bioestimulantes se consideran sustancias aditivas para fertilizantes, favorecen la absorción de nutrientes, promueven el desarrollo de las plantas y aumenta la tolerancia al estrés abiótico. las características principales que definen a los bioestimulantes de otros agentes de desarrollo y protección de la planta. Por lo que los bioestimulantes pueden ser cualquier sustancia o mezcla de origen natural o microorganismos que mejoran las condiciones de las plantas sin causar problemas en su desarrollo (Magdalena *et al.*, 2019).

Justificación

El marchitamiento vascular causado por *F. oxysporum* es una de las principales enfermedades del jitomate, la cual, ocasiona grandes pérdidas en la producción, por lo que el uso de bioestimulantes es una alternativa para el control de *F. oxysporum*, reduciendo el uso de fungicidas químicos que perjudica la salud y provocan daños en el ambiente.

Objetivo general

Evaluar la efectividad antifúngica de los bioestimulantes en el control de la enfermedad del marchitamiento vascular causada por *F. oxysporum*.

Objetivos específicos

- Evaluación *in vitro* el efecto de los bioestimulantes (AS, AcHx y MBS) para el control de *F. oxysporum*.
- Evaluar la efectividad de bioestimulantes para el control del marchitamiento vascular causado en el cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero.

Hipótesis

Se espera que por lo menos uno de los tratamientos de bioestimulantes evaluados demuestren un control eficiente para *F. oxysporum* de manera *in vitro* y en invernadero.

REVISION DE LITERATURA

Historia del cultivo del tomate

De acuerdo con estudios fitogenéticos de 2024, la planta silvestre del cual surge el tomate domestico se originó en la zona andina. El tomate Cherry (*Solanum lycopersicum*) variedad cerasiforme (Peralta *et al.*, 2006). Su domesticación y diversificación posterior se habría originado en el sureste en el sureste de México hace dos mil seiscientos años dando resultado la variedad *Solanum lycopersicum*, el tomate moderno (Sudesh *et al.*, 2024).

Durante muchos siglos, el tomate ha recorrido grandes distancias convirtiéndose en una de las frutas más populares en todo el continente americano. Es originaria de Perú, donde apareció silvestremente con un fruto redondo de color rojo. Se esparció a lo largo de Sudamérica desde donde continuo su viaje hasta américa central. Hace millones de años lo llamaron xitomatl en el lenguaje náhuatl, que era el idioma que hablaba la nación azteca; fue allí donde fue cultivado, cosechado y mejorado, produciendo una mayor diversidad de frutos. Poco después que colon descubriera al nuevo mundo, el tomate continuo su viaje y ya para mediados del siglo XVI acompañó a los exploradores españoles en su retorno a Europa. En España se le nombro pomo de moro o manzana morisca, fue el primero de muchos nombres. Durante las siguientes décadas, se esparcieron diferentes variedades de tomates por España, Italia y Francia durante su viaje hacia el norte y el este de Europa le tenían desconfianza y a la mejor clasificación que obtuvo por más de un siglo fue la de una planta ornamental (Carol *et al.*, 2006).

Al principio los europeos consideraban al tomate como una planta decorativa o una curiosidad botánica. Se pensaba que era venenosa, unos cuantos siglos después los tomates se producen de forma comercial y se consume en todo el mundo ofreciendo muchos beneficios (Penso, 2022).

Producción mundial del jitomate

La figura 1 muestra la producción mundial de jitomate de los principales países productores para el 2022; siendo China el principal productor de jitomate a nivel mundial con una producción de 68,241,810.69 toneladas; seguido por India, Turquía, Estados Unidos de América y Egipto, estos cinco países aportan el 84.6% de la producción mundial. Siendo México el séptimo país productor de esta fruta, con una producción de 4,207,889 toneladas. Cabe mencionar que México aporta el 25.7% del volumen de exportación a nivel mundial siendo sus principales socios comerciales Estados Unidos, Canadá, Japón, Guatemala, Uruguay, Emiratos Árabes, Honduras, Costa Rica, Colombia (FAOSTAT, 2024).

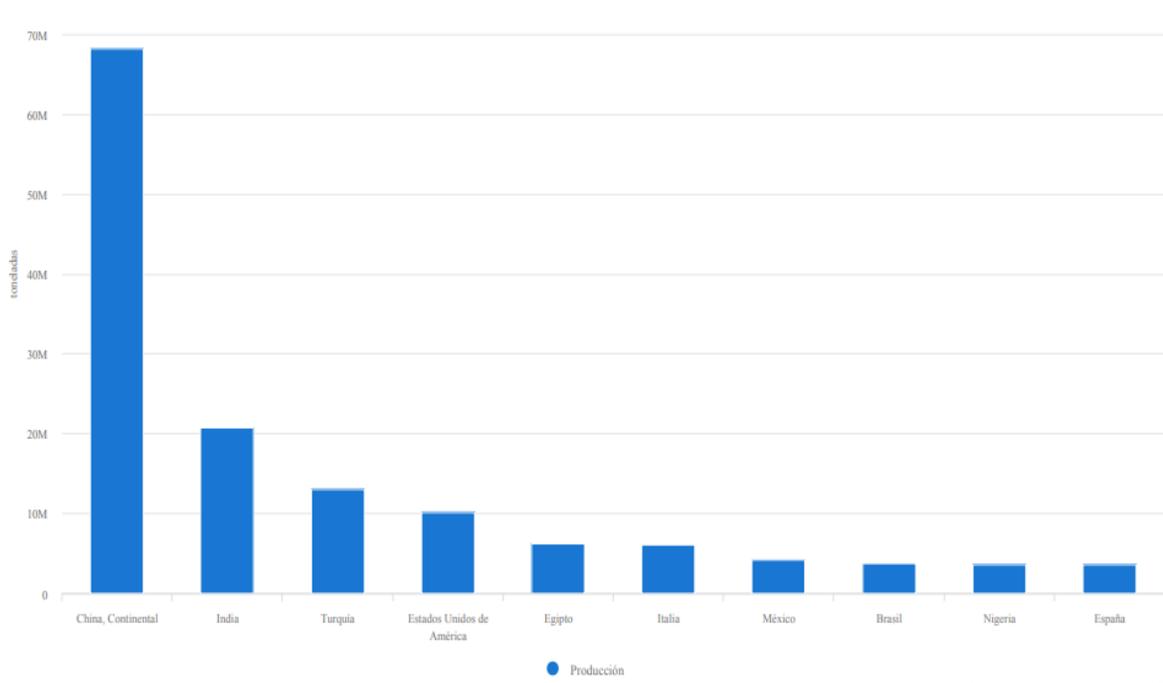


Figura 1. Producción de jitomate a nivel mundial.

Producción nacional del jitomate

México ha logrado posicionarse entre los primeros 10 países con mayor aportación mundial de jitomate, al aportar 3% de la producción mundial. A finales del año 2023, el tomate se posicionó entre los cinco principales productos que generaron más divisas al país, en los meses de enero a marzo de 2024 la exportación de tomate

se mantuvo en acenso, con un 5.4% en comparación un lapso de 2023 (SIAP, 2024).

Para el año 2022 México aportó 4,207,889 toneladas en la producción mundial, siendo Sinaloa el principal productor a nivel nacional con 712,013 toneladas, seguido por San Luis Potosí con una producción de 436,097 toneladas, consecutivamente Michoacán aportó 356,776 toneladas, Jalisco produjo 211,776 toneladas y Morelos participó con una producción de 201,721 toneladas, siendo estos estados los que aportan un 52.7 % de la producción a nivel nacional (SIAP, 2024).

Botánica del tomate

El género *Solanum* es originario de la región andina conformada por Chile, Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia, con lo que en el paso del tiempo fue introducido a México donde fue domesticado. *Solanum lycopersicum* es una hortaliza que pertenece a la familia de las *Solanáceas*. Son plantas herbáceas, dicotiledónea, autógamas, vellosas e inermes, con sistema radicular, presentan tallo, hojas (Pérez *et al.*, 2020).

Caracteres morfológicos del tomate

Raíz: Sistema radicular amplio, se compone de una raíz principal desde la que parten una gran cantidad de ramificaciones, tienden a ser fibrosas con raíces laterales, absorben y transportan nutrientes, en el interior de la raíz presenta epidermis, córtex y cilindro vascular (Murillo y Rodríguez, 2021).

Tallo: El tallo tiene apariencia herbácea de color verde, mide entre 2 y 4 cm de ancho siendo más delgado en la parte superior, en la base tienden a formar raíces, en el tallo principal se forman tallos secundarios, forman hojas, racimos florales (Murillo y Rodríguez *et al.*, 2021).

Hojas: Están formadas foliolos e imparipinnadas, la superficie es vellosa, generalmente se constituyen por foliolos lobulados que también están recubiertas de pequeñas vellosidades, hojas compuestas, borde dentado, glanduloso-pubescente por el haz, posición de las hojas en el tallo semirectas, horizontal o inclinada (Murillo y Rodríguez, 2021).

Flores: Los pétalos, sépalos y estambres se insertan en la base del ovario, el cáliz y la corola constan de cinco o más sépalos y pétalos de color amarillo, que se encuentran dispuestos en forma helicoidal, poseen cinco a seis estambres que se alternan con los pétalos, forman órganos reproductivos, las flores se producen en forma de racimos (Murillo y Rodríguez, 2021).

Fruto: Se trata de una baya globosa de color verde en su estado inmaduro y de color rojo en la maduración. Estas bayas pueden ser lisas o acostilladas, en el interior de la baya se diferencian claramente los lóculos carpelares que pueden variar de 2-30, el fruto está constituido por el pericarpio, el tamaño de los frutos también es variable, desde 3 cm de diámetro hasta 16 cm, el fruto contiene semillas (Murillo y Rodríguez, 2021).

Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum* (Murillo y Rodríguez, 2021).

Principales problemas fitosanitarios del cultivo del jitomate

El cultivo del tomate es una de las principales actividades dentro del sistema productivo hortícola; abasteciendo los principales centros urbanos, locales, regionales y nacionales (Salas *et al.*, 2022). Un factor limitante para su producción son las enfermedades, causadas por virus, nematodos, bacterias, plagas y hongos, pueden propagarse en condiciones de campo abierto y se desarrollan rápidamente cuando el clima es favorable. Los virus son patógenos infecciosos pequeños para ser vistos a simple vista, pero a pesar de su tamaño son capaces de causar daños a los cultivos agrícolas, las principales enfermedades de virus en el cultivo del tomate son el virus bronceado del tomate (TSWV), virus del mosaico (TMV), virus rizado amarillo del tomate (TYLCV), virus de la mancha anular del tabaco (TRSV) (APS 2024).

Los nematodos fitoparásitos son particularmente importantes para la economía mundial ya que en algunas especies causan importantes pérdidas en los cultivos agrícolas por la disminución del rendimiento (Universidad Veracruzana 2024).

A nivel mundial los nematodos fitoparásitos causan pérdidas en los cultivos agrícolas, las especies del género *Meloidogyne*, *Globodera*, *Heterodera*, *Pratylenchus* y *Radopholus* (del Prado-Vera, 2018).

En todo el mundo, las bacterias fitopatógenas causan muchas enfermedades serias (Vidhyasekaran, 2002). Las bacterias como patógenos vegetales pueden causar enfermedades graves y ocasionar pérdidas económicamente, ocasionando manchas en hojas de las plantas, algunas causan distorsión de hojas, fruto, tallos y raíces. Las principales bacterias fitopatógenas que afectan el cultivo del tomate son *Xanthomonas campestris*, *Pectobacterium* spp, *Clavibacter michiganensis*, *Ralstonia solanacearum*, *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas* spp. (Lambrecht, 2004).

En México los productores de solanáceas en cada ciclo se enfrentan a las constante problemática por plagas como son la araña roja (*Tetranychus urticae*), trips de las flores (*Frankliniella occidentalis*), de las cuales destacan los insectos vectores de enfermedades como mosca blanca (*Bemisia tabaci*), paratrioza (*Bactericera*

cockerelli), pulgón verde (*Macrosiphum euphorbiae*), por lo cual provocan daños directos e indirectos, los daños directos causados al cultivo son la deformidad de hojas, amarillamiento, achaparramiento, entrenudos cortos y engrosados y los daños indirectos favorece la incidencia de bacterias y hongos (Alberto et al, 2024).

Las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos representan una de las principales causas de pérdidas económicas en los cultivos agrícolas, el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) es un cultivo muy importante tanto a nivel comercial como a nivel cultural, en México este cultivo se constituye como uno de los principales cultivos de exportación, posicionándose como uno de los principales productos agroalimentario (Quereigua 2024).

Entre las problemáticas que se enfrentan la agricultura, están la creación de condiciones favorables para la rápida propagación de enfermedades aéreas y de suelo, los géneros que se asocian históricamente con importantes pérdidas económicas, debido a su capacidad de generar una amplia gama de enfermedades que afectan a multitud a los cultivos agrícolas, como maíz, trigo, plátano, algodón, tomate entre otros. Los diferentes géneros cuentan con la capacidad de generar problemas en diferentes climas y cultivos, por lo cual las principales enfermedades de hongos fitopatógenos son *Alternaria solana*, *Botrytis cinérea*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora infestan*, *Pythium aphanidermantu* y *Fusarium oxysporum* (Morillo, 2024).

Marchites vascular por *F. oxysporum*

La marchites vascular causado por *F. oxysporum*, es una de las enfermedades principales en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum*), se encuentra en el suelo, siendo un fitopatógeno devastador que puede causar pérdidas hasta del 100 % de la producción del cultivo (García et al., 2022).

F. oxysporum es un fitopatógeno de distribución cosmopolita, por lo cual puede sobrevivir en el suelo como micelio o esporas que pueden germinar en condiciones adecuadas, por lo cual puede permanecer activo a lo largo del tiempo tras las condiciones adversas, lo que permite su distribución por lluvias y viento provocando

que su movilización llegue a múltiples zonas y provoque infectar a otros cultivos, por lo cual se considera un patógeno oportunista, por lo cual es capaz de generar enfermedades en los cultivos de solanáceas, induciendo daños en la raíces y tallos, dificultando y alterando el desarrollo de planta. Por lo cual es una de las principales enfermedades reconocidas que más afectan a los productores agrícolas (Albarracín *et al.*, 2023).

En el año 2014 y 2015 se colectaron muestras de plantas de tomate que presentan síntomas de marchitez, de diferentes localidades geográficas del centro de México (Morelos, Puebla y Tlaxcala). De las cuales, las diferentes especies de *Fusarium* que se identificaron fueron *F. oxysporum*, *F. andiyazi* y *F. circinatum*; *F. andiyazi* produce pseudoclamidosporas, esporodoquios anaranjados sobre CLA. Macroconidias de paredes delgadas, ligeramente curvado a rectos con una célula apical ligeramente curvada, con 3 a 6 septados; los microconidios son clavado a ovoide sin septos. Mientras *F. circinatum* produce macroconidias poco abundantes, relativamente delgada sin curvatura, la célula apical es curvada; las microconidias son abundantes de forma ovoide, ovalada o alantoidea, sin producción de clamidosporas (Isaac *et al.*, 2018; Leslie y Sumerell, 2006).

En el año 2016 se detectaron síntomas poco comunes en cultivos de tomate comerciales del estado de Sinaloa, los cuales provocaron la marchitez y podredumbre del pie causado por *F. falciforme*; el cual presenta las siguientes características morfológicas; los macroconidias son falciformes, hialinos, con tres septos; la presencia de microconidios unicelulares, oblongos, con dos septos o ausentes de septos, los cuales se encuentran en falsas cabezas (Vega-Gutiérrez *et al.*, 2018).

En 2021, en cultivares de tomate en los estados de Zacatecas y Aguascalientes se registraron plantas con síntomas de marchitez vascular donde se asociaron con el

agente causal *F. equiseti* (Beltrán-Beache *et al.*, 2023; Leslie y Sumerell, 2006); siendo que la especie se caracteriza por presentar cadenas de clamidosporas con paredes gruesas, rugosas y marrones (terminales, intercalares y aglomeradas) en el micelio. Los macroconidias con 5 a 7 septos con célula basal en forma de pie, la célula apical es alargada y ligeramente curvada; presentándose en las macroconidias la célula media hinchada. Los esporodoquios son de color naranja a marrón y no producen microconidios (Beltrán-Beache *et al.*, 2023).

Morfología de *F. oxysporum*

F. oxysporum es un hongo que puede producir micelio blanco con pigmentaciones rosadas, adicionalmente puede producir pigmentación naranja, roja y morada que se desarrolla con el tiempo. Produce esporas sexuales y diferentes tipos de esporas asexuales; las cuales son macroconidios que se forman sobre conidióforos ramificados en los esporodoquios que son de color anaranjado, en ocasiones los esporodoquios puede ser escasos o inexistentes, generalmente las macroconidias son abundantes y septadas, longitud corta a media, rectas, ligeramente curvadas, tienen forma canoa o de hoz, son largos, de paredes delgadas, la célula apicales puede ser cónicas y curvadas, en ocasiones con un ligero gancho; mientras la célula basal presenta forma de pie a puntiaguda. Las microconidias son de forma ovalada, elíptica o en forma ovalada o de riñón y septadas, presenta micelio, la producción de microconidias en monofialides cortos es una característica distintiva. Las clamidosporas generalmente se forman solas o en pares, pero también se encuentran como racimos o en cadenas cortas, con hifas y con paredes rugosas y lisas (Leslie y Sumerell, 2006; HA, 2020).

Clasificación taxonómica

A continuación, se muestra la clasificación taxonómica de *F. oxysporum*

Phylum: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *F. oxysporum* (EPPO, 2020).

Sintomatología de *F. oxysporum* en tomate

En las plantas se puede observar un desarrollo anormal, siendo uno de los principales síntomas en detectarse un ligero aclaramiento de las venas en la zona externa de las hojas más jóvenes, siguiendo de epinastia en las hojas más viejas (Sally *et al.*, 2006). Por lo que este síntoma ocurre de un lado de la planta o en los brotes, tornados amarillos y mueren, antes de que la planta termine su madurez. Mientras la enfermedad sigue progresando, el desarrollo suele atrofiarse, por lo que puede causar problemas en el desarrollo del fruto o no pueda producir frutos. En el tallo principal se puede observar líneas de color marrón oscuro, lo que representa un pardeamiento en el sistema vascular; lo anterior es una de las características de la enfermedad y por lo que se puede utilizar como identificación de la enfermedad (Mui-Yun, 2003). El exterior de los tallos afectados se puede ver un desarrollo blanquecino, rosado o de color anaranjado causados por el patógeno (Ajigbola y Bbalola, 2013).

Epidemiología

El marchitamiento vascular causado por *F. oxysporum* es una de las principales enfermedades más prevalentes y dañinas del jitomate, por lo que también logra infectar plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas. La enfermedad puede causar pérdidas significativas especialmente en las variedades susceptibles y bajo condiciones climáticas favorables, sobre todo en ambientes cálidos. El marchitamiento provocado por *Fusarium* es caracterizado por provocar el

achaparramiento en las plantas, las cuales en poco tiempo se marchitan y mueren; *F. oxysporum* ocasionan pérdidas del 60-70 % del cultivo (Ravindra *et al.*, 2015).

La distribución del género de *F. oxysporum* es cosmopolita, se presenta predominantemente como saprófito del suelo, por lo que destaca entre los hongos más reconocidos y predominantes en los suelos. Las diferentes especies de *Fusarium* logran tener mejor desarrollo a partir de temperaturas de 27-28°C, afectando al cultivo del tomate en campo e invernadero (Bawa, 2016; Debbi *et al.*, 2018), climas secos y suelos ácidos con un pH de 5-5.6. (Hansan, 2020)

Fusarium es un organismo que habita en el suelo y que sobrevive en residuos infectados del cultivo que se encuentran en el suelo, se encuentra con mayor frecuencia como clamidospora. Las clamidosporas permanecen inmóviles en los restos del tejido vegetal descompuestos o en proceso de descomposición, las cuales son estimuladas para poder germinar utilizando los nutrientes de las raíces de las plantas (Hassan, 2020).

La germinación de clamidosporas de *F. oxysporum* se ve influenciado por el pH del suelo. Mientras que el micelio se desarrolla en un rango de pH 2-12. En suelos ácidos con un pH 4.2 el crecimiento de *F. oxysporum* es favorecido mientras que con un pH neutro impide el crecimiento. La enfermedad de marchitamiento vascular por *Fusarium* está asociada con suelos ácidos y arenosos, en lugar de suelos más pesados con niveles de pH más altos. El desarrollo de *F. oxysporum* en el suelo dependen sobre el equilibrio ecológico y la disponibilidad de nutrientes. Se ha reportado que el crecimiento, la esporulación y la virulencia de *F. oxysporum* se ven favorecido con nutrientes como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc. Las altas fertilizaciones con nitrógeno en los suelos agrícolas promueven un aumento en el desarrollo de la marchitez por *Fusarium*. La enfermedad es autótrofa, que solo requiere de una fuente de carbono para su estructura, energía y compuestos inorgánicos para sintetizar o compuestos orgánicos como azúcares, lípidos y aminoácidos (Hassan, 2020).

La enfermedad puede ser afectada por las temperaturas del suelo, por lo que existe una correlación entre la temperatura del sustrato y la severidad de la enfermedad siendo la temperatura optima del suelo para el crecimiento de *F. oxysporum* entre los 25-28°C (Hassan, 2020).

Cuando las plantas se están desarrollando en suelos infectados, los tubos germinativos del micelio o de las esporas atraviesan directo hacia las puntas de las raíces y llegan al xilema viajando a través de los vaso en sentido ascendente hacia el tallo y parte más alta de la planta. Cuando el micelio entra en el xilema se ramifica y empieza a producir microconidios que al desprenderse son trasportados hacia la parte superior de la planta. Los microconidios empiezan a germinar en el momento que se detienen el trasporte ascendente, el micelio comienza a penetrar la pared superior del vaso y el patógeno produce más micronidios (Agrios, 2004).

El micelio puede sobrevivir en materia orgánica como saprófitos que se alimentan de materia orgánica descompuesta y hospedantes alternos parasitando a plantas donde pueda completar su ciclo de vida. La inducción de la formación clamidosporas de *F. oxysporum* se relaciona por factores de estrés por la ausencia del hospedantes debido a la falta de nutrientes y factores ambientales desfavorables que provocan sequias (Smith, 2007).

El hongo es un organismo que puede llegar a sobrevivir en restos del cultivo por lo que se mantienen en forma de micelio y en cualquier tipo de esporas, la forma más frecuente en la que se puede encontrar es en forma de clamidosporas para infectar cultivos y otros hospederos. Se puede propagar a través de equipos agrícolas contaminados, también se puede propagar a cortas distancias a través del agua y a larga distancia por trasplantes infectados (Leslie y Sumerell., 2006; Agrios., 2004).

F. oxysporum puede existir como necrótrofos matando y consumiendo los nutrientes de las células de la planta. La enfermedad puede causar infecciones y causar síntomas en especies de solanáceas. Se han reportado hospederos asintomáticos de *F. oxysporum* en diferentes géneros de plantas como *Amaranthus* spp, *Chenopodium* spp, *Digitaria* spp, *Malva* spp y *Oryzopsis* spp. La gama de hospederos es considerablemente amplia e incluye huéspedes sintomáticos y

asintomáticos en las familias de anacardiácea, crucíferas, cucurbitácea, leguminosas, mollugináceas, plantagináceas, solanáceas y umbelíferas. Las plantas susceptibles y el rango de huéspedes y la virulencia del hongo varían según el aislado (McGovern, 2015).

Estrategias de control de la marchites vascular por *F. oxysporum*

Control biológico

El control biológico es un método que consiste en usar organismos vivos como mecanismo para el control de plagas que son problemáticos para los cultivos agrícolas y la reducción de las aplicaciones de plaguicidas químicos con el fin de reducir el impacto negativo para el medio ambiente y para la salud humano; es por eso que se vuelve necesario implementar el control biológico como alternativa para el control de enfermedades fitopatógenas. En los últimos años se han utilizado hongos antagonistas para el control de *F. oxysporum* como en el caso de *Trichoderma* spp., por lo que este género compite por nutrientes y espacio contra *F. oxysporum* constituyendo mecanismos antagonistas, ocurriendo cuando los recursos nutritivos del suelo y el espacio son limitados. Las especies de *T. harzianum*, *T. viride* y *T. asperellum*, tienen las de mejor efectividad antifúngica, por lo que presenta acción antagonista debido a que produce metabolitos secundarios, los cuales son capaces de detener el desarrollo de *F. oxysporum*, por lo que los hongos antagonistas actúa como parásito, debido a que el micelio de *Trichoderma* se adhirió a las hifas del patógeno envolviéndolas en el micelio, segregan enzimas que degradan la pared celular y benefician a la planta en su desarrollo vegetativo y teniendo a *Trichoderma* como mecanismo de defensa evitando el desarrollo de la enfermedad del marchitamiento vascular causada por *F. oxysporum* (Castillo *et al.*, 2022).

Sayed Farooq Mahboobi, (2024) reportan inhibiciones del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* 39-49.86 % por hongos y bacterias benéficas como son *T. harzianum*, *T. asperellum*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus* sp. Donde *T. harzianum*, *T. asperellum*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus* sp. Fueron utilizados como control para el marchitamiento vascular causada por *F.*

oxysporum. *T. harzianum* tuvo una superioridad en el manejo de la enfermedad (66.64%), seguido por *P. fluorescens* (42.45%) en comparación con el control ejercido por *T. asperellum* (37.76%), *Bacillus* sp. (33.65%) y el control químico por mancozeb (32.71%). *T. harzianum* ha mostrado la menor incidencia con un 25.43% de la enfermedad causada por *F. oxysporum*. La aplicación de *T. harzianum* no solo apoya con la menor incidencia de la enfermedad, sino que mejoró el crecimiento de las plantas, diámetro del tallo, área foliar y aumento del rendimiento del cultivo. Siendo que *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* sp. Y *T. harzianum* son una buena alternativa para reducir el uso de productos químicos para el control de *F. oxysporum*. (Sayed *et al.*, 2024).

El uso de consorcios microbianos es un método de control biológico, donde se busca el uso de más de dos tipos de especies de microorganismos asociados y se benefician por las diferentes funciones que pueden realizar las estas especies. Por lo que en evaluaciones de tres diferentes consorcios microbianos como Soil Pro® (*Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Enterobacter cloacae*), SOS® (*P. fluorescens*, *P. putida*, *P. aeruginosa*, *A. calcoaceticus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus thuringiensis*, *Saccharomyces cerevisiae*), SSB® (*P. fluorescens*, *P. putida*, *P. aeruginosa*, *A. calcoaceticus*, *E. cloacae*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. thuringiensis*, *S. cerevisiae*, *Glomus aggregatum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*); donde en las evaluaciones en plantas inoculadas con *F. oxysporum* obtuvieron el mayor nivel de severidad con el 90%, los tratamientos con mejor efectividad para el control de *F. oxysporum* fueron Soil Pro® y SOS® con una disminución del 37% de severidad en las plantas de jitomate (Limón *et al.*, 2022).

Control biorracional

La demanda de una agricultura sostenible ha aumentado en los últimos años por lo que los agricultores requieren de alternativas naturales con un menor impacto ambiental. Una alternativa para esto es el uso de extractos de plantas que contienen

compuestos fitoquímicos que les confieren propiedades antifúngicas, antibacterianas, antivirales, insecticidas, antioxidantes e inductoras de resistencia (Chandrashekhara et al., 2010; Jasso de Rodríguez et al., 2011; Burketova et al., 2015; TUCUCH *et al.*, 2024).

Los extractos vegetales son obtenidos de material vegetativo de plantas, obteniendo la extracción de metabolitos secundarios realizando procesos como la fermentación o el macerado. Por lo que se pueden encontrar compuestos activos que funcionen para el beneficio del cultivo en el control de enfermedades; por lo que se pueden extraer alcaloides, taninos, mucilagos, aceites esenciales, flavonoides y saponinas. Los extractos vegetales son utilizados como nuevas alternativas para el manejo de plagas y así reducir el uso de plaguicidas químicos que causan problemas para la salud y el medio ambiente (Górniak, 2019; Tucuch-Pérez, 2021).

Para el control del marchitamiento vascular causado por *F. oxysporum*, se han evaluado extractos etanólicos de hojas de *Agave lechuguilla*, ruezno de *Carya illinoensis*, hoja de *Lippia graveolens*, tallo de *Lippia graveolens*; donde el extracto de hoja de *Agave lechuguilla* y tallo de *Lippia graveolens* fueron los que presentaron una menor incidencia con el 83.33% y 91.67%, logrando disminuir la severidad con el extracto etanólico. Por lo que este efecto fue debido por los compuestos fitoquímicos que presentan los extractos de los tratamientos (Tucuch *et al.*, 2021).

Se han realizado estudios donde se comprueba que el uso del extracto hidroalcohólico de ajo con una concentración del 2% presentan metabolitos secundarios (Alicina) los cuales generan resistencia a *F. oxysporum*, por lo que logra reducir el 73% de la severidad de *F. oxysporum* en plantas de jitomate. (Gastélum, 2016)

Sean realizado pruebas con extractos vegetales obtenidos de hojas de *Azadirachta indica*, *Thevetia peruviana*, *Piper auritum* Kunth y mata ratón (*Gliricidia sepium*) para el control de *F. oxysporum*, por los que los tratamientos de *Gliricidia sepium* con un

y *Azadirachta indica* obtuvieron mayor efectividad en la inhibición del crecimiento micelial con un porcentaje del 53.6 y 57.8 % (ROBLES, 2020).

Control genético

El control genético son nuevas estrategias para el control de enfermedades, realizando mejoramientos genéticos que permitan modificar o alterar el material genético de las plantas para obtener variedades resistentes a enfermedades y mejorando el rendimiento. Por lo que se han realizado pruebas en cultivos de jitomate en Metepec, Hidalgo; con resistencia a *F. oxysporum*, donde se evaluaron diferentes genotipos de plantas de jitomate (D3, D4, F3, IR13, K3, R1, Y53) las cuales fueron variedades seleccionadas por su alto rendimiento. Donde se demostró que el uso de las variedades resistentes al marchitamiento vascular causado por *F. oxysporum*, donde Y53 fue la variedad que obtuvo el nivel más bajo en incidencia 60.6% y severidad de *F. oxysporum* (ABCPE de 1100), D3 fue la siguiente variedad que presentó un nivel de incidencia del 64.33% y severidad (ABCPE DE 1150). Cabe mencionar que las variedades de IR13 y R1 obtuvieron los niveles más altos de incidencia del 76%, 75.3% y severidad de *F. oxysporum* (ABCPE de 1700 y 1450) (Gayosso *et al.*, 2021).

Adicionalmente, se han evaluado portainjertos de diversas variedades de *S. lycopersicum* (Multifort, Vigostar 10, Aloha, RT-160961) resistentes a *F. oxysporum* raza 3 con injertos híbridos de jitomate bola Imperial (Enza Zaden), TL-41500 (Zeraim Gedera), Liberty (Hazera), Pilavy (Rogers) y Aegean (Enza Zaden). Donde se pudo observar que la severidad, la cual se incrementó en las plantas sin injertar; por lo que la enfermedad del marchitamiento vascular logro la muerte del híbrido sin injertar. Las plantas con portainjertos de Multifort, Vigostar 10, Aloha, RT-160961; mostraron resistencia a la enfermedad, por lo que RT-160961, Aloha y Vigostar 10, mostraron síntomas de marchitamiento vascular causados por *F. oxysporum* al final del desarrollo vegetativo de la planta mostrados severidades del 6.66%, 8.88% y 9.99%, siendo consideradas plantas resistentes a *F. oxysporum* raza 3. El portainjerto de Multifor no presentó síntomas y daños por la enfermedad durante todo el ciclo de la planta, por lo que se considera resistente a la enfermedad del

marchitamiento vascular causada por *F. oxysporum* demostrando que las plantas híbridas que son utilizadas por los agricultores de México para generar resistencia a la enfermedad del marchitamiento vascular causada por *F. oxysporum*, por lo que permite que el cultivo no tenga disminuciones de producción y calidad (Báez *et al.*, 2010).

Control químico

Los fungicidas químicos ayudan a controlar o prevenir enfermedades, debido a la capacidad de supervivencia de los hongos fitopatógenos en el sustrato, semillas, agua de riego y material infectado, por lo que hay fungicidas efectivos para el control de *F. oxysporum*, se ha mostrado que el Procloraz y el Bromuconazole al ser aplicados al suelo son más efectivos en reducir la incidencia de *F. oxysporum*, por lo que otros fungicidas como el Benzotiadiazol, Captan ultra 50 WP, Fludioxonil, Azoxystrobin, Carbendazim y Benomil logran afectar el desarrollo de la enfermedad. Los riesgos que generan los fungicidas químicos por el uso excesivo e inadecuados es que logran provocar que el fitopatógeno genere resistencia, problemas para la salud, contaminación de fuentes de alimentos y agua (Vásquez *et al.*, 2017).

Tabla 1. Ingredientes activos implementados en el control de la marchitez vascular (DGSV-CNRF, 2020)

Grupo químico	Ingrediente activo
Triazoles	Difenoconazol, Tebuconazol, Flutriafol, Triticonazol, Triadimefón
Ditiocarbamatos	Mancozeb, Thiram, Maneb
Fenilpirroles	Fludioxonil
Estrobilurinas	Azoxystrobin
Carboxamidas	Carboxin, Zineb
Benzimidazoles	Tiabendazol, Benomilo, Carbendazim
Ftalimidas	Captan
Acilalaninas	Metalaxyl, Mefenoxam

Imidazoles	Procloraz
Organosfosforado	toclofos-metil
Isoxazoles	hymexazol

BIOESTIMULANTES

Los bioestimulantes se consideran sustancias aditivas para fertilizantes, favorecen la absorción de nutrientes, promueven el desarrollo de las plantas y aumenta la tolerancia al estrés abiótico. La definición de los bioestimulantes no es precisa, sin embargo, las características principales que definen a los bioestimulantes de otros agentes de desarrollo y protección de la planta. Por lo que los bioestimulantes pueden ser cualquier sustancia o mezcla de origen natural o microorganismos que mejoran las condiciones de las plantas sin causar problemas en su desarrollo. Se utilizan enzimas, micronutrientes, aminoácidos. Los estimulantes naturales se definen a menudo con el termino bioestimulantes, incluyendo fenoles, ácido salicílico, ácidos húmicos e hidrolasas proteínicas. El uso de bioestimulantes logran generar impactos benéficos para el desarrollo de frutos, germinación, crecimiento vegetativo y floración (Magdalena *et al.*, 2019).

Ácido salicílico

El ácido salicílico es un bioestimulante que ayuda a tener un mejor desarrollo de las plantas, manifestándose por el tamaño y números de las células, que se controlan principalmente por los procesos de expansión y división celular determinando restricciones genéticas. En los últimos años se han realizado pruebas de ácido salicílico en el desarrollo de plantas, sin embargo, la regulación del crecimiento aún no se ha descrito de manera efectiva en la mayoría de las investigaciones sobre este tratamiento, en comparación con las hormonas como en el caso de las giberelinas y auxina. El ácido salicílico regula los mecanismos que controlan el crecimiento y desarrollo de las plantas como el crecimiento de raíces, tallos, hojas, floraciones y frutos (Li A *et al.*, 2022). Los niveles alterados de ácido salicílico que se originan en las plantas pueden originar fenotipos de crecimiento anormales, por

lo que un alto nivel induce un crecimiento atrofiado. El efecto del ácido salicílico en el crecimiento varía dependiendo la concentración y la especie de planta vegetal. Por lo que las diferentes concentraciones varían los efectos de promotores o inhibidores de crecimiento de las plantas. Se han realizado pruebas demostrando que una aplicación de 0.01 mM de ácido salicílico aumento la altura de la roseta, numero de hojas y el aumento de flores en la violeta africana; por lo que la aplicación de 0.05 mM de ácido salicílico estimula el crecimiento en plantas de trigo en sus primeras etapas de desarrollo y la formación de mazorcas más grandes. En las plantas de fresa con una concentración de 0.25 mM puede promover un aumento significativo en el área foliar y el peso de los frutos (Li A *et al.*, 2022).

Así mismo, se han realizado aplicaciones de ácido salicílico al suelo como estrategia de defensa en plantas de jitomate enfermas por *F. oxysporum*; aplicando diferentes concentraciones de ácido salicílico, siendo las concentraciones de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 mM, realizando tres aplicaciones de 100 ml/planta con intervalos de cinco días; iniciando las aplicaciones a los 35 días de crecimiento de la planta. La concentración 1.5 mM de ácido salicílico obtuvo la mejor actividad enzimática en las plantas de jitomate enfermas, obteniendo que la aplicación al suelo de ácido salicílico después de inocular con *F. oxysporum* resulta efectiva para la actividad máxima de peroxidasa y polifenol, logrando que la planta tenga un mejor desarrollo y no se vea afectada por la enfermedad (Larqué *et al.*, 2010).

Ácido Hexanoico

El AcHx es un ácido carboxílico de cadena media (conformado por seis carbonos), con consistencia líquida aceitosa, con un olor acre e incoloro. Forman sales nombradas caproatos o hexano, las diferentes aplicaciones por lo que sean utilizado como agentes antimicrobianos en industrias alimenticias, farmacéuticas e industrias químicas (RODRIGUEZ 2020).

La utilización de AcHx es benéfico para diferentes plantas hortícolas como el jitomate, por lo que funciona como estimulante para el crecimiento vegetativo, resistencia a estrés abiótico y biótico; otro uso de AcHx es la función de inductor de resistencia en el control en microorganismo necrotrofos debido a que induce la

producción de calosa en los lugares de penetración de hongos. Se han realizado pruebas de inhibición en cultivos *in vitro* de hongos, en donde las concentraciones altas han logrado tener efecto inhibitor sobre el crecimiento micelial y la producción de esporas (García *et al.*,2006).

Se han realizaron pruebas en plantas de jitomate induciendo resistencia con el AcHx a enfermedades provocadas por hongos. La generación de resistencia a *B. cinerea* se determinó con concentraciones de 0.06, 0.6 y 4 mM de AcHx por cuarenta y ocho horas, reduciendo las lesiones provocadas por *B. cinerea*. El AcHx favorece el aumento de calosa teniendo como función de protección contra *B. cinerea*. La ampliación en plantas de tomate demostró la efectividad del AcHx como tratamiento para reducir la necrosis de *B. cinerea* en un 67%, mostrando que el AcHx tiene efecto curativo en plantas enfermas (García *et al.*,2006).

Menadiona

La menadiona (MSB) es un compuesto soluble en agua derivado vitamina K3 o provitamina K. La menadiona es un compuesto redox-activo ampliamente utilizado en estudios de estrés oxidativo en plantas, mamíferos, hongos y bacterias. La función fisiológica de la vitamina K en plantas está asociada directamente con sus propiedades redox. Las quinonas, benzoquinonas y naftoquinonas como la menadiona tiene dos propiedades químicas principales que las hacen reactivas en sistemas biológicos. La MSB es capaz de inducir resistencia mediante la aplicación en arabisopsis contra la cepa virulenta *Pseudomonas syringae pv. tomate*. La aplicación de 0.2 mM de MSB en *Arabidopsis sp.*, mostró un efecto como inductor de resistencia contra *Leptosphaeria maculans* y *F. oxysporum* (Borges *et al.*, 2009).

La MSB conduce a un estado de hipometilación en la región promotora de genes involucrados en la biosíntesis y degradación a la deshidratación de la prolina, demostrando que uno de sus mecanismos subyacentes a esta adaptación temprana a el estrés salino (Borges *et al.*, 2014).

La MSB es capaz de activar factores de transcripción relacionados con la defensa que regulan positivamente los genes de respuesta al estrés de patógenos, después

de que las plantas de jitomate son dañadas por herbívoros. La aplicación de MSB reduce la preferencia de caracoles (*Theba grasseti*) en plantas de jitomate ya sea antes o después de la aplicación (Carrillo *et al.*, 2015).

La MSB funciona como regulador de crecimiento en plantas, sin embargo, los mecanismos moleculares que subyacen los efectos de la MSB en las plantas siguen siendo desconocidas. Se realizaron pruebas realizadas en *Arabidopsis* sp. para demostrar que la MSB induce resistencia llevando a *Arabidopsis* sp. como un sistema para revelar las funciones moleculares que sustentan los efectos de la MSB (Borges *et al.*, 2009).

Otro efecto de la menadiona es inducir tolerancia al estrés abiótico en plántulas de maíz (Borges *et al.*, 2014). La salinidad es un problema que afecta a las plantas, por lo que el riego aumenta concentraciones de sales solubles, perjudicando la capacidad de producción de los cultivos agrícolas afectando la germinación y el desarrollo del cultivo. El uso de menadiona para mejorar la tolerancia al estrés salino resulta benéfico en el incremento de la producción y la calidad de la cosecha (Borges *et al.*, 2010).

METODOLOGÍA

Material biológico (cepa *F. oxysporum*)

La cepa de *F. oxysporum* [(Fuso:58) fue colectada en el municipio de Fresnillo, Zacatecas en la colonia Miguel Hidalgo (el coyote)], fue proporcionada por la Dra. Mariana Beltrán Beache, del Centro de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, dicha cepa fue aislada de plantas de tomate con sintomatología en las plantas con pudrición de la raíz principal, necrosis del haz vascular con apariencia corchosa, pudrición de la corona del tallo y amarilleo ascendente.

Verificación de la Especie

El estado de la cepa y la especie fueron verificadas según las características morfológicas de la misma, esto se realizó mediante la observación de las estructuras de la macroconidia, microconidia, fiálides utilizando las claves Leslie and Summerell (2006).

Evaluación *in vitro* de inductores de resistencia en *Fusarium oxysporum*.

La actividad fungicida de los bioestimulantes [ácido salicílico (As), ácido hexanóico (AcHx) (Sigma-Aldrich®)], Menadiona (Santa Cruz, Biotechnology®) utilizando la técnica de dilución en agar (Guerrero et al., 2007), donde se implementaron las siguientes concentraciones para As y AcHx: 0, 25, 50, 100, 150, 200, 250 ppm; mientras que para la menadiona se implementaron las siguientes concentraciones: 100, 250, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm. El medio de cultivo (Papa dextrosa agar, Bioxon®) fue preparado en matraces Erlenmeyer siguiendo las recomendaciones

del fabricante, los matraces se taparon con papel aluminio, posteriormente se llevaron a la olla de presión donde se esterilizaron a una presión de 15 PSI por 15 minutos. Una vez que los matraces lograron alcanzar la temperatura óptima, se agregaron las concentraciones de cada uno de los tratamientos y se agitaron durante 3 a 5 minutos para su homogeneización y proceder al vaciado en cajas Petri. Una vez solidificado el agar se procedió a colocar un explante de 9 mm de diámetro (crecimiento de *F. oxysporum*) en cada una de las cajas.

Las mediciones del crecimiento micelial (dos lecturas radiales del micelio) de cada caja Petri se realizaron cada 24 horas, hasta que el testigo alcanzó el recubrimiento del diámetro total de la superficie del agar. Para este propósito, se utilizó un vernier digital milimétrico de la marca STEREN®; siguiendo la metodología propuesta por Bautista et al. (2002). Con los datos obtenidos se obtuvo un promedio de las dos lecturas radiales para determinar el porcentaje de inhibición utilizando la fórmula sugerida por Bautista et al. (2002).

$$\% \text{ de inhibición} = (dc - dt)/dc \times 100$$

Donde: dc= diámetro promedio en cm del crecimiento de micelio del testigo. dt= diámetro del crecimiento del micelio.

Conteo de esporas

El conteo de esporas se realizó 96 hrs después de terminar con las mediciones de crecimiento micelial, donde se realizaron los conteos de esporas por cada una de las cajas Petri, ejecutando un raspado de todo el micelio sobre la superficie del agar, colocando el micelio en tubos de ensayo en los que se agregó 10 ml de agua destilada estéril, para continuar con el conteo de esporas en la cámara de Neubauer.

Diseño experimental

Con los datos de las variables crecimiento micelial y conteos de esporas se ejecutaron análisis de varianza y la comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$). Adicionalmente los datos de inhibición micelial fueron utilizados para el desarrollo de un análisis PROBIT mediante el software SAS (Statistical Analysis Software) de la versión 9.0, con el propósito de determinar la concentración inhibitoria media (CI_{50}).

Evaluación en invernadero

Producción de plántula.

La semilla de la variedad Río Grande se germinaron en charola de 200 cavidades con peat moss y perlita en proporción (1:1), en un lapso de 21 - 30 días la planta se trasplantaron en bolsas de polietileno con una capacidad de 10 litros, abarrotadas con una mezcla de perlita y peat moss en la porción antes mencionada, las plantas fueron regadas con solución Steiner (1961), la cual fue suministrada según la etapa fenológica de la planta (Roque *et al.*, 2019).

Inoculación de plantas de tomate con e fitopatógeno.

El procedimiento que se llevó a cabo para la inoculación de *F. oxysporum* en las plantas de tomate se describe a continuación. La cepa de *F. oxysporum* se cultivó en medio de cultivo PDA y se incubo durante 7 días a 28° C. Cosechándose las esporas de *F. oxysporum*, las cuales se ajustaron a una concentraron de 1×10^6 esporas /mL⁻¹. La inoculación de las plantas se realizó un corte en la parte inferior de las raíces, sumergiéndolas en una solución de conidios aproximadamente durante 30 min. transcurrido el tiempo se realizó el trasplante en las bolsas (Tucuch *et al.*, 2019).

Aplicación de tratamientos.

Previamente a la inoculación de las plantas con el fitopatógeno, las plantas fueron tratadas con cada uno de los tratamientos (ver Tabla 2); donde las plantas fueron asperjadas con cada tratamiento hasta el punto de rocío. Se realizó un diseño de bloques al azar con nueve tratamientos, cinco repeticiones y considerando a cada planta como unidad experimental. Se realizaron tres aplicaciones de inductores a concentración presentadas en la tabla 2. La primera aplicación se realizó al

momento del trasplante, posteriormente se aplicaron a los 15 y 30 ddi. Se determinó la severidad de la enfermedad en la planta de tomate en base a los cambios fenotípicos registrados; mediante la escala de (Tucuch *et al.*, 2019) que presenta un rango de severidad 1 al 5, donde: 1 = sin síntomas; 2 = clorosis ligera; 3 = clorosis moderada y marchitamiento; 4 = clorosis severa y marchitamiento y 5 = muerte de la planta.

Tabla 2. Tratamientos aplicados en los bioensayos en invernadero.

Tratamiento	Ingrediente activo y concentración
T1	T Inoculado (1×10^6 conidias/mL)
T2	T Absoluto (sin tratamiento)
T3	T Químico (30 g/ha)
T4	AcHx Cl ₅₀ (100 ppm)
T5	AcHx Cl ₈₅ (500 ppm)
T6	MSB Cl ₅₀ (313 ppm)
T7	MSB Cl ₉₀ (1335 ppm)
T8	As Cl ₇₅ (10000 ppm)
T9	As Cl ₅₀ (5606 ppm)

Variables a evaluar.

Con los datos de severidad se calculó el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) se realizó mediante la fórmula de Saber y Finley (1977), para lo cual se registró la severidad de la enfermedad cada semana desde la aparición de los primeros síntomas de *F. oxysporum*. Adicionalmente se determinaron los parámetros agronómicos que se evaluaron en el experimento fueron: longitud del tallo (LT), diámetro del tallo (DT), peso del tallo (PT), longitud de raíz (LR), peso de

raíz (PR) número de botones florales (NBF), numero de racimos florales (NRF), clorofila total (CT) y nitrógeno en la planta (N).

$$ABCPE = \sum_i \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Donde: ABCPE es el área bajo la curva sobre el progreso de la enfermedad, ya se refiere a la intensidad de la enfermedad, t es el tiempo de evaluación en ddi (días después de la inoculación) y n el número total de evaluaciones.

Análisis estadístico. Para cada variable evaluada se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS versión 9.1.

RESULTADOS

Verificación de especie. La cepa Fuso:58 presentó macroconidios abundantes y septadas, de forma rectas a ligeramente curvadas en forma canoa o de hoz, de paredes delgadas, presentó las células apicales cónicas; mientras la célula basal presenta forma de pie a puntiaguda a redondeada. Las microconidias son de forma ovalada o elíptica y septadas. La producción de microconidias fue en monofiálides cortos. Lo anterior concuerda con lo reportado por Leslie y Sumerell, (2006).

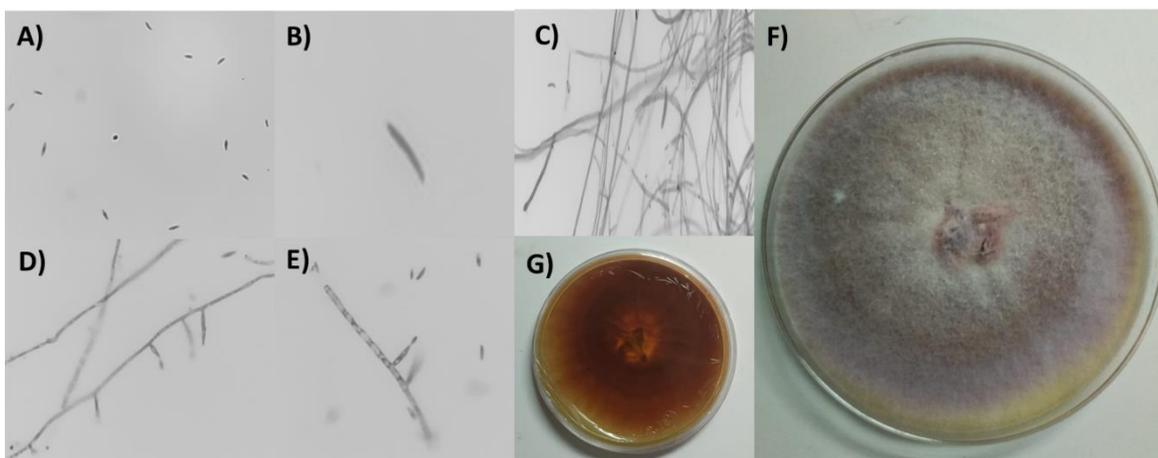


Figura 2. Características macroscópicas y microscópicas de *F. oxysporum*. A) Microconidias, B y C) Macroconidias, D Y E) Monofiálides, F) crecimiento micelial de la cepa Fuso:58, G) pigmentación del agar generada por la cepa Fuso:58.

Evaluación del efecto inhibitorio de los bioestimulantes en *F. oxysporum*.

La tabla 3 muestra el efecto de los tratamientos sobre *F. oxysporum*, donde se puede observar una inhibición del crecimiento de *F. oxysporum*; desde el 23-100%, donde destaca la MSB a 2000 ppm con un 100 % de inhibición del crecimiento micelial, y donde el As promueve una reducción del crecimiento micelial desde 24 -28%; siendo las concentraciones de 150 y 250 ppm las que

redujeron significativamente el crecimiento (27.4 y 28.3 %; $p > 0.0001$). Mientras que el AcHx generó inhibiciones desde 23.3 – 71.14 %, donde los mejores tratamientos fueron 200 y 250 ppm ($p > 0.0001$).

Berumen *et al.* (2015) evaluaron el efecto del As con diferentes concentraciones de 2, 3 y 5 mM, para el control *in vitro* de *Colletotrichum* sp. Por lo que la concentración de 5 mM inhibió el 64.5% de crecimiento micelial, lo anterior es superior al porcentaje de inhibición obtenido en esta investigación.

Arundathi y Ramesh. (2021) estudiaron la actividad antimicrobiana del AcHx para el control *in vitro* de *F. oxysporum f. sp. lycopersici* (FOL) por lo que evaluaron diferentes concentraciones de AcHx (0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 %, p/v), donde la inhibición del crecimiento micelial fue 45 - 65.7 %; donde la concentración de 0.2 % mostraron mayor control en comparación con las otras concentraciones (Ramesh *et al.*, 2021); cabe mencionar que los porcentajes de inhibición son similares a los obtenidos en esta investigación.

Hong *et al.*, (2016) evaluaron el crecimiento *in vitro* de *Botrytis cinerea* utilizando tratamientos de menadiona con concentraciones de 0.5, 1, 2, 5, 10 y 20 mM, por lo que el crecimiento micelial a concentraciones de 5, 10 y 20 mM de menadiona lograron suprimir más del 28- 100 % el crecimiento micelial (Hong *et al.*, 2016); lo anterior coincide con los resultados obtenidos en esta investigación, donde el rango de inhibición oscila del 14.95 – 100 %.

Tabla 3. Efecto inhibitorio *in vitro* de los bioestimulantes sobre *F. oxysporum*.

Tratamiento	Inhibición micelial (Media ± Desv. estánd.)			
	As	AcHx		MSB
Testigo	0.00±0.00 C	0.00±0.00 D	Testigo	0.00±0.00 F
25	24.06±2.61 B	23.30±2.36 C	100	14.95±2.36 E
50	25.35±1.00 B A	23.51±0.84 C	250	42.74±6.82 D
100	26.51±1.29 B A	52.46±8.08 B	500	69.62±1.28 C
150	27.40±0.69 A	61.02±3.22 B	1000	83.07±1.55 B
200	25.55±1.90 B A	70.75±5.23 A	1500	84.95±0.35 B
250	28.33±0.95 A	71.14±3.63 A	2000	100±0.00 A
p-valor		0.0001		

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

La tabla 4, muestra el efecto de los tratamientos sobre la esporulación de *F. oxysporum*, donde se puede observar una inhibición de la conidio génesis; desde el 7.9 - 100%, donde destaca la MSB a 2000 ppm. Donde el As promueve una reducción de la esporulación 7.9-74.2 %; siendo las concentraciones de 100-250 ppm las que redujeron significativamente la producción de esporas (47.5 y 74.2 %), mientras que el AcHx obtuvo rangos de inhibición de la esporulación desde el 50.36-75.54% (ver tabla 4).

Investigaciones realizadas por Díaz (2022), demostraron que el As fue eficaz en la inhibición de esporas de *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. acuminatum* a concentraciones de 10 – 300 ppm; mientras que en esta investigación en *F. oxysporum* se alcanzó un 74.2 % de inhibición de la esporulación (Díaz, 2022). Berumen *et al.*, 2015, evaluaron el efecto del As sobre el crecimiento *in vitro* de *Colletotrichum* sp., por lo que registraron que las concentraciones de 3 y 5 mM obtuvieron la menor esporulación con 1.1×10^7 esporas·ml⁻¹ (Berumen *et al.*, 2015).

Hong *et al.*, 2016, evaluaron la efectividad inhibitoria de menadiona para el control *in vitro* de *B. cinerea*, por lo que las concentraciones de 5 y 10 mM inhibieron drásticamente la germinación de conidios con un 26% y 1.25% (Hong *et al.*, 2016).

Tabla 4. Efecto en la esporulación de los bioestimulantes sobre *F. oxysporum*.

Tratamiento	Esporulación (Media ± Desv. estánd.)			
	As	AcHx		MSB
Test	214179±25328 A	294759±95056 A	Test.	2821414±1340660 A
25	197214±24364 BA	163284±89868 A	100	920326±329737 B
50	129338±23385 BC	146320±36892 B	250	1066645±240850 B
100	112390±25329 C	142078±45084 B	500	750680± 86917 B
150	110270±59979 C	112390±44007 B	1000	654145±116684 B
200	76340±35987 C	108149±28026 B	1500	554294±105135 B
250	55135±3463 C	72100±39483 B	2000	398979±195196 B

MSB 50	64.000 ± 21.908 BC
MSB 75	72.000 ± 71.554 BC
AcHx 50	120.000 ± 56.568 BA
AcHx 90	136.000 ± 60.663 BA
As 50	136.000 ± 53.665 BA
As 75	136.000 ± 60.663 BA
T Químico	136.000 ± 87.635 BA
T Absoluto	0.000 ± 0.000 C
T Inoculado	160.000 ± 56.568 A
P- valor	0.002

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Hong *et al.* (2016) evaluaron lesiones de hojas en platas de jitomate causadas por de *B. cinérea* después de ser tratadas con MSB a concentraciones de 10 y 20 mM, obteniendo como resultado una disminución significativa del 38.4–46.3% del diámetro de las lesiones causadas por *B. cinérea*. La severidad en plantas de jitomate infectadas con *Candidatus Liberibacter solanacearum* y tratadas con 55-500 ppm de MSB logró reducir la severidad de la enfermedad de un 23.5-41.7% (Roque *et al.*, 2024); siendo que la severidad provocada por *F. oxysporum* fue de 40 - 45 %.

Berumen *et al.*, (2015) evaluaron el efecto del As para el control de *Colletotrichum* sp. en frutos de plátano, por lo que la aplicación de 5 mM de As controla el desarrollo de pudrición de frutos generando reducciones en la necrosis del fruto hasta en un 60 %; lo anterior representa un reducción de la severidad superior a la obtenida en esta investigación, ya que para *F. oxysporum* solo se alcanzó un reducción de la severidad del 15 %.

Leyva *et al.* (2008) evaluaron la aplicación foliar de soluciones de AcHx de 16-20 mM pre-inoculación con *B. cinerea*, arrojando como resultado la reducción significativa del diámetro de necrosis en las hojas de 20–40%. Siendo que con sus resultados demostraron que el uso de AcHx es capaz de detener o retrasar el

desarrollo de *B. cinerea* en las plantas de jitomate (Leyva *et al.*,2008); lo anterior representa una mayor reducción en la severidad a la obtenida en esta investigación (15 al 25 %).

La tabla 7 muestra la respuesta de las variables agronómicas con respecto a la aplicación de los tratamientos, donde en la variable DT podemos observar que los tratamientos MSB y AcHx mostraron diferencias significativas con el tratamiento absoluto ($p \leq 0.022$); siendo que estos tratamientos produjeron un incremento sobre el DT (36-63%) del tratamiento inoculado. Roque-Enríquez *et al.* (2024) reportan un incremento en el diámetro de tallo en la aplicación de MSB (55–500 ppm) de 11.2 - 40.9% en plantas inoculadas con *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CLs) en la variable ALTP el tratamiento MSB 90 fue el que registro mayor crecimiento, sobrepasando en un 12% la ALTP del testigo absoluto ($p \leq 0.004$). Siendo que Roque-Enríquez *et al.* (2024) reportan un incremento en la altura de la planta 2.8 - 95.8% en la aplicación de MSB (55–500 ppm); lo que representa un crecimiento superior al expresado en esta investigación.

Tabla 7. Variables agronómicas de la evaluación en invernadero

Tratamiento	DT (mm)	ALTP (cm)	PFP (gr)	PFR (gr)
MSB 50	5.830±0.483BA	156.000±46.173BA	200.800±45.996BA	25.200±1.303 A
MSB 90	6.038±0.891BA	173.800±59.767 ^a	214.200±103.265BA	25.200±3.898 A
AcHx 50	5.058±2.859BA	91.000±70.032BDC	128.000±100.893BC	22.200±12.735BA
AcHx 85	5.946±0.300BA	130.000±40.736BAC	147.400±93.697BAC	26.200±3.193 A
As 50	4.736±2.678C	88.200±60.051D	116.400±96.339C	20.200±11.798B
As 75	2.756±2.517BAC	53.200±59.022BDC	52.000±58.193BC	12.800±11.713BA
T Químico	2.736±2.510C	72.800±67.525DC	62.600±82.938C	14.200±13.141BA
T Absoluto	6.322±0.811 A	156.200±19.305BA	234.800±16.813A	26.000±2.345 A
T Inoculado	3.710±2.082BC	67.000±38.196DC	58.800±44.189C	22.800±13.917BA
P-Valor	0.022	0.004	0.001	0.247

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). DT: Diámetro del tallo, ALTP: Altura de planta, PFP: Peso fresco de la planta, PFR: Peso fresco de raíz.

Para la variable PFP, los tratamientos MSB50 y MSB90 fueron estadísticamente similares al testigo absoluto; generando un incremento en el peso de la planta en comparación con el testigo inoculado de 3.41 y 3.64 veces. Lo anterior supera a lo reportado por Roque-Enríquez *et al.* (2024) quienes mencionan un incremento de 2.62 veces el PFP sobre las plantas inoculadas por CLs. Mientras que para la variable PFR, los tratamientos MSB50, MSB90 y AcHx85 fueron estadísticamente similares al testigo absoluto, generando un incremento en el peso de raíz en comparación del testigo inoculado del 10.5 % para los tratamientos con MSB y para AcHx85 un incremento del 14.91 %; lo anterior no es comparable a los incrementos del PFR reportados por Roque-Enríquez *et al.* (2024) quienes mencionan un incremento 73 %. Yaseen *et al.* (2021) reportaron la aplicación de 3303 ppm de MBS en calabaza, promovió un aumento en el peso fresco de la raíz (108 %) en condiciones de estrés por cadmio. Así mismo, en estrés salino plantas de tomate tratadas con 33,030 ppm de MBS registraron un incremento en el peso seco de 42 % (Jiménez *et al.*, 2019). La aplicación de Nutrisorb® L (ácido carboxílico) ha promovido el incremento en el peso seco de la raíz en plántulas de aguacate en 1.75 veces en comparación del testigo absoluto; dicho incremento es superior al obtenido en esta investigación (Soriano *et al.*, 2021).

Tabla 8. Variables agronómicas de la evaluación en invernadero.

Tratamiento	LR (cm)	NR	CT
MSB 50	48.800±25.203A	5.000±1.414BA	31.700±5.839BA
MSB 90	45.200±16.284A	4.000±1.000BAC	33.760±7.992A
AcHx 50	41.000±28.991BA	1.000±1.414D	17.860±11.037C
AcHx 85	47.000±7.778A	2.800±2.949BDC	19.960±11.762BC
As 50	30.000±23.054C	1.200±1.788D	20.480±13.096C

As 75	14.200±13.791BAC	0.800±1.095D	14.900±13.742BC
T Químico	19.800±24.252BC	1.000±1.414D	12.720±11.652C
T Absoluto	46.400±5.412A	6.200±2.387 ^a	22.580±1.913BAC
T Inoculado	27.000±17.535BAC	1.800±2.489DC	10.600±9.725C
P-Valor	0.049	0.0001	0.011

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). LR: longitud de raíz, NR: Numero de racimos, CT: Clorofila total.

Para la variable LR (tabla 8), se puede observar que los tratamientos MSB50, MSB90 y AcHx85 fueron estadísticamente similares al testigo absoluto, logrando un incremento sobre el testigo inoculado del 1.81, 1.67 y 1.87; valores muy cercanos a los reportados por Roque-Enríquez *et al.* (2024) quien reporta un incremento del 2.05 veces la LR en plantas tratadas con MSB e inoculadas con CLs. Se ha reportado que la aplicación de Nutrisorb[®] L (ácido carboxílico) ha promovido un incremento en la longitud de raíz en plántulas de aguacate en 1.27 veces en comparación del testigo absoluto; dicho incremento es inferior al obtenido en esta investigación (Soriano *et al.*, 2021).

Conclusión

Los resultados de esta investigación muestran que los mejores bioestimulantes para la inhibición micelial fueron el AcHx (23.3-71.4%) y la MSB (14.9-100%). Mientras que en la esporulación el AcHx produjo una reducción de la esporulación del 44.6-75.5%, y la MSB redujo la esporulación al 67.38–85.86%. siendo que en los parámetros agronómicos la MSB destaco en altura de planta, peso fresco de la planta, numero de racimos y clorofila total; y en las variables diámetro del tallo, peso fresco de la raíz y longitud de la raíz los compuestos que destacaron fueron la MSB Y el AcHx.

Bibliografía

- (APS), T. A. (s.f.). *APS*. Obtenido de <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/prokaryote/intro/Pages/BacteriaEspanol.aspx>
- (SIAP), S. D. (2024). *Panorama Agroalimentario 2024*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view
- (SIAP), S. D. (2024). *Panorama Agroalimentario 2024*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view
- (SIAP), S. D. (2024). *Panorama Agroalimentario 2024*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view
- © 2024 *The American Phytopathological Society. All rights reserved.* (s.f.).
- © 2024 *The American Phytopathological Society. All rights reserved.* (s.f.).
- © 2024 *The American Phytopathological Society. All rights reserved.* (s.f.).
- © 2024 *The American Phytopathological Society. All rights reserved.* (s.f.).
- Agrios, G. N. (2004). *Fitopatología*. D. F, México: Limusa.
- Aguilar, R. D. (s.f.). *MANEJO DE LA PUDRICIÓN BASAL DEL AJO MEDIANTE PRINCIPIOS*. UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, Saltillo.
- Aguilar, R. D. (s.f.). *MANEJO DE LA PUDRICIÓN BASAL DEL AJO MEDIANTE PRINCIPIOS*. UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, Saltillo, Coahuila .
- al, C. e. (2006). *El tomate, sus datos e historia*. condado de Harris: cooperativa de texas .
- al, C. e. (2006). *El Tomate, sus Datos e Historia*. I Condado de Harris: Cooperativa de Texas.
- Albarracin-Gomez, L. H.-G.-G. (2023). Efecto inhibitorio del aceite esencial de *Lippia graveolens* sobre *Fusarium oxysporum* en la familia Solanaceae202. *Revista Tecnología en Marcha*, 56-57.
- Alberto Roque Enriquez, M. B. (2024). *Bactericera cockerelli* en plantas de tomate tratadas con menadiona. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*.

- Alberto Roque-Enriquez, Y. M.-F.-B.-C.-O. (2024). EFECTO BIOESTIMULANTE DE MENADIONA EN EL CONTROL DE Candidatus LIBERIBACTER SOLANACEARUM EN TOMATE. *Rev. Fitotec. Mex.*, 277-284.
- Alberto Roque-Enriquez, Y. M.-F.-B.-C.-O. (2024). EFECTO BIOESTIMULANTE DE MENADIONA EN EL CONTROL DE Candidatus LIBERIBACTER SOLANACEARUM EN TOMATE. *Rev. Fitotec. Mex.*, 277-284.
- Alma Leticia Salas Gómez, E. O. (2022). Principales enfermedades del cultivo de tomate. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*.
- Alma Leticia Salas Gómez, E. O. (2022). Principales enfermedades del cultivo de tomate. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 2.
- Andrés A. Borges, A. D.-R.-A.-P.-S. (2009). Molecular analysis of menadione-induced resistance against biotic stress in Arabidopsis. *Plant Biotechnology Journal*, 744–762.
- Andrés A. Borges, D. J.-A.-R. (2014). Priming crops against biotic and abiotic stresses: MSB as a tool for studying mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 1- 4.
- APS. (2024). APS. Obtenido de <https://www.apsnet.org/edcenter/resources/commonnames/Pages/Tomato.aspx>
- Báez-Valdez, E. C.-F.-S.-E.-T.-M. (2010). Resistant Rootstocks Utilization for Fusarium Control (Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici Snyder & Hansen race 3) in Tomato (Lycopersicon esculentum Mill) under Shade Conditions . *Revista Mexicana de Fitopatología*, 111-123.
- Berumen Varela, G. O. (2015). EFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN LA INDUCCIÓN DE RESISTENCIA A Colletotrichum sp. EN FRUTOS DE PLÁTANO DURANTE POSTCOSECHA. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* , 27-34.
- Berumen Varela, G., Ochoa Jiménez, V. A., Báez Sañudo, R., & Gutiérrez Martínez, P. (2015). EFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN LA INDUCCIÓN DE RESISTENCIA A. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 27-34.
- Borges Pérez Andrés A., J. A. (2010). *España Patente nº ES 2 332 494 B1*.
- Carol Brouwer, P. H.—H. (2006). *El Tomate, sus Datos e Historia*. Texas: Extensión Cooperativa de Texas.
- Carol Brouwer, P. H.—H. (Marzo de 2006). *Harris County Cooperative Extension*. Obtenido de <https://harris.agrilife.org/files/2011/05/eltomate.pdf>
- Castillo-Sanmiguel, P. A.-S.-G. (2022). Aspectos moleculares del marchitamiento vascular del tomate (Solanum lycopersicum) por Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici y antagonismo por Trichoderma spp. *Revista Mexicana de FITOPATOLOGÍA*, 84-98.
- del Prado-Vera, I. F.-N.-V. (2018). *Nematodos fitoparásitos en la agricultura sustentable de América del Norte*. Serguéi A. Subbotin , Juan J. Chitambar.

- DGSV-CNRF. (2020). *FICHA TÉCNICA*. Obtenido de Fusarium spp. (Hypocreales: Nectriaceae) Podredumbre de raíces:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/600884/Podredumbre_de_ra_ces.pdf
- Dinorah Lima-Rivera1, D. L.-L. (s.f.). *Nematodos*. Obtenido de
<https://www.uv.mx/pregonesdeciencia/2024/06/25/nematodos/#>
- Dora Janeth García-Jaramillo, S. P.-Z.-G.-Z.-A. (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*, 714.
- Enriquez, A. R. (02 de 12 de 2019). *Efecto de fosfitos como inductores en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum) inoculadas con Candidatus liberibacter solanacearum* . Obtenido de
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/46938/Roque%20Enr%3%adquez%2c%20Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EPPO. (2020). *Fusarium spp. (Hypocreales: Nectriaceae) Podredumbre de raíces*. Obtenido de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633031/Fusarium_spp__ma_z__2020.pdf
- Estefanía Carrillo-Perdomo, D. J.-A. (2015). Menadione Sodium Bisulphite (MSB) enhances the resistance response of tomato, leading to repel mollusc pests. *Research Article*.
- FAOSTAT. (2024). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- G.N., A. (2004). *Fitopatología*. D.F, México: Limusa.
- García Agustín, P. F. (2006). *España Patente nº WO 206/136642 A1*.
- García Agustín, P. F. (2006). *España Patente nº WO 2006/136642 A1*.
- Gastélum, I. A. (Agosto de 2016). *INDUCCIÓN DEL SISTEMA DE DEFENSA EN PLANTAS DE TOMATE POR UN EXTRACTO HIDROALCOHÓLICO DE AJO PARA EL CONTROL DE Fusarium oxysporum*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora. Obtenido de Repositorio CIAD:
https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/732/1/Aguilar-Gast%C3%A9lum%20I_MC_2016.pdf
- Gayosso-Barragán, O. L.-B.-M.-A.-R.-A. (2021). Evaluación de la respuesta de diferentes genotipos de tomate a *Fusarium oxysporum* raza 3. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 409-420.
- Górniak I, B. R. (2019). Comprehensive review of antimicrobial activities of plant flavonoids. *Phytochemistry Reviews*, 241 - 272.
- Guillermo Berumen Varela, V. A. (2015). EFECTO DEL ÁCIDO SALICÍLICO EN LA INDUCCIÓN DE RESISTENCIA A *Colletotrichum* sp. EN FRUTOS DE PLÁTANO DURANTE POSTCOSECHA . *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 27-34.

- HA, H. (2020). Biology and Integrated Control of Tomato Wilt Caused by *Fusarium oxysporum lycopersici*: A Comprehensive Review. *ResearchGate*, 88, 89.
- HA, H. (2020). Biology and Integrated Control of Tomato Wilt Caused by *Fusarium oxysporum lycopersici*: A Comprehensive Review under the Light of Recent Advancements. *ResearchGate*, 89.
- HA, H. (2020). Biology and Integrated Control of Tomato Wilt Caused by *Fusarium oxysporum lycopersici*: A Comprehensive Review under the Light of Recent Advancements. *ResearchGate*, 87, 88, 89.
- Hassan, H. A. (2020). Biology and Integrated Control of Tomato Wilt Caused by *Fusarium oxysporum lycopersici*: A Comprehensive Review . *ResearchGate*, 88.
- Hassan, H. A. (2020). Biology and Integrated Control of Tomato Wilt Caused by *Fusarium oxysporum lycopersici*: A Comprehensive Review . *ResearchGate*, 88. 89.
- Hong, J. &.-J. (2016). Differential Control Efficacies of Vitamin Treatments against Bacterial Wilt and Grey Mould Diseases in Tomato Plants. *The plant pathology journal*, 469-480.
- Hong, J. &.-J. (2016). Differential Control Efficacies of Vitamin Treatments against Bacterial Wilt and Grey Mould Diseases in Tomato Plants. *The plant pathology journal*, 469-480.
- Jeum Kyu Hong, H. J.-J. (2016). Differential Control Efficacies of Vitamin Treatments against Bacterial Wilt and Grey Mould Diseases in Tomato Plants. *The plant pathology journal*, 469-480.
- Jiménez-Arias D., F. J.-M.-S. (2019). Menadione sodium bisulphite (MSB): beyond seed-soaking. Root pretreatment with MSB primes salt stress tolerance in tomato plants. *Environmental and Experimental Botany*, 161-170.
- John F. Leslie, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwelln Asia.
- John F. Leslie, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Iowa: Blackwell Publishing Asia.
- John F. Leslie, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual* . Blackwell Asia.
- John F. Leslie, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual* . Iowa: Blackwell Publishing .
- Lambrecht, A. K. (2004). APS. Obtenido de <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/prokaryote/intro/Pages/BacteriaEspanol.aspx>
- Larqué-Saavedra, A. M.-M.-G.-Y.-R. (2010). Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 183-187.
- Lemus-Soriano, B. A.-G.-L. (2022). Efecto de bioestimulantes radiculares sobre el crecimiento en plantas de aguacate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1139-1144.
- Lemus-Soriano, B. A.-G.-L. (2022). Efecto de bioestimulantes radiculares sobre el crecimiento en plantas de aguacate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1139-1144.

- Leyva, M. V.-A.-B. (2008). Preventive and post-infection control of *Botrytis cinerea* in tomato plants by hexanoic acid. *Plant Pathology*, 1038-1046.
- Li A, S. X. (2022). Action of Salicylic Acid on Plant Growth . *MINI REVIEW*, 1 - 4.
- Limón-Corona ML, F.-O. A.-C.-M.-M.-C.-G.-M. (2022). Efecto de consorcios microbianos en el patosistema *Solanum lycopersicum* - *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2, 6 , 7.
- Magdalena Drobek, M. F. (2019). Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress—A Review. *Review. Agronomy*.
- Marco Antonio Tucuch-Pérez, J. J.-V.-V.-C.-C. (2021). Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1, 3 ,4.
- MARCO ANTONIO TUCUCH-PÉREZ, R. A.-V. (2024). Plant Extracts as Elicitors in Plants Against Diseases: Action Mode and Perspectives. *ResearchGate*, 258-271.
- Mariana Beltran Beache, J. C. (2023). First Report of *Fusarium equiseti* Causing Root and Crown Rot in Tomato in Mexico. *ResearchGate*, 2-3.
- Mariana Beltran Beache, J. C. (2023). First Report of *Fusarium equiseti* Causing Root and Crown Rot in Tomato in Mexico. *ResearchGate*.
- McGovern, R. (2015). Manejo de enfermedades del tomate causadas por *Fusarium oxysporum*. *ScienceDirect*.
- Miach R. Isacc, S. G.-M.-C.-C.-P.-P. (2018). Occurrence, Identification, and Pathogenicity of *Fusarium* spp. Associated with Tomato Wilt in Mexico. *Not Bot Horti Agrobo*, 485, 486, 487.
- Murillo-Pérez, G. &. (2021). Claves dicotómicas para las especies de *Solanum* (Solanaceae) en México. *Botanical Sciences*, 413- 446.
- Murillo-Pérez, G. &. (2021). Claves dicotómicas para las especies de *Solanum* (Solanaceae) en México. *Botanical Sciences*. *Botanical Sciences*., 413-446.
- N., A. G. (2004). *Fitopatología*. D.F, México: Limiusa.
- Penso, A. (2022). *El periplo del tomate: de ser una curiosidad venenosa a un ingrediente universal*. FAO.
- Pérez-Díaz, F. A.-G.-F.-O.-G. (2020). Características de crecimiento y poscosecha de frutos de genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista fitotecnia mexicana*, 89-99.
- Quereigua, A. M. (2024). *CUANTIFICACIÓN Y MONITOREO DE CEPAS DE*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, Queretaro. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/9997/1/FQLIN-289606-.pdf>

- Quereigua, A. M. (1 de Enero de 2024). *Universidad Autonoma de Queretaro*. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/9997#:~:text=Una%20de%20las%20principales%20enfermedades,cultivos%20de%20gran%20valor%20econ%C3%B3mico>.
- Ramesh, M. A. (2021). Evaluation of antifungal activity of Hexanoic acid (Hx) against *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. *Int J Pharm Biol Sc*, 27-31.
- ROBLES, J. A. (s.f.). *EXTRACTOS VEGETALES Y Beauveria bassiana COMO CONTROL BIOLÓGICO EN PLANTAS DE TOMATE (Solanum lycopersicum L.)*. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ, TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.
- RODRÍGUEZ, S. B. (s.f.). Produccion de Ácidos Carboxílicos de Cadena Media a Partir de Efluentes Vitivinícolas. (*Doctoral dissertation, TEXAS A&M UNIVERSITY*). Universidad Nacional Autónoma de México, Santiago de Querétaro.
- Sayed Farooq Mahboobi, T. S. (2024). Biological Management of Wilt of Tomato caused by *Fusarium oxysporum* . *lycopersici*. *ResearchGate*, 654, 655.
- TA Vega-Gutiérrez, C. L.-U.-F.-B.-C.-M. (29 de octubre de 2018). *La Sociedad Fitopatológica Americana (APS)*. Obtenido de <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-1001-PDN>
- Tucuch-Pérez MA, B.-V. J.-V.-C.-C. (2019). Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para. *Ecosistemas y Recursos*, 3.
- Tucuch-Pérez MA, B.-V. J.-V.-C.-C. (2019). Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para. *Ecosistemas y Recursos*, 3.
- Vásquez-Ramírez, L. M.-Z. (2017). MANEJO INTEGRADO DE LA MARCHITEZ VASCULAR DEL TOMATE [*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (SACC.) W.C. SNYDER & H.N. HANSEN]: UNA REVISIÓN. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 363-374.
- Yaseen W., M. I. (2021). Exogenous menadione sodium bisulphite increases pigments,. *International Journal of Agriculture & Biology*, 25:1321-1330.