

**Universidad Autónoma de Sinaloa**  
Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte  
**Maestría en Producción Agrícola Sustentable**



**TESIS:**

*Efectividad de productos químicos, biológicos y biorracionales para el control de *Fusarium* spp. en tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.)*

**Que para obtener el grado de Maestro en  
Producción Agrícola Sustentable**

**PRESENTA:**

Romero Chávez Octavio Alberto

**DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Quintín Armando Ayala Armenta

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

M.C. Juan Luis Pérez Mora

**ASESORES:**

Dr. Fernando Alberto Valenzuela Escoboza  
Dra. Blanca Elvira López Valenzuela

Juan José Ríos, Sinaloa, México; junio de 2026.



**Universidad Autónoma de Sinaloa**

**Dirección General de Bibliotecas**

**Repositorio Institucional Buelna**

**Restricciones de uso**



Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Dirección General de Bibliotecas  
Ciudad Universitaria  
Av. de las Américas y Blvd.  
Universitarios  
C.P. 80010 Culiacán Sin. Méx.  
Tel (667) 713 78 32 y  
(667) 712 50 57  
dgbuas@uas.edu.mx

## **DEDICATORIA**

### **A MI ESPOSA:**

Odalís Flores, por ser mi apoyo constante y mi mayor motivación a lo largo de este proceso. Su paciencia, comprensión y amor incondicional han sido fundamentales para alcanzar esta meta. Gracias por acompañarme en cada desafío y por impulsarme a seguir adelante aun en los momentos más difíciles. Este logro no es solo mío, también es tuyo.

### **A MIS PADRES:**

Jesús Ramón Romero Soto y María del Rosario Chávez Urías quienes, con la bendición de Dios, me dieron la vida y, con el anhelo de formar en mí una persona con vocación de servicio, hicieron todo lo posible por educarme según sus capacidades. Sé que nunca habrá manera suficiente de agradecerles en esta vida, pero quiero que sepan que cada uno de mis logros también les pertenece... ¡Muchas gracias!"

### **A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE GENERACIÓN:**

Romina Valenzuela, Pablo Romero y Karla Osornio, por su amistad, apoyo y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias a lo largo de esta etapa académica. Gracias por el compañerismo, las enseñanzas y los momentos compartidos que hicieron más enriquecedor y significativo este camino.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Autónoma de Sinaloa**, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado en uno de sus programas reconocidos por SECIHTI. Así mismo, por el apoyo proporcionado mediante una beca, a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado.

**A la Facultad de Agricultura del Valle Fuerte**, por facilitarme los medios para culminar mis estudios de posgrado.

**Al posgrado de Maestría en Producción Agrícola Sustentable**, por darme la oportunidad de estudiar el Posgrado en Producción Agrícola Sustentable.

**A SECIHTI**, le agradezco por la beca académica otorgada en mis estudios de posgrado.

Al Dr. Quintín Armando Ayala Armenta, M.C. Juan Luis Pérez Mora, Dra. Blanca Elvira López Valenzuela y Dr. Fernando Alberto Valenzuela Escoboza por todos los apoyos que me proporcionaron durante mis estudios de Posgrado.

# ÍNDICE

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b> .....	<b>X</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
3.1. Descripción general del cultivo de tomatillo ( <i>Physalis ixocarpa</i> Brot.).....	4
3.1.1. Clasificación Taxonómica. ....	4
3.2. Descripción botánica del tomatillo .....	4
3.3. Enfermedades en el cultivo de tomatillo .....	5
3.4. <i>Fusarium</i> spp .....	5
3.4.1. Generalidades .....	5
3.5. Características macroscópicas y microscópicas de <i>Fusarium</i> spp.....	6
3.6. Control de <i>Fusarium</i> spp.....	7
<b>IV. HIPÓTESIS</b> .....	<b>9</b>
<b>V.- OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
<b>VI. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
6.1. Área de estudio .....	10
6.2. Ensayo <i>in vitro</i> de fungicidas contra <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F. nigamay</i> y <i>N. falciformis</i> .....	11
6.2.1. Reactivación de aislados .....	11
6.3. Selección de productos .....	12
6.4. Medición de variables.....	13
6.5. Ensayo bajo invernadero.....	13
6.6. Las variables a evaluar: .....	14
6.6.1. Altura de planta. ....	14
6.6.2. Peso seco y follaje .....	14
6.6.3. Volumen de raíz .....	14

6.7. Análisis estadístico.....	14
6.7.1. Variables evaluadas y su análisis estadístico .....	14
<b>VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>15</b>
7.1. Resultado del ensayo <i>in vitro</i> a dosis baja de productos químicos, biorracionales y biológicos.....	15
7.1.1. Resultado del ensayo <i>in vitro</i> a dosis alta de productos químicos, biorracionales y biológicos.....	19
7.2. Resultados invernadero .....	23
7.2.1. <i>Fusarium oxysporum</i> .....	23
7.2.2. <i>Fusarium nigamay</i> .....	24
7.2.3. <i>Neocosmospora falciformis</i> .....	26
<b>VIII. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>28</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Selección de tratamientos .....	12
Cuadro 2.- Sensibilidad <i>in vitro</i> de productos químicos y biorracionales sobre <i>Fusarium oxysporum</i> en dosis baja .....	16
Cuadro 3.- Sensibilidad <i>in vitro</i> de productos químicos y biorracionales sobre <i>Fusarium nigamay</i> en dosis baja .....	17
Cuadro 4.- Sensibilidad <i>in vitro</i> de productos químicos y biorracionales sobre <i>Neocosmospora falciformis</i> en dosis baja.....	18
Cuadro 5.- Sensibilidad <i>in vitro</i> de productos químicos y biorracionales sobre <i>Fusarium oxysporum</i> en dosis alta .....	20
Cuadro 6.- Sensibilidad <i>in vitro</i> de productos químicos y biorracionales sobre <i>Fusarium nigamay</i> en dosis alta .....	21
Cuadro 7.- Sensibilidad <i>in vitro</i> de productos químicos y biorracionales sobre <i>Neocosmospora falciformis</i> en dosis alta.....	22
Cuadro 8. Efecto de <i>Fusarium oxysporum</i> en el crecimiento de plantas de tomatillo, variedad Tequisquiapan en condiciones de invernadero .....	24
Cuadro 9. Efecto de <i>Fusarium nigamay</i> en el crecimiento de plantas de tomatillo, variedad Tequisquiapan en condiciones de invernadero .....	25
Cuadro 10. Efecto de <i>Neocosmospora falciformis</i> en el crecimiento de plantas de tomatillo, variedad Tequisquiapan en condiciones de invernadero .....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

## PÁGINA

Figura 1. Características microscópicas del género <i>Fusarium</i> .....	7
Figura 2. Área de estudio .....	10

## RESUMEN

El presente estudio evaluó la efectividad de distintos tratamientos para reducir la incidencia y agresividad de *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay* y *Neocosmospora falciformis*, hongos fitopatógenos de gran importancia económica que causa marchitez vascular y pudrición radicular en el cultivo de tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.), una especie originaria de México y Guatemala ampliamente cultivada en diversas regiones del país. Entre los principales patógenos asociados a este cultivo destacan *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* y *Macrophomina phaseolina*, responsables de la marchitez de plantas y/o muerte de plantas en diferentes etapas de desarrollo, ocasionando pérdidas significativas en rendimiento y calidad del fruto. Debido a la creciente preocupación por los daños ocasionados por estos hongos y la necesidad de alternativas sostenibles de manejo, este trabajo se planteó como objetivo determinar la sensibilidad *in vitro* de *Fusarium* spp. frente a distintos productos químicos, biológicos y biorracionales de uso agrícola. Se emplearon cepas de *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay* y *Neocosmospora falciformis*, obtenidas de plantas de tomatillo. El ensayo *in vitro* se realizó con un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, utilizando medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) adicionado con las concentraciones recomendadas de cada producto. Los tratamientos evaluados incluyeron los fungicidas químicos Procloraz, Tiabendazol y Carbendazim, así como los productos biológicos Prevence y Biosanifull, productos biorracionales *Trichoderma harzianum*, *Bacillus virens*. Los resultados mostraron que Procloraz y Tiabendazol presentaron la mayor inhibición del crecimiento micelial. En contraste, Carbendazim mostró eficacia parcial, con variaciones entre especies, mientras que los productos biológicos registraron menores inhibiciones, aunque con efectos positivos en ciertos aislados, sugiriendo posible antagonismo o estimulación indirecta de defensa. La eficacia de los mismos tratamientos se evaluó también bajo condiciones de invernadero, utilizando los aislados de *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay* y *N. Falciformis* e estableció un experimento con macetas con sustrato pasteurizado e inoculado con los patógenos que presentaron los mejores resultados en el ensayo *in vitro*. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento y tres semillas de tomatillo por cada maceta. Las variables

evaluadas incluyeron porcentaje de germinación, altura de planta, peso seco de tallo y hojas, volumen de raíz y severidad. Los resultados mostraron que los tratamientos químicos Prochloraz y Tiabendazol redujeron significativamente la incidencia de la enfermedad y favorecieron el desarrollo vegetativo. Los productos biorracionales también disminuyeron parcialmente la severidad y el vigor vegetal, destacando su potencial dentro de esquemas de manejo sustentable de los patógenos anteriormente mencionados. En conjunto, los resultados demuestran que la combinación de evaluaciones *in vitro* e *in vivo* permite identificar tratamientos efectivos para el manejo de hongos fitopatógenos en tomatillo, resaltando la importancia de explorar alternativas biológicas y biorracionales que reduzcan la dependencia de fungicidas sintéticos y contribuyan a una agricultura más sostenible.

**Palabras clave:** fungicida, hongo, sensibilidad

## ABSTRACT

The present study evaluated the effectiveness of different treatments to reduce the incidence and aggressiveness of *Fusarium* spp., a phytopathogenic fungus of major economic importance that causes vascular wilt and root rot in tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.), a species native to Mexico and Guatemala and widely cultivated in various regions of the country. Among the main pathogens associated with this crop are *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, and *Macrophomina phaseolina*, which are responsible for wilt in advanced growth stages and plant death, causing significant losses in yield and fruit quality. Due to growing concern over the damage caused by these fungi and the need for sustainable management alternatives, this work aimed to determine the *in vitro* sensitivity of *Fusarium* spp. to different chemical and biorational agricultural products. Isolates of *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay*, and *Neocosmospora falciformis*, obtained from diseased tomatillo plants, were used in the study. The *in vitro* assay was conducted under a completely randomized design with four replications per treatment, using PDA medium supplemented with the recommended concentrations of each product. The treatments evaluated included the chemical fungicides Prochloraz, Thiabendazole, and Carbendazim, as well as the biological products Prevence and Biosanifull. The results showed that Prochloraz and Thiabendazole exhibited the highest inhibition of mycelial growth, surpassing 80% in most isolates. In contrast, Carbendazim showed partial efficacy, with variations among species, while the biological products displayed lower levels of inhibition but presented positive effects in certain isolates, suggesting possible antagonism or indirect stimulation of plant defense responses. The effectiveness of the same treatments was also assessed under greenhouse conditions using the previously characterized *Fusarium* isolates. A pot experiment was established with tomatillo plants grown in sterilized substrate inoculated with the pathogens, and the selected treatments were applied according to the optimal doses determined *in vitro*. The experimental design was completely randomized, with three replications per treatment and three plants per experimental unit. The variables evaluated included disease incidence, plant height, shoot dry weight, root volume, and germination inhibition. The results showed that the chemical treatments Prochloraz and Thiabendazole significantly reduced disease incidence and promoted vegetative development. The biorational products also demonstrated beneficial effects by partially reducing disease severity and enhancing plant vigor, highlighting their potential as components of sustainable management strategies for *Fusarium* spp. Overall, these findings demonstrate that combining *in vitro* and *in vivo* evaluations is useful for identifying effective treatments for managing phytopathogenic fungi in tomatillo. Furthermore, the study underscores the importance of continuing to explore biological and biorational control alternatives to reduce dependence on synthetic fungicides and contribute to more sustainable and environmentally responsible agriculture.

**Keywords:** fungicide, fungi, sensitivity

## I. INTRODUCCIÓN

El tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una planta anual originaria de México y Guatemala, ampliamente cultivada en regiones tropicales y subtropicales, principalmente en países del continente americano (González-Pérez y Guerrero-Beltrán, 2021). En México, se establecieron durante el ciclo agrícola 2023-2024, 39,396.78 ha, con una producción total de 694,327.31 t y un rendimiento promedio nacional de 18.51 t ha. Los principales estados productores fueron Sinaloa, Jalisco, Puebla, Michoacán, Estado de México y Guanajuato (SIAP, 2024). En nuestra entidad destaca como principal productor, con 7,239.10 ha y 136,593.29 t, que representan el 15% de la producción nacional, con un rendimiento promedio de 19.98 t ha (SIAP, 2024). El cultivo de tomatillo se ve afectado en ocasiones por su comercialización pero también disminuye sus producciones cuando se ve afectado por patógenos que afectan este cultivo donde destacan los virus, bacterias, nematodos y hongos, entre los que resaltan *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* y *Macrophomina phaseolina* (Apodaca-Sánchez *et al.*, 2008). Estos organismos ocasionan marchitez o “secadera” en diferentes etapas del desarrollo, provocando flacidez y amarillamiento del follaje, desprendimiento de frutos y, en casos severos, la muerte de la planta (Ayala-Armenta *et al.*, 2020). El control de estas enfermedades se ha basado principalmente a base de productos químicos. La resistencia de poblaciones de *Fusarium* spp. a fungicidas es un problema creciente en sistemas agrícolas, en el que especies como *F. oxysporum*, *F. pseudograminearum* y *F. solani* han desarrollado resistencia a grupos importantes de fungicidas como triazoles y benzimidazoles, debido a mecanismos como mutaciones de sitio diana y activación de bombas de flujo, lo que complica su manejo químico y subraya la necesidad de enfoques de manejo integrado de enfermedades (Khan *et al.*, 2025; Vargas *et al.*, 2023). por otro lado los productos biológicos y biorracionales son alternativas para el control de la enfermedad y son amigables al medio ambiente. Tiabendazol ha demostrado capacidad para inhibir el desarrollo de especies de *Fusarium*, especialmente en aplicaciones pos cosecha (Medina-Osti *et al.*, 2022). no obstante, diversos estudios señalan que su eficacia

puede verse comprometida por la aparición de aislamientos resistentes en zonas con uso intensivo del ingrediente activo, Carbendazim se ha caracterizado por presentar una elevada actividad *in vitro* y un control aceptable en condiciones de campo, aunque también se han documentado disminuciones en la sensibilidad de algunas poblaciones, lo que sugiere la necesidad de limitar su empleo continuo. En contraste, Procloraz se posiciona como uno de los fungicidas más consistentes para reducir la incidencia y severidad causada por *Fusarium*, tanto en tratamientos a semilla como en aplicaciones al suelo, aun cuando existe evidencia de que un uso repetido puede favorecer la selección de resistencia. A partir de estudios comparativos, se reconoce que el Procloraz tiende a superar la eficacia de Carbendazim y Tiabendazol, cuyos desempeños pueden variar según la especie y las condiciones de manejo. en conjunto, la literatura coincide en que estos fungicidas resultan más efectivos cuando se aplican de manera preventiva y se integran dentro de un programa de manejo integrado que combine distintas herramientas para preservar su efectividad a largo plazo. El uso intensivo de productos químicos en la agricultura puede generar impactos ambientales significativos, entre ellos la contaminación del suelo y del agua por acumulación o arrastre de residuos, la disminución de la biodiversidad al afectar organismos benéficos y polinizadores, y la persistencia de compuestos que alteran procesos ecológicos esenciales. Además, su aplicación repetida favorece la aparición de resistencia en plagas y patógenos, lo que incrementa la dependencia de insumos químicos y agrava los riesgos ambientales. Estos efectos resaltan la importancia de adoptar prácticas de manejo más sostenibles y racionales (Li-Zhou *et al.*, 2016) (Ceballos-Chávez *et al.*, 2024). Como alternativas sustentables se han propuesto productos biológicos, como *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. (Ceballos-Chávez *et al.*, 2024). Por ello, el objetivo de esta investigación fue estimar la sensibilidad *in vitro* y bajo invernadero de *Fusarium* spp. frente a productos químicos y biorracionales.

## II. ANTECEDENTES

El tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) se encuentra ampliamente distribuido en regiones tropicales y subtropicales (González-Pérez y Guerrero-Beltrán, 2021). En México, se establecieron durante el ciclo agrícola 2023-2024, 39,396.78 ha, con una producción total de 694,327.31 t y un rendimiento promedio nacional de 18.51 t ha. Los principales estados productores fueron Sinaloa, Jalisco, Puebla, Michoacán, Estado de México y Guanajuato (SIAP, 2024). En nuestra entidad destaca como principal productor, con 7,239.10 ha y 136,593.29 t, con un rendimiento promedio de 19.98 t ha (SIAP, 2024). El cultivo de tomatillo se ve afectado en ocasiones por su comercialización pero también disminuye sus producciones cuando se ve afectado por patógenos que afectan este cultivo donde destacan los virus, bacterias, nematodos y hongos, entre los que resaltan *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* y *Macrophomina phaseolina* (Apodaca-Sánchez *et al.*, 2008). En el 2014 (Zhao y Selyaraj) evaluaron cepas de *Bacillus* frente a *Fusarium graminearum*, observándose que varias de ellas lograron inhibir el crecimiento del patógeno tanto *in vitro* como en planta, lo que confirmó su eficacia como agentes biocontroladores. En 1996 (Hanson y Schwager) evaluaron la sensibilidad de Tiabendazol en ensayos *in vitro* de podredumbre de patata, donde se documentaron rangos de inhibición micelial y aparición de aislamientos con resistencia a este, aportando información importante sobre la eficiencia y riesgos al usar este producto. En el 2024 (Matelioniene y Suproniene) trabajaron con Procloraz en plantas de malas hierbas, donde trabajaron con especies de *Fusarium*, y su resultado fue alta eficiencia para detener el crecimiento micelial en pruebas *in vitro*, y en algunos casos bajo invernadero. En 2014 (Yossen y Conles) evaluaron a *Fusarium oxysporum* en condiciones *in vitro*, muestran que Carbendazim inhibe el crecimiento micelial de *Fusarium* spp. Con variación de EC<sub>50</sub> entre aislamientos. En 2021 (Rubio y Tinajero) trabajaron con *Trichoderma asperellum* y *T. harzianum*, y *Fusarium oxysporum*, donde *Trichoderma* mostro antagonismo *in vitro* frente a *Fusarium oxysporum* por confrontación directa. En 2016 (Juárez) evaluó a cepas de *Bacillus subtilis*, *B. velenzenesis*, *B. lincheniformis*, en *in vitro* y en invernadero a estas cepas como antagonistas contra *Fusarium* spp. en cultivo de tomatillo de cascara, teniendo como

resultado inhibición del crecimiento micelial y en planta mejoras de vigor y reducción de severidad de secadera.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Descripción general del cultivo de tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.)

##### 3.1.1. Clasificación Taxonómica.

Reino: Vegetal División: Espermatofita

Clase: Angiospermae

Subclase: Dicotyledonae

Orden: Polemoniales

Familia: Solanaceae

Tribu: Solanae

Género: *Physalis*

Especie: *Physalis ixocarpa* Brot.

Cabe señalar que algunos investigadores señalan que el nombre válido actual del tomatillo cultivado en México es el de *Physalis philadelphica* Lam. (CONABIO, 2009).

#### 3.2. Descripción botánica del tomatillo

La semilla del tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.), tiene un tamaño aproximado de 1 a 2 mm de diámetro; presenta una forma redonda a ligeramente arriñonada y aplanada, color amarillo claro a beige cuando está seca y una superficie lisa o ligeramente rugosa (Sánchez y Vargas, 2008). El tomate de cáscara o tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.), es una planta herbácea, anual de 40 a 90 cm de altura y en ocasiones puede alcanzar hasta más de 120 cm de altura. El fruto es una baya y se encuentra cubierto por el cáliz (Constantino, S., y Maritza, G. 2006). En *Physalis ixocarpa*, los frutos son bayas carnosas encerradas por un cáliz papiráceo y contienen numerosas semillas ovoides, planas y glabras (Seleem y Nassar, 2021). El tallo de esta especie es herbáceo, erecto y estriado, con hojas simples y pecioladas características del género *Physalis* (Seleem y Nassar, 2021). La semilla, se ha documentado que la cantidad de semillas por fruto

puede variar según el estadio de madurez, con valores observados alrededor de 221–270 semillas por fruto en condiciones experimentales (Pérez-Camacho *et al.*, 2023).

### 3.3. Enfermedades en el cultivo de tomatillo

El tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) es un cultivo que se ve afectado por diversas enfermedades que ocasionan pérdidas económicas importantes donde se destaca la cenicilla (*Oidium* sp.), la mancha foliar (*Cercospora physalidis*), el carbón blanco (*Entyloma australe*), y la marchitez (*Fusarium* spp., *Rizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina*) (Guerra-Sánchez *et al.*, 2021)

### 3.4. *Fusarium* spp.

#### 3.4.1. Generalidades

Las especies de *Fusarium* constituyen un grupo amplio y diverso de hongos filamentosos ascomicetos (orden Hypocreales, familia Nectriaceae), Leslie, J. & Summerell, B. (2024). Ampliamente estudiados como patógenos de plantas y saprófitos del suelo. El género *Fusarium* produce colonias macroscópicas de crecimiento rápido, su micelio es principalmente aéreo, abundante, algodónoso y su color varía de blanco a rosado (Rattink *et al.*, 2000).

Estos hongos tienen un rango de adaptabilidad que les permite desarrollarse en diversos ambientes y nichos ecológicos. *Fusarium* suele encontrarse en suelos húmedos, en restos vegetales en descomposición (Tovar-Pedraza *et al.*, 2025). *Fusarium oxysporum* presenta tres estructuras de resistencia, macroconidios, microconidios y clamidosporas.

*Fusarium nigamay* ha sido caracterizado morfológicamente en estudios taxonómicos clásicos, y se ha encontrado que algunos aislados no producen clamidosporas, sino que forman células hifales engrosadas o hifas resistentes en su lugar, además de microconidios y macroconidios, lo cual se ha utilizado para distinguirlo de otras especies de *Fusarium* patógenos (Klaasen y Nelson, 1998).

Por otro lado, especies pertenecientes al complejo *Fusarium solani*, actualmente tratadas dentro del género *Neocosmospora* (*Neocosmospora falciformis*, antes *Fusarium falciforme*), también presentan macroconidios multiseptados, y en muchos casos se observan clamidosporas abundantes como estructuras de resistencia al cultivo y en su ciclo de vida asexual; estas características morfológicas forman parte de las claves diagnósticas para diferenciar estos hongos en cultivos y medios de laboratorio (Kamali-Sarvestani *et al.*, 2022).

### 3.5. Características macroscópicas y microscópicas de *Fusarium* spp.

El género *Fusarium* pertenece al Reino Fungi y se clasifica dentro del Phylum *Ascomycota*, Clase *Sordariomycetes*, Orden *Hypocreales* y Familia *Nectriaceae*. Desde su descripción inicial en el siglo XIX, este género ha adquirido gran importancia debido a su amplia distribución mundial y al impacto económico que genera en diversos cultivos. Las especies de *Fusarium* se encuentran asociadas principalmente al suelo y al sistema radicular de las plantas, donde pueden comportarse como organismos saprófitos o patógenos, dependiendo de las condiciones ambientales Yli-Mattila, T. (2016). En su ciclo de vida, la mayoría de las especies producen macroconidios, microconidios y clamidosporas, estructuras fundamentales para su reproducción, dispersión y supervivencia. La clasificación del género es compleja, ya que algunas especies presentan fases sexuales y asexuales que históricamente han sido asignadas a distintos grupos taxonómicos y con denominaciones diferentes (Ayala-Armenta, 2020).

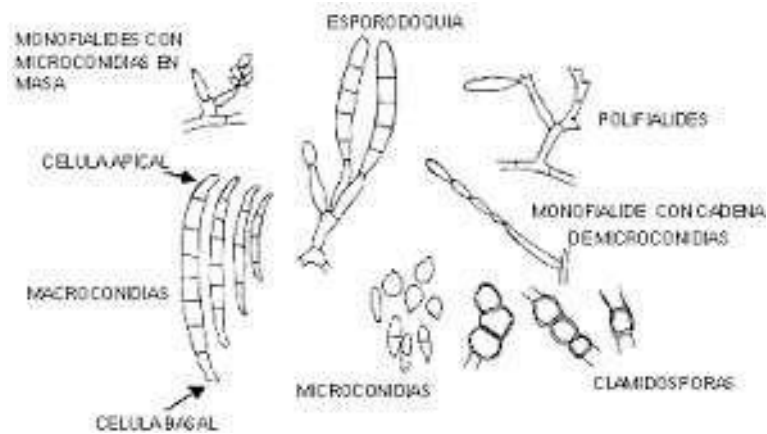


Figura 1. Características microscópicas del género *Fusarium* (Monzón y Rodríguez, 2001).

### 3.6. Control de *Fusarium* spp.

En estudios de laboratorio, los fungicidas sistémicos como Carbendazim y Tiabendazol han demostrado capacidad significativa para inhibir el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* en ensayos *in vitro*, presentando mayor eficacia en comparación con fungicidas de contacto cuando se aplican en diferentes dosis. (Yossen y Conles, 2014).

La antagonía biológica contra *Fusarium oxysporum* mediante microorganismos benéficos ha sido ampliamente documentada. En evaluaciones *in vitro*, especies de *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma harzianum* así como aislamientos de *Bacillus* spp. exhibieron capacidad antagonista al inhibir el crecimiento de *F. oxysporum* y otros hongos fitopatógenos, lo que sugiere su potencial como agentes de control biológico. (Rubio-Tinajero *et al.*, 2021)

Investigaciones han demostrado que las interacciones entre *Bacillus* y *Trichoderma* pueden potenciar el control de *Fusarium oxysporum* en suelos agrícolas, lo cual está relacionado con la producción de metabolitos antimicrobianos y mecanismos de

cooperación entre estos antagonistas que aumentan la supresión del patógeno y la protección de la planta. (Zhang *et al.*, 2025).

Formulaciones biológicas como Prevence T3, que contienen cepas de *Trichoderma*, ejercen su efecto de biocontrol mediante múltiples mecanismos antagonistas que incluyen competencia por recursos, micoparasitismo y producción de compuestos enzimáticos que inhiben el desarrollo de *Fusarium* spp., al tiempo que estimulan las defensas de la planta hospedera y su sano crecimiento (Infante, Martínez y Martínez Coca, 2021; *Frontiers in Microbiology*, 2021).

El cobre (Cu), en diversas formulaciones como óxidos o sales, actúa como un antifúngica directa contra *Fusarium* spp., inhibiendo el crecimiento micelial del hongo. El efecto se atribuye principalmente a la liberación de iones de cobre que causan daño a las hifas y alteran la biosíntesis de ergosterol, un componente esencial de las membranas celulares fúngicas, lo que compromete la integridad de la célula del hongo y reduce su desarrollo. (Rosas-Díaz *et al.*, 2025; Parada *et al.*, 2024)

Biowall, contiene microorganismos benéficos *Trichoderma harzianum* y *Bacillus licheniformis*, ejerce su efecto mediante mecanismos de control biológico multifactoriales en la rizosfera. Estos mecanismos incluyen la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos con actividad antifúngica y el mico parasitismo, procesos que limitan el establecimiento y desarrollo de hongos fitopatógenos del suelo. La acción combinada de estos microorganismos contribuye a la inhibición del crecimiento y la reducción de la incidencia de especies del género *Fusarium*, favoreciendo simultáneamente la sanidad radicular y el desarrollo de la planta hospedera. (Lo y Lin, 2012; Cruz *et al.*, 2019).

#### IV. HIPÓTESIS

El cultivo de tomatillo se ve afectado por *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay*, *N. falciformis* los cuales inducen la marchitez o secadera.

## V.- OBJETIVOS

### Objetivo general

Determinar la efectividad de productos químicos, biológicos y biorracionales para el control de *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay* y *N. falciformis* en el cultivo de tomatillo.

### Objetivos específicos

- Evaluar la sensibilidad *in vitro* de *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay* y *N. falciformis* contra productos químicos, biológicos y biorracionales.
- Determinar la efectividad de productos químicos, biológicos y biorracionales sobre *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay* y *N. falciformis* en el cultivo de tomatillo bajo condiciones de invernadero.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte (FAVF), ubicado en Calle 16 s/n, esquina Japaraqui, Juan José Ríos, C.P. 81110, El Estero, Sinaloa, México (latitud 25°45'21" N, longitud 108°50'22" W) . Se establecieron dos ensayos: el primer ensayo *in vitro* se estableció en el Laboratorio de Fitopatología y el otro ensayo en invernadero. Esta unidad académica, perteneciente a la Universidad Autónoma de Sinaloa, cuenta con la infraestructura adecuada para el manejo y evaluación de microorganismos fitopatógenos y para la realización de ensayos de control químico, biológico y biorracional de enfermedades de plantas.



Figura 2. Área de estudio

En estos ensayos se probaron productos químicos Tiabendazol (Tecto® 60), Procloraz (Sportak®) y Carbendazim (Derosal® 500), así como los productos biorracionales y biológicos Prevence® (formulado con *Trichoderma harzianum*, *T. asperellum* y *T. yunnanense*), Biowall® (*Bacillus licheniformis*), Talocuper® (fuente de cobre, Cu) y Biosanifull® (sales cuaternarias).

## 6.2. Ensayo *in vitro* de fungicidas contra *Fusarium oxysporum*, *F. nigamay* y *N. falciformis*.

### 6.2.1. Reactivación de aislados

Los aislados utilizados en esta investigación correspondieron a *F. oxysporum*, *F. nigamay* y *N. falciformis* previamente identificados molecularmente. Para la reactivación los patógenos, se tomaron porciones de arena estéril inoculada con el patógeno y se transfirieron a cajas Petri con medio nutritivo PDA. Las cajas se incubaron a  $25 \pm 1$  °C durante 7 días en condiciones de oscuridad para el desarrollo del organismo patógeno. También se reactivó el agente biocontrolador *Trichoderma harzianum* mediante la siembra de una rodaja de 5 mm de *Trichoderma* sobre medio PDA en cajas petri, se incubaron a 25 °C durante 5 días, para la observación del el crecimiento del micelio de color verde característico.

Para este ensayo de sensibilidad se utilizaron los aislados de *F. oxysporum*, *F. nigamay* y *N. falciformis*. Las actividades experimentales se desarrollaron bajo condiciones estrictas de asepsia. Para ello se utilizó una campana de flujo laminar marca Thermo Scientific™, para la preparación de medios de cultivo, siembra, transferencia y manipulación de los aislados fúngicos, con el fin de evitar contaminaciones cruzadas y garantizar la confiabilidad de los resultados. Las incubaciones se efectuaron en cámaras de crecimiento con control de temperatura marca Binder®, ajustadas a  $25 \pm 1$  °C, condiciones óptimas para el desarrollo de los hongos evaluados. Adicionalmente, se emplearon medios BIOXON® para la preparación de cultivos y pruebas microbiológicas.

Para la evaluación *in vitro* de la efectividad de productos químicos, biológicos y biorracionales contra los aislados patógenos ya mencionados, se utilizó la técnica de medio envenenado empleando papa dextrosa agar (PDA). Las dosis de cada producto se calcularon con base en la concentración de ingrediente activo establecida para cada tratamiento

### 6.3. Selección de productos

La selección de los tratamientos se realizó considerando productos de uso común en el manejo fitosanitario y alternativas biológicas empleadas en el control de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos.

Cuadro 1. Selección de tratamientos

<b>Fungicidas químicos</b>	<b>Concentración de ingrediente activo (ppm)</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>Empresa fabricante</b>
Tiabendazol	<b>10g - 25g</b>	Tecto 60	Syngenta
Carbendazim	<b>50.8μ - 508μ</b>	Derosal 500	Syngenta
Procloraz	<b>100μ- 550μ</b>	Sportak 45 CE	FMC
<b>Fungicida Biorracionales</b>			
Talocuper	<b>4.0μ</b>	Talocuper	LIDA de México
Prevence	<b>4.0μ</b>	Prevence	BioStar México
Biosanifull	<b>4.8μ</b>	Biosanifull	Gruindag
Biowall	<b>4.8μ</b>	Biowall	FAGRO

g= gramos, μ= microlitros

Los aislados mencionados fueron expuestos a dosis bajas de fungicidas químicos, incluyendo Tiabendazol (Tecto® 60), Procloraz (Sportak®) y Carbendazim (Derosal® 500). Asimismo, se evaluaron productos biológicos y biorracionales, entre los que se incluyeron Prevence®, formulado a base de *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum* y *Trichoderma yunnanense*; Biowall® a base de *Bacillus licheniformis*; Talocuper® (cobre, Cu); Biosanifull® (sales cuaternarias de amonio); y un tratamiento adicional con *Trichoderma harzianum*.

Las concentraciones evaluadas se establecieron en niveles inferiores a las dosis comerciales recomendadas, con el propósito de analizar el efecto inhibitorio de cada producto sobre el crecimiento micelial de los hongos fitopatógenos y explorar su potencial como alternativas de manejo con menor impacto químico.

#### 6.4. Medición de variables

En el ensayo *in vitro* se evaluó la inhibición del crecimiento micelial de *F. oxysporum*, *F. nigamay* y *N. falciformis* mediante la medición del diámetro de la colonia cada 24 h, con un vernier digital. Para la medición del crecimiento de los aislados contra *Trichoderma harzianum* consistió en medir el diámetro de crecimiento de cada uno. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza mediante el paquete estadístico Infostat®, aplicándose pruebas de comparación de medias cuando se detectaron diferencias significativas.

#### 6.5. Ensayo bajo invernadero

En este ensayo se probó la eficiencia de los productos químicos, biológicos y biorracionales más eficientes obtenido en el ensayo *in vitro* sobre el cultivo de tomatillo. Se utilizó los productos químicos Tiabendazol (Tecto® 60), Procloraz (Sportak®) y Carbendazim (Derosal® 500). Asimismo, se evaluaron productos biológicos y biorracionales, entre los que se incluyeron Prevence®, formulado a base de *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum* y *Trichoderma yunnanense*; Biowall® a base de *Bacillus licheniformis*; Talocuper® (cobre, Cu); Biosanifull® (sales cuaternarias de amonio); y un tratamiento biorracional *Trichoderma harzianum*. El material comercial de tomatillo utilizado fue: variedad Tequisquiapan, de la marca OPTIMUS SEEDS. Para el experimento se utilizaron macetas de 3 kg de capacidad, con sustrato peat most Pro-Mix® GT previamente pasteurizado. En cada maceta se inoculó con 16 gr de maíz más patógeno luego se colocaron tres semillas de tomatillo. El manejo agronómico se llevó a cabo de manera uniforme durante todo el periodo experimental. Cada tratamiento experimental estuvo conformado por la combinación de un aislado fúngico y un producto químico, biológico o biorracional, lo que permitió evaluar de manera comparativa la efectividad de los distintos productos en el manejo de los patógenos evaluados bajo condiciones de invernadero. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar, considerando tres repeticiones por tratamiento, donde cada maceta representó una unidad experimental.

## 6.6. Las variables a evaluar:

6.6.1. Altura de planta. Se midió con una regla graduada en centímetros.

6.6.2. Peso seco de tallo y follaje. El peso se obtuvo con una balanza. La parte aérea de cada planta se separó y se colocó en bolsas de papel, posteriormente se secó en una estufa de aire forzado a 70 °C durante 48 horas, hasta peso constante. El peso seco se determinó mediante una balanza analítica.

6.6.3. Volumen de raíz.

Se obtuvo mediante una probeta graduada. El volumen desplazado se registró en mililitros como indicador del desarrollo radical, de acuerdo con el método de desplazamiento de agua descrito por Böhm (1979).

## 6.7. Análisis estadístico

Las variables evaluadas en el ensayo bajo invernadero se analizaron mediante un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico Infostat®, cuando se detectaron diferencias significativas se aplicaron pruebas de comparación de medias. En los casos en que no se cumplieron los supuestos de normalidad u homogeneidad de varianza, se emplearon pruebas no paramétricas.

### 6.7.1. Variables evaluadas y su análisis estadístico

Se evaluaron variables de crecimiento vegetativo, incluyendo la altura de la plántula, el diámetro del tallo, el volumen del sistema radical y el peso seco del tallo y del follaje. La severidad de los síntomas asociados a la enfermedad se determinó mediante una adaptación de la escala propuesta por Correll *et al.*, 1986. Considerando las siguientes categorías: 0, planta sana; 1, ligera decoloración de la raíz; 2,

decoloración extensa del tejido vascular radicular; 3, pudrición ligera de la raíz; 4, pudrición severa de la raíz; y 5, semilla no germinada o muerte de la plántula. Previo al análisis estadístico, los datos fueron sometidos a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965), así como a la prueba F para la homogeneidad de varianzas, con el fin de verificar el cumplimiento de los supuestos necesarios para la aplicación de análisis estadísticos posteriores.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Resultado del ensayo *in vitro* a dosis baja de productos químicos, biorracionales y biológicos.

Los resultados obtenidos en el ensayo *in vitro* a dosis baja mostraron que los fungicidas químicos presentaron una mayor inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum*, en comparación con los productos biorracionales. No obstante, dentro de estos últimos, Prevence® y Biosanifull® destacaron por su efecto inhibitorio significativo (Cuadro 2).

Los resultados evidencian que Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim presentaron la mayor inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* en todos los tiempos de evaluación (24, 48, 72, 95 y 120 horas), en comparación con el testigo (Cuadro 2). En cuanto a los productos biorracionales, a las 48 y 72 horas Prevence y Biowall mostraron inhibición del crecimiento micelial respecto al testigo. A las 95 horas, Prevence y Talocuper evidenciaron cierta inhibición, mientras que a las 120 horas Prevence y Biosanifull también presentaron reducción del crecimiento micelial en comparación con el testigo (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Sensibilidad *in vitro* de productos químicos y biorracionales sobre *Fusarium oxysporum* en dosis baja.

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	95h	120h
Tiabendazol	10.0 g	7.0 a	6.5 a	6.5 a	7.0 a	7.0 a
Procloraz	50.8 μ	7.0 a	6.5 a	6.5 a	7.0 a	7.0 a
Carbendazim	100 μ	7.0 a	6.5 a	6.5 a	7.0 a	7.0 a
Prevence	4.0 μ	13.7 bc	18.3 ab	17.5 ab	18 ab	17.3 ab
Biowall	4.8 μ	19.2 ac	21.1 ab	18.2 ab	20.8 b	20.3 b
Biosanifull	4.8 μ	21.7 bc	21.3 bc	20.6 bc	22.1 b	20.7ab
Talocuper	4.0 μ	25.7 bc	24.8 bc	25.7 bc	19.5 ab	22.5 b
Testigo	---	31.0 c	30.0 c	31.0 c	30.5 b	30.5 b

Rango que no comparten la misma letra en cada columna, presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia del  $\alpha=0.05$ , g= gramos, μ= microlitro

Los resultados obtenidos en el Cuadro 2 evidencian que los fungicidas químicos Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim presentaron una alta inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum*, lo cual concuerda con reportes previos que documentan su eficacia al interferir con procesos celulares clave como la división celular y la organización de microtúbulos en hongos fitopatógenos (Leslie y Summerell, 2006; Brent y Hollomon, 2007). Esta respuesta confirma la elevada sensibilidad del patógeno a fungicidas sistémicos, incluso a dosis bajas. En contraste, los productos biorracionales, Prevence®, mostraron un efecto inhibitorio moderado sobre el crecimiento micelial, lo que es consistente con estudios que señalan que los agentes biológicos, como especies de *Trichoderma*, ejercen su acción mediante mecanismos indirectos como competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y producción de metabolitos antifúngicos, los cuales suelen manifestarse con menor intensidad en condiciones *in vitro* en comparación con fungicidas sintéticos (Harman *et al.*, 2004; Rubio-Tinajero *et al.*, 2021).

En el caso de *Fusarium nigamay*, los productos químicos también mostraron una inhibición importante del crecimiento micelial, mientras que entre los productos biorracionales, Prevence® logró una reducción parcial del desarrollo del patógeno (Cuadro 3). Los resultados obtenidos evidencian que Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim presentaron la mayor inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium nigamay* en todos los tiempos de evaluación (24, 48, 72, 96 y 120 horas), en comparación con el testigo (Cuadro 3).

En relación con los productos biorracionales, a las 48, 72 y 96 horas Prevence y Biowall mostraron inhibición del crecimiento micelial con respecto al testigo, mientras que a las 120 horas Prevence mantuvo cierta inhibición en comparación con el testigo. Por su parte, Biosanifull y Talocuper mostraron menor efecto inhibitorio durante los tiempos evaluados (Cuadro3).

Cuadro 3.- Sensibilidad *in vitro* de productos químicos y biorracionales sobre *Fusarium nigamay* en dosis baja.

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	96h	120h
Tiabendazol	10.0 g	7.0 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a
Procloraz	50.8 $\mu$	7.0 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a
Carbendazim	100 $\mu$	7.0 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a
Prevence	4.0 $\mu$	13.7 bc	18.3 ab	17.5 ab	14.7ab	14.7 ab
Biowall	4.8 $\mu$	19.2 ac	21.1 ab	18.2 ab	18.7ac	18.2 ac
Biosanifull	4.8 $\mu$	21.7 bc	21.3 bc	20.6 bc	22bc	22.5 bc
Talocuper	4.0 $\mu$	25.7 bc	24.8 bc	25.7 bc	26.5bc	26.5 bc
Testigo	---	31.0 c	30.0 c	31.0 c	30.5c	30.5 c

Rango que no comparten la misma letra en cada columna, presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia del  $\alpha = 0.05$ , g= gramos,  $\mu$ = microlitros.

Los resultados obtenidos en el Cuadro 3 muestran que los fungicidas químicos Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim presentaron una alta inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium nigamay* a dosis baja, manteniendo diámetros de colonia significativamente menores en comparación con el testigo durante todo el periodo de evaluación. Estos resultados confirman la elevada sensibilidad del patógeno a fungicidas sistémicos, los cuales actúan interfiriendo procesos celulares esenciales como la división nuclear y la organización de microtúbulos, provocando una marcada reducción del crecimiento micelial (Leslie y Summerell, 2006; Brent y Hollomon, 2007).

En contraste, los productos biorracionales evaluados mostraron una inhibición moderada del crecimiento micelial con respecto al testigo. Dentro de este grupo, Prevence®, formulado con especies de *Trichoderma*, presentó los menores valores de crecimiento, diferenciándose del testigo y del resto de los productos biorracionales. Este comportamiento coincide con lo reportado por Harman *et al.* (2004) y Rubio-Tinajero *et al.* (2021), quienes señalan que *Trichoderma* spp. Inhiben a especies de *Fusarium* mediante mecanismos como la competencia por espacio y nutrientes, el micoparasitismo y la producción de metabolitos antifúngicos, aunque con una intensidad generalmente menor a la observada con fungicidas químicos bajo

condiciones

*in*

*vitro.*

Los resultados obtenidos muestran que Tiabendazol y Procloraz presentaron la mayor inhibición del crecimiento micelial de *Neocosmospora falciformis* en todos los tiempos de evaluación (24, 48, 72, 96 y 120 horas), manteniéndose estadísticamente diferentes respecto del testigo (Cuadro 4). Por su parte, Carbendazim mostró un comportamiento similar hasta las 72 horas con respecto al testigo; sin embargo, a las 96 y 120 horas su efecto inhibitorio disminuyó, registrándose un mayor crecimiento micelial en comparación con los tratamientos más efectivos. En cuanto a los productos biorracionales, Prevence evidenció una reducción moderada del crecimiento micelial durante todo el periodo de evaluación. Biowall mostró un efecto intermedio, con ligera disminución del crecimiento con respecto al testigo, particularmente hasta las 72 horas. Biosanifull y Talocuper presentaron menor efecto inhibitorio, registrando valores más cercanos al testigo, (Cuadro 4).

Cuadro 4.- Sensibilidad *in vitro* de productos químicos y biorracionales sobre *Neocosmospora falciformis* en dosis baja

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	96h	120h
Tiabendazol	10.0 g	6.5 a	6.5 a	6.5 a	4.5 a	4.5 a
Procloraz	50.8 $\mu$	6.5 a	6.5 a	6.5 a	4.5 a	4.5 a
Carbendazim	100 $\mu$	6.5 a	6.5 a	6.5 a	13.3ab	17.1ac
Prevence	4.0 $\mu$	15.0 ab	14.5 ab	14.5 ab	11.6ab	13.2ab
Biowall	4.8 $\mu$	18.0 ab	18.2 ac	18.5 ac	19.25bc	13.1ab
Biosanifull	4.8 $\mu$	22.5 bc	22.5 bc	22.5 bc	21.7bc	22.5bc
Talocuper	4.0 $\mu$	26.5 bc	26.5 bc	26.7 bc	27.5c	27.2c
Testigo	---	30.5 c	30.5 c	30.5 c	29.5c	29.5 c

Rango que no comparten la misma letra en cada columna, presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia del  $\alpha = 0.05$ , g= gramos,  $\mu$ = microlitros.

Los resultados del cuadro 4 indican que *Neocosmospora falciformis* presentó una alta sensibilidad *in vitro* a dosis bajas de fungicidas químicos, particularmente Tiabendazol y Procloraz, los cuales registraron los menores diámetros de crecimiento micelial durante todo el periodo de evaluación, diferenciándose significativamente del tratamiento testigo.

Este comportamiento concuerda con lo reportado por Leslie y Summerell (2006), quienes señalan que los fungicidas Tiabendazol y Procloraz afectan directamente la división celular y la organización de los microtúbulos, provocando una marcada inhibición del crecimiento micelial en especies del complejo *Fusarium* – *Neocosmospora*.

Por su parte, Carbendazim mostró un efecto inhibitorio moderado, lo cual ha sido previamente documentado en *Fusarium spp.*, donde se reportan variaciones en la sensibilidad dependiendo del aislado y del historial de exposición a fungicidas (Leslie y Summerell, 2006). En cuanto a los productos biorracionales, se observó una inhibición significativa pero inferior a la de los fungicidas químicos, destacando Prevence® como el tratamiento más eficiente dentro de este grupo. Este comportamiento es consistente con estudios que indican que especies de *Trichoderma* ejercen su acción antagonista mediante mecanismos como competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y producción de metabolitos antifúngicos, los cuales suelen manifestarse de forma gradual bajo condiciones *in vitro* (Howell, 2003; Benítez *et al.*, 2004).

Asimismo, Harman *et al.*, (2004) reportan que la eficacia de *Trichoderma spp.* puede variar dependiendo del aislado, la dosis y las condiciones ambientales, lo que explica la menor inhibición observada en comparación con fungicidas sintéticos. No obstante, el efecto mostrado por los productos biorracionales es relevante desde el enfoque de la agricultura sustentable, ya que representan alternativas con menor impacto ambiental y pueden integrarse de manera complementaria en programas de manejo integrado de enfermedades del suelo.

7.1.1. Resultado del ensayo *in vitro* a dosis alta de productos químicos, biorracionales y biológicos.

En la evaluación a dosis alta, los fungicidas químicos mostraron un control eficiente del crecimiento micelial de *F. oxysporum*, mientras que los productos biorracionales Prevence®, Biowall® y Biosanifull® presentaron una inhibición significativa en comparación con el testigo (Cuadro 5).

Los resultados obtenidos muestran que Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim presentaron la mayor inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* durante todos los tiempos de evaluación (24, 48, 72, 95 y 120 horas), manteniéndose estadísticamente diferentes del testigo (Cuadro 5). Estos tratamientos registraron los valores más bajos de crecimiento micelial, evidenciando su alta eficacia inhibitoria.

En cuanto a los productos biorracionales, Prevence y Biowall mostraron una inhibición micelial a las 48 y 72 horas en comparación al testigo (Cuadro 5). En general, los tratamientos químicos demostraron mayor eficacia que los productos biorracionales en la inhibición del crecimiento micelial de *F. oxysporum* a dosis alta (Cuadro 5).

Cuadro 5.- Sensibilidad *in vitro* de productos químicos y biorracionales sobre *Fusarium oxysporum* en dosis alta.

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	95h	120h
Tiabendazol	10.0 g	7.0 a	6.5 a	6.5 a	7.0 a	7.0 a
Procloraz	50.8 $\mu$	7.0 a	6.5 a	6.5 a	7.0 a	7.0 a
Carbendazim	100 $\mu$	7.0 a	6.5 a	6.5 a	7.0 a	7.0 a
Prevence	4.0 $\mu$	13.3 bc	18.3 ab	17.5 ab	18 ab	17.3 ab
Biowall	4.8 $\mu$	18.7 ac	21.1 ab	18.2 ab	20.8 ab	20.3 ab
Biosanifull	4.8 $\mu$	20.5 bc	21.3 bc	21.9 ac	22.1ab	20.7ab
Talocuper	4.0 $\mu$	24.1 bc	24.8 bc	25.7 bc	19.5 ac	21.6 ac
Testigo	---	31.5 c	29.0 c	31.5 c	31.5 b	30.5 b

Rango que no comparten la misma letra en cada columna, presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia del  $\alpha = 0.05$ , g= gramos,  $\mu$ = microlitros

Este comportamiento concuerda con lo reportado en la literatura, donde se documenta que los fungicidas Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim actúan eficazmente sobre *Fusarium* al interferir con procesos celulares clave, mientras que el producto biorracional, como Prevence reducen el crecimiento del patógeno mediante mecanismos indirectos como competencia y antibiosis. Aunque la eficacia de los productos biorracionales fue inferior a la de los fungicidas químicos, su efecto es

relevante desde el enfoque de la agricultura sustentable, ya que pueden incorporarse como herramientas complementarias dentro de programas de manejo integrado de enfermedades (Agris, 2005; Leslie y Summerell, 2006; Howell, 2003; Benítez *et al.*, 2004; Harman *et al.*, 2004).

Los resultados evidencian que Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim presentaron la mayor inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium nigamay* en todos los tiempos de evaluación (24, 48, 72, 96 y 120 horas), en comparación con el testigo (Cuadro 6). En cuanto a los productos biorracionales como Prevence y Biowall, a las 48, 72 y 96 horas mostraron diferencias significativas en la inhibición del crecimiento micelial con respecto al testigo, por otro lado, Prevence fue el único que mostró mayor inhibición de crecimiento micelial a las 120 horas con respecto al testigo (Cuadro 6).

Cuadro 6.- Sensibilidad *in vitro* de productos químicos y biorracionales sobre *Fusarium nigamay* en dosis alta

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	96h	120h
Tiabendazol	10.0 g	7.0 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a
Procloraz	50.8 µ	7.0 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a
Carbendazim	100 µ	7.0 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a	6.5 a
Prevence	4.0 µ	12.7 bc	15.1 ab	16.9 ab	12.0ab	13.1 ab
Biowall	4.8 µ	13.2 ac	20.6 ab	17.5 ab	18.6ab	18.3 ac
Biosanifull	4.8 µ	20.7 ac	20.4 ab	21.5 ac	22.8bc	22.1 bc
Talocuper	4.0 µ	24.7 bc	23.8 bc	25.7 bc	26.6bc	26.9 bc
Testigo	---	31.5 c	29.0 c	31.5 c	30.5c	31.5 c

Rango que no comparten la misma letra en cada columna, presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia del  $\alpha = 0.05$ , g= gramos, µ= microlitros

La alta inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium nigamay* observada con Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim concuerda con lo reportado por (Agris, 2005; Leslie y Summerell, 2006), donde se menciona que afectan procesos celulares esenciales del patógeno, resultando en una marcada reducción del crecimiento micelial. En contraste, los productos biorracionales como Prevence y Biowall mostraron un efecto inhibitorio, lo cual es consistente con su modo de acción indirecto

basado en competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y producción de metabolitos antifúngicos (Howell, 2003; Benítez *et al.*, 2004; Harman *et al.*, 2004).

Los resultados evidencian que a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas, Tiabendazol y Procloraz presentaron la mayor inhibición del crecimiento micelial de *Neocosmospora falciformis* en comparación con el testigo (Cuadro 7). Mientras que Carbendazim mostró diferencias significativas en la inhibición micelial hasta las 72 horas con respecto al testigo (Cuadro 7). En cuanto a los productos biorracionales, a las 24, 72, 96 y 120 horas Prevence y Biowall mostraron diferencias significativas de inhibición del crecimiento micelial con respecto al testigo (Cuadro 7).

Cuadro 7.- Sensibilidad *in vitro* de productos químicos y biorracionales sobre *Neocosmospora falciformis* en dosis alta

PRODUCTOS	DOSIS	24h	48h	72h	96h	120h
Tiabendazol	10.0 g	6.5 a	6.5 a	6.5 a	4.5 a	4.5 a
Procloraz	50.8 µ	6.5 a	6.5 a	6.5 a	4.5 a	4.5 a
Carbendazim	100 µ	6.5 a	6.5 a	6.5 a	13.3 ab	17.1 ac
Prevence	4.0 µ	15.0 ab	16.5 ab	15.5 ab	11.6 ab	13.2 ab
Biowall	4.8 µ	17.0 ab	18.2 ac	18.5 ab	19.2 ab	13.1 ab
Biosanifull	4.8 µ	21.5 bc	21.5 bc	23.5 bc	21.7 bc	22.5 bc
Talocuper	4.0 µ	24.5 bc	23.5 bc	25.7 bc	27.5 c	27.2 c
Testigo	---	29.5 c	31.5 c	30.5 c	29.5 c	31.5 c

Rango que no comparten la misma letra en cada columna, presentan diferencias significativas. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis y comparación de medias con la prueba de Conover con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , g= gramos, µ= microlitros

La elevada inhibición del crecimiento micelial de *Neocosmospora falciformis* observada con Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim concuerda con lo reportado para los anteriores fungicidas, los cuales afectan procesos celulares esenciales del patógeno y permiten un control eficaz bajo condiciones *in vitro* (Leslie y Summerell, 2006; Agrios, 2005). En contraste, los productos biorracionales como Prevence y Biowall mostraron un efecto inhibitorio, consistente con su modo de acción indirecto basado en competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo y producción de metabolitos antifúngicos (Howell, 2003; Benítez *et al.*, 2004; Harman *et al.*, 2004). Aunque la eficacia de los productos biorracionales fue inferior a la de los fungicidas

químicos, su uso resulta relevante dentro de estrategias de manejo integrado de enfermedades, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y al fortalecimiento de sistemas de agricultura sustentable.

Los fungicidas químicos Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim mostraron una alta inhibición del crecimiento micelial en los tres patógenos evaluados (*F. oxysporum*, *F. nigamay* y *N. falciformis*), registrando diámetros de colonia considerablemente menores en comparación con el testigo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Xu *et al.*, (2025), quienes documentaron una elevada eficacia de fungicidas en el control *in vitro* de especies de *Fusarium*. Por otro lado, los productos biorracionales Prevence® y Biowall® mostraron una inhibición del crecimiento micelial en comparación con el testigo; sin embargo, su efecto fue inferior al observado con los fungicidas químicos. A pesar de ello, el uso de agentes biorracionales representa una alternativa más sustentable y ambientalmente amigable, al reducir la dependencia de moléculas sintéticas. En este sentido, Rubio-Tinajero *et al.*, (2021) reportaron una inhibición del 70.5 % de *F. oxysporum* mediante el uso de *Trichoderma asperellum*, mientras que Zakqy (2023) señaló que ciertas cepas de *Bacillus* pueden disminuir la severidad de la enfermedad causada por *Fusarium* en Chile, destacando que la efectividad depende de la dosis aplicada y de las condiciones ambientales.

## 7.2. Resultados invernadero

### 7.2.1. *Fusarium oxysporum*

Los resultados obtenidos en este estudio demostraron que los tratamientos químicos mostraron efectos variables en el crecimiento y sanidad. Altura de planta, diámetro de tallo y volumen de raíz los tratamientos químicos como carbendazim, tiabendazol y procloraz mostraron diferencias significativas con respecto al testigo (Cuadro 9). Con respecto a los productos biorracionales para altura de planta y diámetro de tallo (Prevence) mostró diferencias significativas respecto al testigo. Mientras que para volumen de raíz el producto biorracional (Prevence) y el biológico (*Trichoderma*) mostró diferencias estadísticas con respecto al testigo (Cuadro 8). Para severidad los productos químicos Tiabendazol y Procloraz disminuyeron la virulencia de manera

significativa con respecto al testigo (Cuadro 8). Por otro lado, el producto biorracional (Prevence) y el biológico (*Trichoderma*) fueron estadísticamente diferente al testigo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de *Fusarium oxysporum* en el crecimiento de plantas de tomatillo, variedad Tequisquiapan en condiciones de invernadero.

Aislado	Altura-planta (cm)		Diámetro-tallo (cm)		Volumen-raíz (ml)		Peso-seco (g)		Severidad (Escala 0-5)	
	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango
Tiabendazol	30.0	10.4 a	8.5	7.8 a	15.0	9.3 a	1.2	7.3 a	0.2	8.6 ab
Carbendazim	36.6	9.5 a	3.3	10.4 a	14.0	9.2 a	1.0	7.2 a	0.3	10.5 b
Procloraz	53.7	11.0 a	8.5	7.5 ab	13.0	10.5 ab	1.3	6.5 ab	0.2	8.2 ab
Prevence	101.5	12.3 ab	8.1	9.0 a	30.5	17.0 a	2.2	7.5 a	0.4	8.0 ab
Trichoderma	74.8	15.5 bc	8.1	16.5 bc	45.1	18.5 a	2.0	8.7 a	0.4	7.3 ab
Talocuper	83.8	16.7 bc	6.9	18.4 bc	25.2	22.0 c	1.3	5.4 c	0.6	11.2 b
Testigo	146.8	22.2 c	9.9	21.3 c	52.4	25.0 c	3.5	10.8 c	0.0	5.0 a

Rangos medios que no comparten la misma letra en cada columna, presentan diferencia significativa. Prueba de Kruskal-Wallis y comparación de rangos medios de Conover ( $P \leq 0.05$ ).  $\bar{X}$  = datos sin transformar. Escala 0-5 (Correll *et al.*, 1986).

Por otro lado, el mejor desarrollo en volumen de raíz y el crecimiento intermedio observado en los tratamientos con Prevence® y Trichoderma es consistente con estudios que señalan que especies de *Trichoderma* actúan no solo como antagonistas de patógenos del suelo, sino también como promotores del crecimiento vegetal, al mejorar la absorción de nutrientes y estimular el desarrollo del sistema radical (Harman *et al.*, 2004; Benítez *et al.*, 2004). Asimismo, Howell (2003) indica que estos efectos benéficos pueden compensar parcialmente el daño causado por *Fusarium* en cultivos susceptibles.

### 7.2.2. *Fusarium nigamay*

Cuando se aplicaron los productos químicos Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim se observaron diferencias significativas en altura de planta, diámetro de tallo y volumen de raíz con respecto al testigo (Cuadro 9). Mientras que para biorracional (Prevence) tanto como para altura como diámetro de tallo y volumen de raíz tuvieron diferencias estadísticas con respecto al testigo (Cuadro 9). De igual manera para producto

biológico (*Trichoderma*) para volumen de raíz mostró el mismo comportamiento Cuadro 9). Para severidad los productos Tiabendazol, Plorcloraz, Prevence y *Trichoderma* son estadísticamente iguales que el testigo en el cual disminuyeron la virulencia del patógeno (Cuadro 9). En contraste, el producto biorracional (Prevence) mostro diferencias significativas en altura de planta, diámetro de tallo y volumen de raíz y el producto biológico (*Trichoderma harzianum*), especialmente mostró diferencias significativas en la variable volumen de raíz (Cuadro 9). Para severidad Tiabendazol y Procloraz tuvieron mayor efecto en el control de la virulencia del patógeno de *Fusarium nigamay* con respecto al testigo (Cuadro 9). Para el producto biorracional (Prevence) y el biológico (*Trichoderma harzianum*) presentaron también un mayor efecto sobre la virulencia del patógeno con respecto al testigo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de *Fusarium nigamay* en el crecimiento de plantas de tomatillo, variedad Tequisquiapan en condiciones de invernadero

Producto	Altura-planta (cm)		Diámetro-tallo (cm)		Volumen-raíz (ml)		Peso-seco (g)		Severidad (Escala 0-5)	
	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango
Tiabendazol	25.0	10.4 a	6.5	7.8 a	15.0	9.3 a	1.6	7.3 a	0.2	8.6 ab
Carbendazim	36.6	9.5 a	6.3	10.4 a	18.0	9.2 a	1.4	7.2 a	0.3	10.5 b
Procloraz	40.2	11.2 a	5.5	7.5 ab	13.0	10.5 ab	1.7	6.5 ab	0.3	8.2 ab
Prevence	90.2	13.3 ab	6.1	8.0 a	30.5	17.0 a	2.0	7.5 a	0.4	8.0 ab
Trichoderma	74.8	14.5 bc	6.1	15.5 bc	40.1	18.5 a	1.8	8.7 a	0.4	7.3 ab
Talocuper	83.8	17.7 bc	6.9	17.4 bc	25.2	22.0 c	1.5	5.4 c	0.6	11.2 b
Testigo	156.8	22.2 c	9.9	21.3 c	50.4	25.0 c	3.5	10.8 c	0.0	5.0 a

Rangos medios que no comparten la misma letra en cada columna, presentan diferencia significativa. Prueba de Kruskal-Wallis y comparación de rangos medios de Conover ( $P \leq 0.05$ ).  $\bar{X}$  = datos sin transformar. Escala 0-5 (correll *et al.*, 1986).

Los resultados del ensayo bajo condiciones de invernadero evidencian que la presencia de *Fusarium nigamay* afectó el desarrollo vegetativo del tomatillo, observándose diferencias significativas entre tratamientos cuando se aplicaron

productos químicos, en la altura de planta, diámetro de tallo y el volumen de raíz, lo que concuerda con lo reportado sobre posibles efectos de estrés fisiológico asociados a la aplicación temprana de fungicidas sistémicos (Agrios, 2005).

Lo cual es consistente con estudios que señalan que *Trichoderma spp.* no solo actúan como antagonistas de patógenos del suelo, sino también como promotores del crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas, solubilización de nutrientes y mejora en la absorción de agua (Harman *et al.*, 2004; Benítez *et al.*, 2004). Este efecto se reflejó en mayores volúmenes de raíz y en un crecimiento vegetativo más equilibrado en comparación con los tratamientos químicos.

El tratamiento testigo presentó los valores más altos de altura de planta y volumen radical, lo que sugiere que, en ausencia de control del patógeno, el crecimiento vegetativo puede mantenerse; sin embargo, esto no implica un manejo adecuado de la enfermedad a largo plazo, ya que *F. nigamaya* puede provocar síntomas severos en etapas posteriores del cultivo (Leslie y Summerell, 2006). En este contexto, los resultados obtenidos destacan la importancia de integrar estrategias de manejo que combinen control del patógeno y promoción del crecimiento vegetal.

### 7.2.3. *Neocosmospora falciformis*

Los resultados mostraron que los tratamientos evaluados presentaron diferencias significativas en las variables de crecimiento y severidad con respecto al testigo (Cuadro 10). Para altura de planta, el tratamiento con Procloraz mostró mayor efecto al presentar plantas con una altura promedio de 50.7 cm, mientras que los tratamientos Prevence, *Trichoderma* y Talocuper presentaron valores intermedios. El testigo registró la mayor altura de planta con 136.8 cm (Cuadro 10). En diámetro de tallo, los tratamientos Tiabendazol, Procloraz y Prevence mostraron diferencias estadísticas favorables con respecto al testigo, presentando diámetros de tallo de 7.5, 9.5 y 8.8 mm, respectivamente. El tratamiento biológico con *Trichoderma* también mostró efecto positivo en esta variable con 8.0 mm (Cuadro 10). Para volumen de raíz, los tratamientos *Trichoderma* y Prevence presentaron los mayores valores con 39.1 y 29.5

mL, respectivamente, mostrando diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. Mientras tanto, el testigo presentó el mayor volumen radical con 46.4 mL (Cuadro 10). En la variable peso seco, los tratamientos Prevence y *Trichoderma* mostraron mejores resultados con 2.4 y 2.5 g, respectivamente, presentando diferencias estadísticas con respecto a los tratamientos químicos y al testigo. Por otro lado, Tiabendazol, Carbendazim, Procloraz y Talocuper presentaron menores valores de peso seco (Cuadro 10). Para severidad, los tratamientos Tiabendazol y Procloraz mostraron menor severidad de la enfermedad con valores de 0.2, seguidos de Carbendazim con 0.3. Los tratamientos Prevence y *Trichoderma* también disminuyeron la severidad del patógeno con valores de 0.4, mientras que Talocuper presentó mayor severidad con 0.6. El testigo mostró ausencia de control sobre la enfermedad (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de *Neocosmospora falciformis* en el crecimiento de plantas de tomatillo, variedad Tequisquiapan en condiciones de invernadero

Producto	Altura-planta (cm)		Diámetro-tallo (cm)		Volumen-raíz (ml)		Peso-seco (g)		Severidad (Escala 0-5)	
	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango	$\bar{X}$	Rango
Tiabendazol	29.0	10.4 a	7.5	8.8 a	12.0	8.7 a	1.1	7.3 a	0.2	7.6 ab
Carbendazim	32.6	10.1 a	4.3	11.4 a	13.0	8.5 a	1.2	7.2 a	0.3	11.5 b
Procloraz	50.7	11.0 a	9.5	6.5 ab	12.5	10.2 ab	1.0	6.5 ab	0.2	7.2 ab
Prevence	99.5	12.3 ab	8.8	9.0 a	29.5	17.4 a	2.4	7.5 a	0.4	9.0 ab
Trichoderma	71.8	16.5 bc	8.0	15.5 bc	39.1	18.5 a	2.5	8.7 a	0.4	8.3 ab
Talocuper	73.8	16.7 bc	5.9	16.4 bc	20.2	16.0 c	1.0	5.4 c	0.6	11.5 b
Testigo	136.8	25.2 c	9.9	24.3 c	46.4	25.0 c	3.5	10.8 c	0.0	5.0 a

Rangos medios que no comparten la misma letra en cada columna presentan diferencia significativa. Prueba de Kruskal-Wallis y comparación de rangos medios de Conover ( $P \leq 0.05$ ).  $\bar{X}$  = datos sin transformar. Escala 0-5 (correll *et al.*, 1986).

Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos químicos Procloraz y Tiabendazol presentaron menor severidad de la enfermedad causada por

*Neocosmospora falciformis*, lo cual coincide con lo reportado por Brent y Hollomon (2007), quienes mencionan que los fungicidas sistémicos inhiben el crecimiento y desarrollo de hongos fitopatógenos del suelo mediante alteraciones en la biosíntesis de esteroides y otros procesos celulares esenciales. Por otro lado, el mejor desarrollo en volumen de raíz y peso seco observado en los tratamientos con Prevence® y *Trichoderma harzianum* es consistente con estudios que señalan que especies de *Trichoderma* actúan no solo como antagonistas de patógenos del suelo, sino también como promotores del crecimiento vegetal, al mejorar la absorción de nutrientes y estimular el desarrollo del sistema radical (Harman *et al.*, 2004; Benítez *et al.*, 2004). Asimismo, Howell (2003) indica que estos efectos benéficos pueden compensar parcialmente el daño causado por especies de *Fusarium* en cultivos susceptibles. En general, los resultados sugieren que el uso de agentes biológicos y fungicidas químicos puede contribuir al manejo de *N. falciformis* y favorecer variables de crecimiento en plantas de tomatillo bajo condiciones de invernadero.

## VIII. CONCLUSIÓN

Los fungicidas químicos Tiabendazol, Procloraz y Carbendazim fueron los más efectivos para inhibir el crecimiento micelial de *Fusarium* spp., mostrando eficiencia en condiciones *in vitro*. Sin embargo, los productos biorracionales demostraron un efecto moderado, lo que resalta su potencial como alternativas sustentables. Estos resultados marcan la importancia de desarrollar estrategias de manejo integrado de enfermedades, alternando control químico y biorracional para reducir el uso de agroquímicos, minimizar los impactos ambientales y promover la producción sustentable.

## IX. LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press.
- Alburquerque Andrade, Diana, y Gusqui Mata, Roberto. (2018). Eficacia de fungicidas químicos para el control *in vitro* de diferentes fitopatógenos en condiciones controladas. *Arnaldoa*, 25(2), 489- 498.
- Allik, E., Grinberg, S., y Ziv, O. (1996). Potato dry rot control with thiabendazole: Efficacy and resistance development. *Plant Disease*, 80(2), 111–115.  
<https://doi.org/10.1094/PD-80-0111>
- Antagonismo (fitopatología). 2025. Wikipedia. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Antagonismo\\_%28fitopatolog%C3%ADa%29](https://es.wikipedia.org/wiki/Antagonismo_%28fitopatolog%C3%ADa%29)
- Apodaca-Sánchez, M. A. Barreras-Soto, M. A., Cortez-Mondaca, E., y Quintero-Benítez, J. A. 2008. Enfermedades del Tomate de Cascara en Sinaloa. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle del Fuerte. Folleto Técnico No. 31. Los Mochis, Sinaloa, México. 33p.
- Ayala-Armenta, Q. A, Cortez Mondaca, E., Apodaca Sánchez, M. Á., Leal León, VM, Valenzuela Escoboza, FA, y Palacios Mondaca, CA (2015). Efectividad de fungicidas convencionales y biorracionales sobre *Sclerotinia sclerotiorum in vitro*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6 (SPE11), 2149-2156.
- Ayala-Armenta, Q. A., Peinado-Fuentes, L. A., Beltrán-Peña, H., Tovar-Pedraza, J. M., Valenzuela-Escoboza, F. A., y Ruelas-Islas, J. del R.. (2024). Cultivares de tomatillo susceptibles a la marchitez en Sinaloa. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 15(1), e3143. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3143>
- Balzarini M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). *Infostat. Manual del Usuario*, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Benítez, T., Rincón, A. M., Limón, M. C., y Codón, A. C. (2004). Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, 7, 249–260.
- Cavallo, E., Cecchini, C., Y Di Giacomo, B. (2021). Biofungicide for the control of *Botrytis cinerea* and *Fusarium oxysporum*: Evaluation of plant extract-based

- formulations. *Chemical Engineering Transactions*, 87, 523–528. <https://doi.org/10.3303/CET2187087>
- Ceballos-Chávez, Á. R., López-Valenzuela, B. E., Valenzuela-Escoboza, F. A., Ayala-Armenta, Q. A., Lujan-Holguin, R., y Márquez Lujan, H. A. (2024). Identificación y evaluación antagónica *in vitro* de cepas de *Trichoderma* spp. nativas contra patógenos del duraznero. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 26(2), 109-120.
- Cháves-Gómez, J. L., Becerra-Mutis, M., Chávez-Arias, C. C., Restrepo-Díaz, H., y Gómez-Caro, S. 2020. Screening of different *Physalis* genotypes as potential rootstocks or parents against vascular wilt using physiological markers. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00806>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2009). Catálogo taxonómico de especies de México (en Capital Natural de México, vol. I). Ciudad de México, México: CONABIO.
- El Komy, M. H., Saleh, A. A., Eranthodi, A. Y., y Molan, Y. (2015). Characterization of novel *Trichoderma asperellum* isolates to select effective biocontrol agents against tomato *Fusarium* wilt. *Plant Pathology Journal*, 31(1), 50–60.
- Espinoza-Ahumada, C. A., Gallegos-Morales, G., Hernández-Castillo, F. D., Ochoa-Fuentes, Y. M., Cepeda-Siller, M., y Castillo-Reyes, F. (2019). Antagonistas microbianos a *Fusarium* spp., como agente causal de pudrición de raíces y tallo en melón. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 45–55.
- Farias, O. R. de, et al. (2019). Biocontrol potential of biological products based on *Trichoderma* spp. and *Bacillus subtilis* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* under controlled conditions. *Journal of Experimental Agriculture International*, 34(1), 1–11.
- Fusarium* wilt. (2025). Wikipedia. Recuperado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Fusarium\\_wilt](https://en.wikipedia.org/wiki/Fusarium_wilt)
- González-Pérez, J. E., y Guerrero-Beltrán, J. Á. (2021). Tomatillo or husk tomato (*Physalis philadelphica* and *Physalis ixocarpa*): A review. *Scientia Horticulturae*,

288, 110306.

Hanson, L. E., Schwager, S. J., y Loria, R. (1996). Sensitivity to thiabendazole in *Fusarium* species associated with dry rot of potato. *Phytopathology*, 86, 378–384. <https://doi.org/10.1094/Phyto-86-378>

Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., y Lorito, M. (2004).

*Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>

Hasna, M. K., Paul, N. R., Haque, M. Bir, M. S. H., y Ali, M. A. (2025). Biocontrol efficacy of *Trichoderma asperellum* against *Fusarium* wilt in tomato plants by induction of the host defense genes. *Discover Plants*, 2, 136. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00224-1>

Howell, C. R. (2003). Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases. *Plant Disease*, 87(1), 4–10. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>

Infante, D., Martínez, B., & Martínez Coca, B. (2021). Control biológico de *Fusarium* spp. mediante cepas de *Trichoderma* spp. *Revista de Protección Vegetal*, 36(2), 1–10.

<https://www.censa.edicionescervantes.com/index.php/RPV/article/view/1150>

Juárez, J. A. O. (2016). Evaluación de *Bacillus* spp. en el antagonismo de fitopatógenos asociados a la secadera en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*). Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo.

Kamali-Sarvestani, S., Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R., Salmaninezhad, F., & Cacciola, S. O. (2022). *Fusarium* and *Neocosmospora* species associated with rot of Cactaceae and other succulent plants. *Journal of Fungi*, 8(4), 364.

Khan, et al. (2025). Fungicide resistance in *Fusarium* species: exploring environmental impacts and sustainable management strategies. [Journal]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39792175/>

Klaasen, J. A., & Nelson, P. E. (1998). Identity of *Fusarium nigamay* isolates with long and short microconidial chains from millet, sorghum and soil in Africa.

Mycopathologia, 140(1-2), 171–176.

- Leslie, J. F., y Summerell, B. A. (2006). *Fusarium* laboratory manual. Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470278376>
- Li, Q., Zhang, H., Wang, C., Y Zhou, X. (2024). Synergistic antifungal activity of copper oxide nanoparticles combined with conventional fungicides against *Fusarium* spp. *Journal of Fungi*, 9(12), 1178. <https://doi.org/10.3390/jof9121178>
- Lo, C. T., y Lin, J. (2012). Mecanismos de acción y eficacia de *Trichoderma* como agente de control biológico de hongos fitopatógenos. *Intagri, Fitopatología*.
- López-Valenzuela, B. E., Armenta-Bojórquez, A. D., Hernández-Verdugo, S., Apodaca-Sánchez, M. A., Samaniego-Gaxiola, J. A., Leyva-Madrigal, K. Y., y Valdez-Ortiz, A. (2015). Selección *in vitro* e identificación de aislados de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. nativos para el control de *Phymatotrichopsis omnívora*. *ITEA*, 111(4), 310-325.
- Matelionienė, N., Žvirdauskienė, R., Kadžienė, G., Zavtrikovienė, E., y Supronienė, S. (2024). *In vitro* Sensitivity Test of *Fusarium* Species from Weeds and Non-Gramineous Plants to Triazole Fungicides. *Pathogens*, 13(2), 160. <https://doi.org/10.3390/pathogens13020160>
- Medina-Osti, F., Gutiérrez-Díez, A., Ochoa-Ascencio, S., & Sinagawa-García, S. R. (2022). *In vitro* sensitivity of *Fusarium sacchari* isolated from sugar cane to five fungicides. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 40(3), 1–9. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2206-1>
- Mendoza-Vargas, L. A., et al. (2021). Physiological response of cape gooseberry plants to *Fusarium oxysporum f. sp. physali* inoculation. *Plant Science / PMC*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8374548/>
- Mevada, K. D., Parmar, S. M., Y Bhaliya, C. M. (2025). Efficacy of different fungicides against *Fusarium oxysporum f. sp. ciceri* under in vitro conditions. *Asian Research Journal of Agriculture*, 16(1), 13–20. <https://journalarja.com/index.php/ARJA/article/view/681>
- Mora, M., Ochoa, A., y Osorio, V. (2024). Control biológico contra *Fusarium* sp. en

plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) a nivel de invernadero mediante aplicación combinada de *Trichoderma* sp. y *Bacillus* sp. Revista de Investigación Agraria y Ambiental.

Pal, K. K., y McSpadden Gardener, B. (2006). Biological control of plant pathogens. The Plant Health Instructor. <https://doi.org/10.1094/PHI-A-2006-1117-02>

Parada, J., Tortella, G., Seabra, A. B., Fincheira, P., & Rubilar, O. (2024). Potential antifungal effect of copper oxide nanoparticles against *Fusarium oxysporum* and other phytopathogens. *Antibiotics*, 13(3), 215. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13030215>

Pérez-Camacho, J. C., et al. (2023). Maturation stages and physiological seed quality of *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem. Revista Brasileira de Fruticultura. <https://www.scielo.br/j/rbf/a/PTjz7TCXNMQmzbBtffyr3Ns/?lang=en>

Rosas-Díaz, J., Cortés-Martínez, C. I., Hernández-Sánchez, L., & Cruz-Martínez, H. (2025). Evaluación *in vitro* de micropartículas de óxido de cobre sobre *Fusarium oxysporum*. Revista Ciencia e Innovación Agroalimentaria, 6(6). <https://doi.org/10.15174/cia.v6i6.115>

Rubio-Tinajero, J. D., Lara-Chávez, M. B., y Figueroa-Morales, N. (2021). Evaluación *in vitro* del antagonismo de *Trichoderma asperellum* contra *Fusarium oxysporum* en jitomate. Revista Mexicana de Fitopatología, 39(1), 45–52. <https://www.smf.org.mx/rmf/ojs/index.php/RMF/article/view/255>

Sánchez, E., & Vargas, P. (2008). El cultivo de tomatillo (*Physalis philadelphica* Lam.) en México. Universidad Autónoma Chapingo.

Seleem, E. A., y Nassar, R. M. A. (2021). Morphological and anatomical studies on *Physalis peruviana* L. and *Physalis ixocarpa* Brot. Exhornem. Journal of Plant Production, 12(11), 1179–1183. <https://doi.org/10.21608/jpp.2021.100328.1069>

Vega-López, M., y Granados-Montero, M. (2023). Eficacia de benomil y folpet sobre *Fusarium oxysporum* patógeno de la fresa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 14(3). <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3253>

- Xu, T., Chen, X., Chen, Y., Zhang, J., Y Zhou, Y. (2025). Sensitivity of *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* to seven fungicides and the efficacy of SDHI fungicides in tomato wilt management. PLOS ONE, 20(10), e0322206. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322206>
- Yossen, Viviana E. y Conles, Martha Y. (2014). Eficacia de fungicidas utilizados *in vitro* para el control de *Fusarium oxysporum* y *F. proliferatum*, agentes causales del marchitamiento del orégano en Argentina. Revista industrial y agrícola de Tucumán, 91 (1), 19-25. Recuperado el 26 de julio de 2024, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S1851-30182014000100003yIng=esytIng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttextpid=S1851-30182014000100003yIng=esytIng=en)
- Zakqy, M. A., Yuniarti, A., Y Nasution, H. N. (2023). Potential of *Bacillus* spp. in suppressing *Fusarium* wilt disease on chili (*Capsicum annum* L.). Jurnal NUKLEUS, 19(1), 23–31. <https://jurnal.ulb.ac.id/index.php/nukleus/article/view/5366>
- Zhang, X., Yang, Y., Xue, C., et al. (2025). Metabolite interactions mediate beneficial alliances between *Bacillus* and *Trichoderma* for effective *Fusarium* wilt control. The ISME Journal, Advance online publication.
- Zhao, Y., Selvaraj, J. N., Xing, F., Zhou, L., Wang, Y., Song, H., Tan, X., Sun, L., Sangare, L., Folly, Y. M. E., y Liu, Y. (2014). Antagonistic action of *Bacillus subtilis* strain SG6 on *Fusarium graminearum*. PLOS ONE, 9(3), e92486. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092486>