

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Sensibilidad *in vitro* a metil tiofanato de aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* causante del moho blanco en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Sinaloa

***In vitro* sensitivity to thiophanate-methyl of *Sclerotinia sclerotiorum* isolates causing white mold in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Sinaloa**

Authors/Autores: Pérez-Mora, J.L., López-Valenzuela, B.E., Ayala-Armenta Q.A., Rábago-Zavala, K., García-León, E., Valenzuela-Escoboza, F.A.

ID: e2141

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2141>

Received/Fecha de recepción: January 06th 2026

Accepted /Fecha de aceptación: September 07th 2026

Available online/Fecha de publicación: September 23th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: Pérez-Mora, J.L., López-Valenzuela, B.E., Ayala-Armenta Q.A., Rábago-Zavala, K., García-León, E., Valenzuela-Escoboza, F.A. (2026). *In vitro* sensitivity to thiophanate-methyl of *Sclerotinia sclerotiorum* isolates causing white mold in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Sinaloa. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2141. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2141>

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

*Artículo original/ Original article***Sensibilidad *in vitro* a metil tiofanato de aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* causante del moho blanco en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Sinaloa*****In vitro* sensitivity to thiophanate-methyl of *Sclerotinia sclerotiorum* isolates causing white mold in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Sinaloa**

Sensibilidad de *Sclerotinia sclerotiorum* al metil-tiofanato
Sensitivity of *Sclerotinia sclerotiorum* to thiophanate-methyl

Pérez-Mora, J.L.¹ , López-Valenzuela, B.E.¹ , Ayala-Armenta Q.A.¹ ,
Rábago-Zavala, K.¹ , García-León, E.² , Valenzuela-Escoboza, F.A.^{1*} 

1Dpto. de Ciencias Agropecuarias. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS. Avenida Japaraquí s/n y Calle 16, Juan José Ríos, 81110, Sinaloa, México.

2Dpto. de Fitopatología. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Fuerte. Carretera Internacional México 15, Juan José Ríos, 81110, Sinaloa, México

***Corresponding Author:**

Fernando Alberto Valenzuela-Escoboza. Dpto. de Ciencias Agropecuarias. Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte-UAS. Avenida Japaraquí s/n y Calle 16, Juan José Ríos, 81110, Sinaloa, México. Teléfono: (+52) 668 114 0608. E-mail: fernando.vzla@favf.mx

Resumen

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo de relevancia alimentaria y económica en México y particularmente en el estado de Sinaloa, con una producción aproximada de 172,238.91 t. Sin embargo, su producción se ve limitada por enfermedades como el moho blanco, ocasionado por *Sclerotinia sclerotiorum*, patógeno que puede provocar pérdidas significativas de hasta 30-50 % bajo condiciones ambientales favorables. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la sensibilidad *in vitro* de 16 aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* al fungicida metil tiofanato. Los aislados fueron obtenidos en zonas productoras de frijol de los municipios de Ahome y Guasave, Sinaloa, y se evaluaron mediante bioensayos de crecimiento micelial en medio papa dextrosa agar suplementado con concentraciones de 0.05 a 7.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ del ingrediente activo. Los resultados evidenciaron una respuesta diferencial entre aislados; a 2.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, el crecimiento micelial relativo promedio se redujo a aproximadamente 49 %. Algunos aislados presentaron inhibición total del crecimiento (100 %), mientras que otros mantuvieron desarrollo micelial incluso en las concentraciones más altas evaluadas. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre el tratamiento control y las concentraciones más altas del fungicida ($p \leq 0.05$). Esta variabilidad sugiere posibles diferencias fenotípicas asociadas a variaciones en la sensibilidad al fungicida. En conclusión, aunque el metil tiofanato evidenció efectividad *in vitro*, la presencia de aislados con menor sensibilidad resalta la necesidad de estrategias de manejo integrado que incluyan rotación de modos de acción y monitoreo constante de sensibilidad para fortalecer la sostenibilidad del cultivo en regiones productoras de frijol.

Palabras Clave:

Benzimidazoles, fungicida, hongo, resistencia fúngica.

Abstract

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a crop of major nutritional and economic importance in Mexico, particularly in the state of Sinaloa, where an annual production of approximately 172,238.91 t is reported. However, production is constrained by diseases such as white mold, caused by *Sclerotinia sclerotiorum*, a pathogen that can cause yield losses of 30-50 % under favorable environmental conditions. This study aimed to evaluate the *in vitro* sensitivity of 16 *S. sclerotiorum* isolates to the fungicide thiophanate-methyl. Isolates were collected from bean-producing areas in the municipalities of Ahome and Guasave, Sinaloa, and evaluated using mycelial growth bioassays on PDA medium amended with 0.05-7.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ of the active ingredient. Data revealed differential responses among isolates; at 2.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, mean relative mycelial growth decreased to approximately 49 %. Some isolates exhibited complete inhibition of mycelial growth, whereas others continued to grow even at the highest concentrations evaluated. Statistical analysis revealed significant differences between the untreated control and the highest fungicide concentrations ($p \leq 0.05$). These findings indicate variation in fungicide sensitivity within the evaluated population. In conclusion, although thiophanate-methyl demonstrated *in vitro* efficacy, the emergence of less-sensitive isolates underscores the need to implement integrated disease management strategies, including rotating fungicide modes of action and continuously monitoring sensitivity, to enhance the sustainability of bean production in major growing regions.

Keywords

Fungicide, benzimidazole, fungi, fungal resistance.

Introducción

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es de gran importancia a nivel mundial por su alto consumo y producción en numerosos países (FAO, 2022). En México, la producción de frijol en 2024 alcanzó 996,392.77 toneladas, de las cuales Zacatecas aporta el 34 % de la producción nacional, seguido por Sinaloa (17 %) y Nayarit (7 %) (SIAP, 2024). Este cultivo enfrenta diversos problemas fitosanitarios causados por fitopatógenos como virus, bacterias y hongos, entre los cuales destaca *Sclerotinia sclerotiorum*, agente causal de la enfermedad conocida como moho blanco (Félix-Gastélum *et al.*, 2024). Bajo condiciones de alta humedad relativa (>80 %) y temperaturas entre 18 y 20 °C, este patógeno infecta diferentes órganos de la planta, incluidos tallos, hojas, flores y vainas, provocando el ablandamiento de los tejidos y el desarrollo de micelio blanco algodonoso. En etapas avanzadas, forma esclerocios, estructuras de resistencia que le permiten sobrevivir en el suelo durante periodos prolongados, lo que favorece su persistencia y diseminación en los sistemas de producción agrícola (Elsheshtawi *et al.*, 2017). Asimismo, la formación de apotecios y la liberación de ascosporas bajo condiciones favorables contribuyen a la rápida propagación de la enfermedad, afectando significativamente el rendimiento y la calidad del cultivo (Kurt *et al.*, 2017; Termorshuizen, 2007). El agente causal pertenece a la división Ascomycota y a la familia Sclerotiniaceae, presenta naturaleza necrotrófica y amplia distribución, con capacidad de infectar más de 400 especies vegetales, lo que incrementa su importancia económica en diversos sistemas agrícolas (Félix-Gastélum *et al.*, 2024;

Johnson *et al.*, 2014). El manejo de la enfermedad se basa en un enfoque de manejo integrado que incluye prácticas culturales, biológicas y químicas, como la rotación de cultivos, el uso de antagonistas y la aplicación de fungicidas como fluazinam, carbendazim y metil tiofanato (Hammond *et al.*, 2008; Herrera-Rodríguez *et al.*, 2026; Wharton & Wood, 2012).

El control químico del moho blanco en frijol en Sinaloa ha incluido el uso de fungicidas del grupo de los benzimidazoles, como el metil tiofanato, ampliamente utilizado para el manejo de *Sclerotinia sclerotiorum* en este cultivo (Félix-Gastélum *et al.*, 2024). Este ingrediente activo pertenece al grupo 1 de los MBC (methyl benzimidazole carbamates), clasificados por el FRAC como fungicidas de sitio específico que interfieren con la polimerización de la β -tubulina durante la mitosis. Debido a esta especificidad, estos compuestos presentan un alto riesgo de desarrollar resistencia, la cual es común en numerosas poblaciones de hongos y está asociada principalmente a mutaciones puntuales en dicho gen (FRAC, 2025; Lehner *et al.*, 2015). En *S. sclerotiorum* se han reportado aislados resistentes asociados a estas mutaciones, lo que puede comprometer la eficacia del control químico (Silva *et al.*, 2024). En este contexto, el uso continuo de fungicidas con el mismo modo de acción, sin estrategias de rotación, favorece la selección de individuos menos sensibles, lo que puede derivar en una disminución progresiva de la eficacia de estos compuestos (Lehner *et al.*, 2015; 2017). A pesar de la relevancia del cultivo de frijol en Sinaloa y del uso frecuente de benzimidazoles para el manejo del moho blanco, existe información limitada sobre la variabilidad en la sensibilidad de poblaciones locales de *Sclerotinia sclerotiorum* a metil tiofanato, lo que dificulta la toma de decisiones informadas en programas de manejo integrado de enfermedades. En particular, no se dispone de estudios recientes que evalúen la respuesta diferencial de aislados en condiciones controladas, lo cual es fundamental para detectar cambios en la sensibilidad del patógeno y prevenir el desarrollo de resistencia.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la sensibilidad *in vitro* de 16 aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* al fungicida metil tiofanato mediante bioensayos de crecimiento micelial, con la finalidad de generar información que contribuya a la rotación de modos de acción de fungicidas en programas de manejo integrado para el cultivo de frijol en Sinaloa, México (Nieto-López *et al.*, 2023).

Material y Métodos

Origen de los aislados de *Sclerotinia sclerotiorum*

Durante el ciclo agrícola 2022–2023 en Sinaloa, se recolectaron 30 muestras sintomáticas de moho blanco en 10 predios comerciales de frijol variedad Reyna ubicados en los municipios de Ahome y Guasave, bajo condiciones de riego rodado. Las muestras se obtuvieron de diferentes órganos de la planta con síntomas característicos de la enfermedad, incluyendo tallo, vainas, flores y hojas. A partir de estas muestras, se realizaron aislamientos mediante el corte de fragmentos de tejido enfermo de aproximadamente 5 mm, los cuales se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1 % durante 3 minutos, se enjuagaron con agua destilada estéril y se secaron sobre papel absorbente estéril. Posteriormente, los fragmentos se sembraron en cajas de Petri con medio papa dextrosa agar (PDA) suplementado con estreptomycin (100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) y se incubaron a 25

°C. A partir del crecimiento micelial obtenido, se realizaron transferencias de puntas de hifas en condiciones asépticas con el fin de obtener colonias monohifales, siguiendo metodologías previamente descritas para *Sclerotinia sclerotiorum* (Elshehtawi *et al.*, 2017; Lehner *et al.*, 2017). Como resultado del proceso de aislamiento y purificación, se obtuvieron 16 aislados viables, que fueron seleccionados para su posterior evaluación en bioensayos. Los aislados purificados se conservaron como discos de PDA con micelio en tubos de microcentrífuga de 1.5 mL, en agua destilada estéril, a 4 °C. Cada aislado fue identificado con códigos de F-1 a F-16 para su manejo experimental.

La identificación del patógeno se realizó con base en características morfológicas en cultivo en PDA, considerando el crecimiento de micelio blanco algodonoso y la formación de esclerocios negros, rasgos típicos de *Sclerotinia sclerotiorum* (Sousa-Melo *et al.*, 2019). Aunque no se realizaron pruebas de patogenicidad, la identidad del patógeno se sustentó en la consistencia de las características morfológicas observadas con descripciones previamente reportadas para la especie.

Sensibilidad *in vitro* de *Sclerotinia sclerotiorum* al fungicida metil tiofanato

Se evaluaron concentraciones de 0.05, 0.75, 1, 2.5, 5 y 7.5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ del fungicida metil tiofanato (Cercobin® M, BASF), con base en Lehner *et al.* (2017), quienes establecen este rango como dosis discriminatorias para estudios de sensibilidad *in vitro* en *Sclerotinia sclerotiorum*. Como referencia, se consideró la dosis comercial recomendada para el cultivo (700 g de producto comercial en 200 L de agua), equivalente a aproximadamente 2450 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ de ingrediente activo; sin embargo, las concentraciones evaluadas en este estudio corresponden a rangos subletales utilizados para detectar variabilidad en la sensibilidad del patógeno bajo condiciones controladas.

Discos de micelio de 5 mm de diámetro se colocaron en el centro de cajas Petri con medio papa-dextrosa-agar (PDA) suplementado con el fungicida; el tratamiento control consistió en medio sin ingrediente activo. Las cajas se incubaron a 25 ± 2 °C en oscuridad. El crecimiento micelial radial (mm) se registró cada 24 h hasta que el hongo llenó la caja de Petri. Las mediciones se realizaron en dos direcciones perpendiculares (polar y ecuatorial), y el valor final se obtuvo como el promedio de ambas.

El porcentaje de inhibición del crecimiento micelial se calculó mediante la ecuación 1: $\text{Inhibición (\%)} = [(C - T) / C] \times 100$, donde C corresponde al crecimiento de *Sclerotinia sclerotiorum* del control y T al crecimiento de *Sclerotinia sclerotiorum* en presencia del fungicida (Lehner *et al.*, 2017).

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Los datos fueron transformados mediante raíz cuadrada ($\sqrt{x + 0.5}$) para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Little & Hills, 1989), y se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía, donde se evaluó un factor que fueron las concentraciones y una variable de respuesta que fue el crecimiento micelial. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el software InfoStat versión 2020 (Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

Resultados y Discusión

El crecimiento micelial de los aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* mostró una respuesta diferencial a las concentraciones evaluadas de metil tiofanato (Figura 1). En el tratamiento control ($0 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), la mayoría de los aislados alcanzó valores cercanos al crecimiento máximo ($\approx 90 \text{ mm}$), correspondientes al llenado total de la caja Petri, aunque algunos aislados como F-1 y F-2 presentaron valores inferiores ($\approx 50\text{--}60 \text{ mm}$), evidenciando diferencias en el crecimiento basal entre aislados bajo condiciones *in vitro*. A la concentración más baja ($0.05 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), el crecimiento micelial se mantuvo cercano al observado en el control en la mayoría de los aislados, sin cambios notorios en el patrón general de crecimiento. En las concentraciones intermedias (0.75 y $1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), se observó una respuesta variable entre los aislados. Mientras algunos mantuvieron valores cercanos a 90 mm , otros como F-1 y F-2 presentaron reducciones marcadas ($\approx 20\text{--}30 \text{ mm}$), evidenciando diferencias en la respuesta individual al fungicida.

A $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, la reducción del crecimiento micelial fue más evidente en varios aislados, con valores intermedios de crecimiento ($\approx 30\text{--}60 \text{ mm}$), aunque sin una inhibición completa en todos los casos. En las concentraciones más altas (5 y $7.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), se observó una disminución más marcada del crecimiento micelial en la mayoría de los aislados; sin embargo, algunos como F-15 y F-16 mantuvieron crecimiento activo ($\approx 30\text{--}40 \text{ mm}$) incluso en estos niveles, mientras que otros mostraron reducciones más pronunciadas.

De acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), se observaron agrupaciones estadísticas diferenciadas entre tratamientos, donde el control se ubicó en los grupos con mayor crecimiento (C), mientras que las concentraciones más altas tendieron a agruparse en categorías con menor crecimiento (A–AB), confirmando diferencias significativas entre niveles de concentración. En conjunto, estos resultados evidencian que la interacción entre la concentración y el aislado influye de manera importante en el crecimiento micelial, generando patrones de respuesta diferenciados a lo largo del gradiente evaluado.

La respuesta de los aislados al metil tiofanato no fue uniforme a lo largo del gradiente de concentración evaluado (Figura 1). En particular, las concentraciones bajas mantuvieron un patrón de crecimiento similar al control en varios aislados, mientras que las concentraciones intermedias y altas hicieron más evidente la separación entre aislados con mayor y menor reducción del crecimiento.

Este comportamiento sugiere una interacción entre la concentración del fungicida y la respuesta individual de los aislados, lo cual coincide con reportes previos en *S. sclerotiorum* donde la sensibilidad al metil tiofanato varía entre aislamientos (Nieto-López *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024).

El crecimiento micelial promedio de los aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* disminuyó conforme aumentó la concentración de metil tiofanato (Figura 2). El tratamiento control ($0 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) presentó el mayor crecimiento ($\approx 85\text{--}90 \%$), mostrando diferencias significativas respecto a las concentraciones más altas evaluadas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis de varianza evidenció efectos significativos de la concentración del aislado y de la interacción concentración $\times$ aislado sobre el crecimiento micelial, indicando que la respuesta al fungicida depende tanto del nivel de concentración como de las características individuales de los aislados.

A concentraciones bajas (0.05 , 0.75 y $1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), no se observaron diferencias estadísticamente significativas con el control en algunos casos (grupos BC y ABC), lo que indica un efecto limitado del fungicida en este rango. A partir de $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, el crecimiento micelial promedio se redujo a aproximadamente 49% , ubicándose en un grupo estadístico intermedio, mientras que en las concentraciones más altas (5 y $7.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) se registraron los valores más bajos de crecimiento ($\approx 42 \%$ y 27% , respectivamente), con diferencias significativas respecto al control, particularmente en la concentración de $7.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (grupo A).

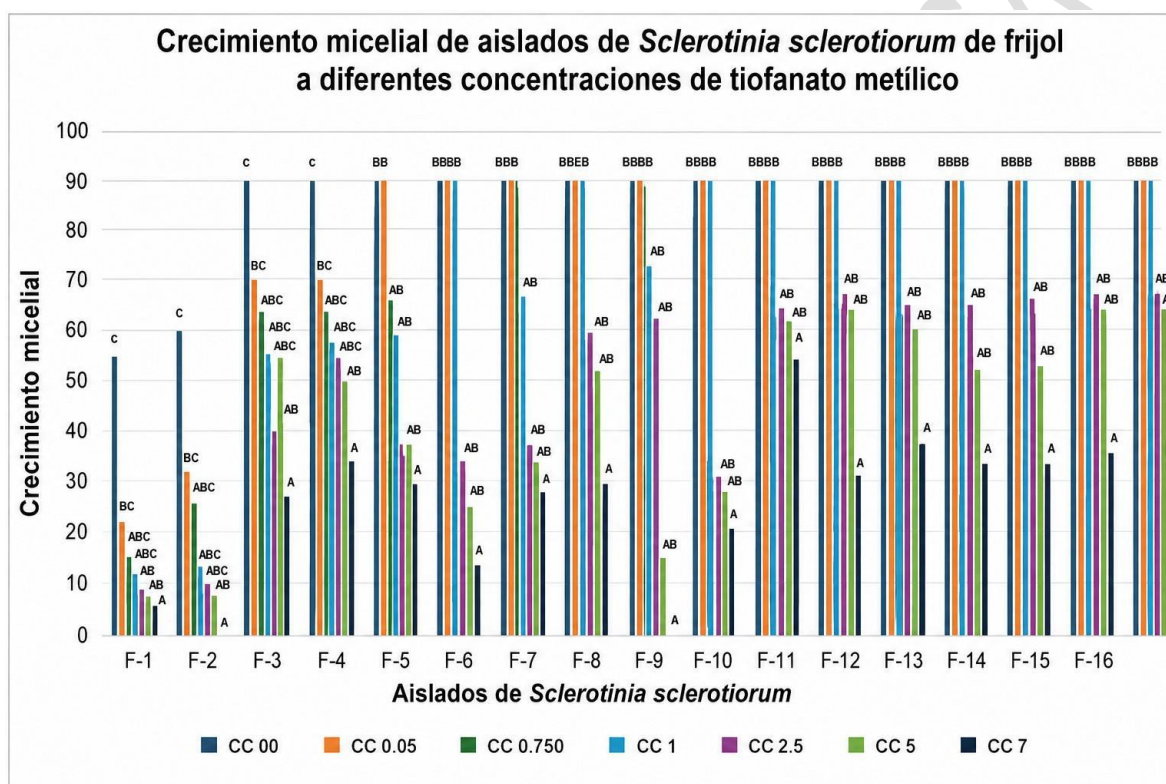


Figura 1. Crecimiento micelial de aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* provenientes de frijol a las 72 h, evaluados bajo diferentes concentraciones de metil tiofanato. Los valores representan el crecimiento promedio (mm), el crecimiento máximo registrado (90 mm) corresponde al llenado total de la caja Petri (borde). Las medias con una letra en común no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Fuente: Elaboración propia de los autores. Notas: F-1 a F-16 = aislados de *S. sclerotiorum* de frijol; el tratamiento control corresponde a $0 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (medio PDA sin fungicida) y CC= concentración del compuesto.

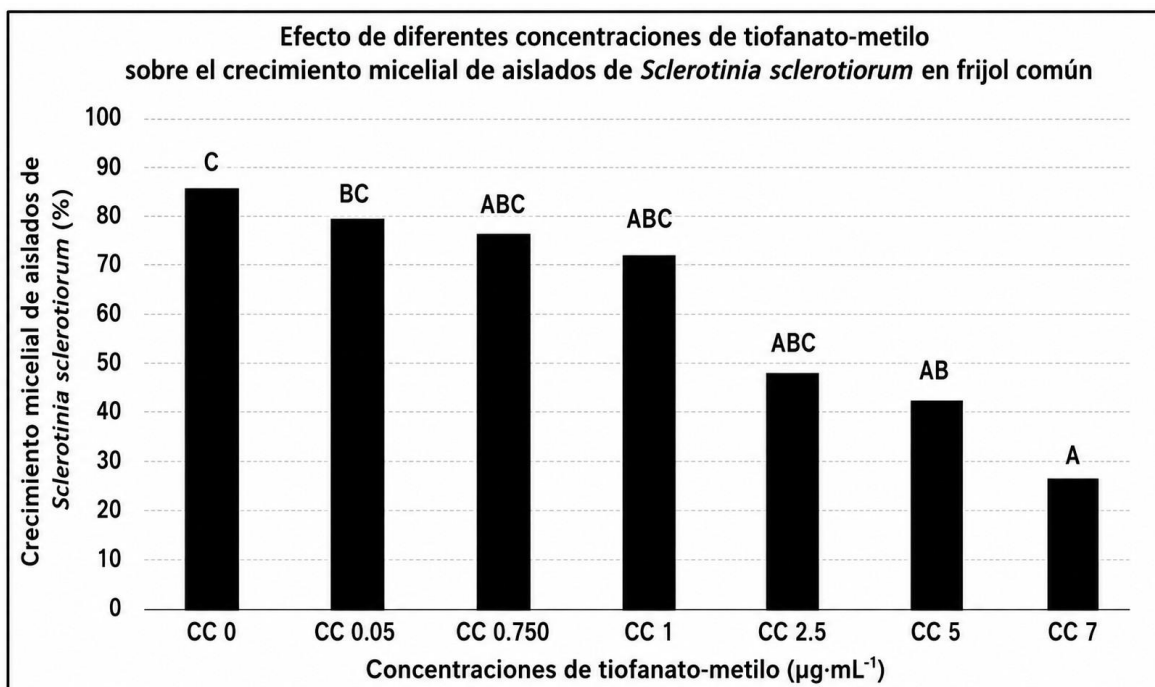


Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones de metil tiofanato sobre el crecimiento micelial relativo (%) de aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* de frijol. El tratamiento control corresponde a $0 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (sin fungicida). Las medias con una letra en común no difieren significativamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Fuente: Elaboración propia de los autores.

El crecimiento micelial promedio disminuyó significativamente conforme aumentó la concentración del metil tiofanato, evidenciando una respuesta dosis-dependiente a nivel poblacional. La ausencia de diferencias significativas entre el control y las concentraciones bajas indica que, en ese intervalo, el fungicida no produce una reducción poblacional consistente. Este patrón es consistente con lo reportado en estudios previos. Por un lado, Lehner *et al.* (2015) establecieron la concentración de $5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ como dosis discriminadora para evaluar la sensibilidad de aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* frente a fungicidas del grupo de los benzimidazoles. En el mismo sentido, Silva *et al.* (2024) utilizaron esta misma concentración para clasificar aislados en sensibles y resistentes, confirmando su utilidad como punto de referencia en estudios de sensibilidad.

En este contexto, los resultados obtenidos en el presente estudio, que muestran una reducción significativa del crecimiento a partir de $5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, respaldan el uso de esta concentración como umbral práctico para evaluar la respuesta del patógeno al metil tiofanato.

Asimismo, la marcada disminución observada a $7.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, junto con su diferencia estadística respecto al control, sugiere que concentraciones cercanas o superiores a este nivel podrían ser necesarias para lograr un control efectivo del crecimiento micelial en condiciones *in vitro*.

El análisis individual de los aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* evidenció una amplia variación en el porcentaje de inhibición micelial en respuesta a las diferentes concentraciones de metil tiofanato (Figura 3). A concentraciones bajas ($0.05\text{--}1\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), la inhibición fue limitada en varios aislados, observándose incluso valores cercanos a 0 % en algunos casos, particularmente en F-5, F-6 y F-8 a $1\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, lo que indica una baja respuesta en este rango de concentración. En el nivel intermedio ($2.5\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), se registró un incremento en la inhibición micelial en la mayoría de los aislados, aunque con una alta variación entre ellos, con valores que oscilaron aproximadamente entre 25 % y 65 %.

En las concentraciones más altas ($5\text{ y }7.5\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), la inhibición del crecimiento micelial fue más evidente en la mayoría de los aislados; sin embargo, persistieron diferencias marcadas entre ellos, observándose valores de inhibición superiores al 80 % en algunos casos (F-2 y F-9), mientras que otros aislados, como F-13, F-14, F-15 y F-16, mantuvieron niveles de inhibición moderados ($\approx 25\text{--}40\%$), indicando una menor respuesta al fungicida. En conjunto, los resultados muestran un gradiente de respuesta entre aislados, desde aquellos altamente inhibidos hasta otros con baja inhibición incluso a concentraciones elevadas.

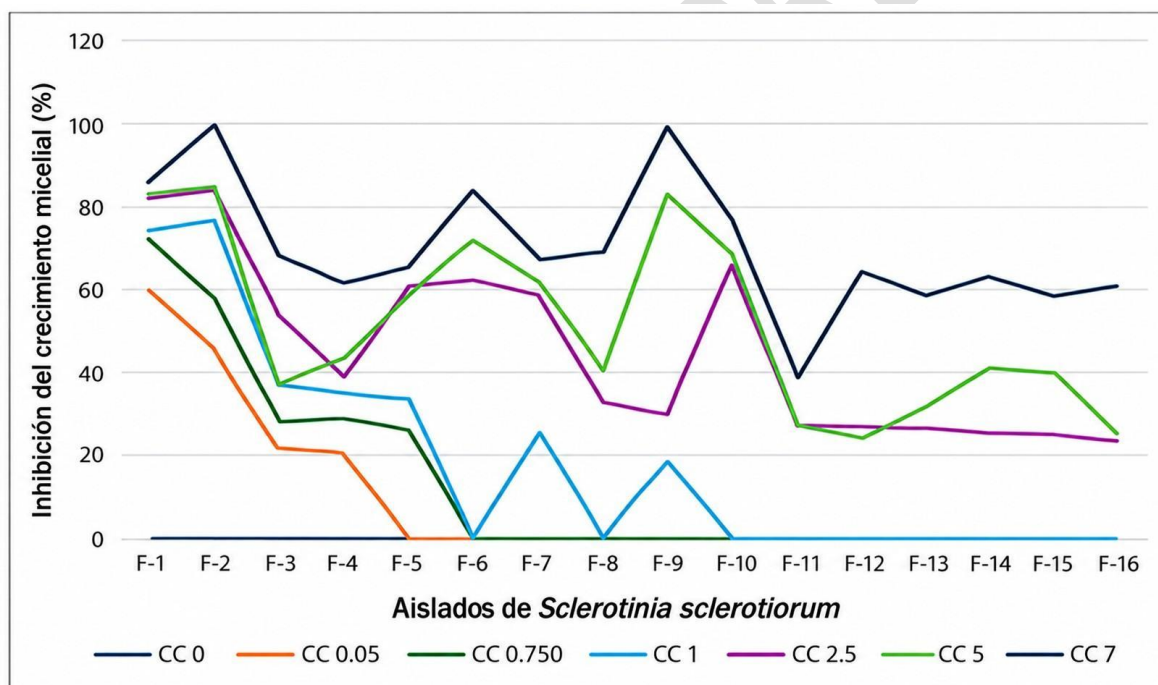


Figura 3. Evaluación del porcentaje de inhibición micelial de los aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* a diferentes concentraciones de metil tiofanato.

La población evaluada presentó una respuesta variable al metil tiofanato, caracterizada por la coexistencia de aislados altamente sensibles, intermedios y de baja respuesta. Este patrón confirma que la sensibilidad al fungicida no es uniforme en la población evaluada. La presencia de aislados con baja inhibición incluso a concentraciones altas (F-13 a F-16) sugiere la posible existencia de individuos con menor sensibilidad o tolerancia parcial al fungicida, lo cual ha sido reportado en poblaciones de *S. sclerotiorum* expuestas a presión de selección (Chen *et al.*, 2026; Silva *et al.*, 2024). En contraste, los aislados F-2 y F-9, que

mostraron inhibiciones cercanas al 100 %, representan la fracción altamente sensible de la población, lo que indica que aún coexisten individuos con alta susceptibilidad al ingrediente activo. Estos resultados concuerdan parcialmente con lo reportado por Silva *et al.* (2024), quienes documentaron que aproximadamente el 5.5 % de los aislados evaluados presentaron resistencia a metil tiofanato a la dosis discriminatoria de $5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. En el presente estudio, se identificaron 2 de 16 aislados (12.5 %) con baja inhibición a concentraciones similares, lo que representa una proporción mayor a la reportada, aunque sin determinación de EC_{50} ni caracterización molecular, no es posible confirmar resistencia establecida. La coexistencia de aislados con distintos niveles de inhibición sugiere una estructura poblacional heterogénea, propia de poblaciones en transición, en las que la presión de selección comienza a modificar la respuesta al fungicida. La presencia de aislados con menor sensibilidad al metil tiofanato es consistente con un escenario de presión de selección ejercida por el uso recurrente de fungicidas del grupo de los benzimidazoles para el manejo de enfermedades en cultivos de frijol en Sinaloa (Félix-Gastélum *et al.*, 2024). En este contexto, los individuos más sensibles son eliminados, mientras que aquellos con mayor tolerancia relativa pueden sobrevivir y persistir en el sistema productivo, favoreciendo cambios en la estructura poblacional del patógeno. Este fenómeno ha sido documentado en poblaciones de *Sclerotinia sclerotiorum*, donde la aplicación continua de fungicidas con el mismo modo de acción favorece la selección de individuos con menor sensibilidad (Chen *et al.*, 2026; Silva *et al.*, 2024). Además, la resistencia a benzimidazoles se ha asociado con mutaciones en el gen de la β -tubulina, las cuales alteran el sitio de unión del fungicida y reducen su eficacia sobre el crecimiento micelial del patógeno.

La evidencia fenotípica observada en este estudio, caracterizada por un rango amplio de inhibición (0–100 %), sugiere que la presión de selección podría estar influyendo en la respuesta de las poblaciones locales, lo que resalta la importancia de implementar estrategias de manejo integrado que reduzcan dicha presión. Desde un enfoque aplicado, estos resultados destacan la necesidad de evitar el uso continuo de fungicidas del grupo MBC como única estrategia de control, promoviendo la rotación de modos de acción y el monitoreo de sensibilidad en campo para prevenir el desarrollo de resistencia.

Conclusiones

Sclerotinia sclerotiorum mostró sensibilidad al metil tiofanato, con diferencias entre aislados en la magnitud de la inhibición, lo que evidencia una población con respuesta no uniforme. Las concentraciones de 5 y $7.5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ presentaron el mayor efecto inhibitorio en condiciones *in vitro*. La coexistencia de aislados con alta, intermedia y baja respuesta sugiere variabilidad en la sensibilidad dentro de la población evaluada. Estos resultados respaldan el uso del metil tiofanato dentro de programas de manejo integrado, evitando su aplicación continua y promoviendo la rotación de modos de acción. Se recomienda complementar estos hallazgos con la determinación de EC_{50} , caracterización molecular y validación en campo.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, JLPM, FAVE; desarrollo de la metodología, JLPM, BELV, QAAA, FAVE; manejo de software, JLPM, KRZ, EGL; validación experimental, JLPM, QAAA, EGL; análisis de resultados, JLPM, BELV, QAAA, FAVE; manejo de datos, JLPM, BELV, KRZ; escritura y preparación del manuscrito, JLPM, FAVE; redacción, revisión y edición, JLPM, BELV, QAAA, KRZ, EGL, FAVE; administrador de proyectos, FAVE; adquisición de fondos, FAVE, BELV.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión final del mismo.

Financiamiento

La presente investigación no recibió financiamiento externo específico de agencias públicas, comerciales o sin fines de lucro. El estudio se realizó con recursos institucionales de las dependencias participantes.

Declaraciones éticas

Este estudio no involucró seres humanos ni animales, por lo que no se requirió un dictamen del comité de ética. Las actividades experimentales se realizaron conforme a buenas prácticas de laboratorio y normas institucionales vigentes.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las instituciones participantes por el uso de las instalaciones y del equipo de laboratorio, así como al personal técnico y administrativo por el apoyo brindado durante la recolección de muestras, el establecimiento de los ensayos *in vitro* y el manejo del material experimental.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses financieros, personales o profesionales que pudiera haber influido en el desarrollo, análisis o publicación de los resultados de este estudio.

Referencias

- Chen, X., Chen, T., Zhang, Q., Mao, C., & Zhang, C. (2026). Resistance of mulberry fruit sclerotiniosis pathogens to thiophanate-methyl and boscalid. *Horticulturae*, 12(1), 9. <https://doi.org/10.3390/horticulturae12010009>
- Elsheshtawi, M., Elkhaky, M. T., Sayed, S. R., Bahkali, A. H., Mohammed, A. A., Gambhir, D., Mansour, A. S., & Elgorban, A. M. (2017). Integrated control of white rot disease on beans caused by *Sclerotinia sclerotiorum* using Contans® and reduced fungicides application. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(2), 405–409. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.038>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2022). FAOSTAT statistical database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/>

- Félix-Gastélum, R., Herrera-Rodríguez, G., Ávila-Alistac, N., & León, E. (2024). *Sclerotinia sclerotiorum* en frijol y papa en Sinaloa: Etiología, epidemiología y alternativas de manejo. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 42(3), 29. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2404-6>
- Fungicide Resistance Action Committee [FRAC]. (2025). FRAC code list 2025: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action. <https://www.frac.info/>
- Hammond, C. N., Cummings, T. F., & Johnson, D. A. (2008). Deposition of ascospores of *Sclerotinia sclerotiorum* in and near potato fields and the potential to impact efficacy of a biocontrol agent in the Columbia Basin. *American Journal of Potato Research*, 85(5), 353–360. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9029-z>
- Herrera-Rodríguez, G., Félix-Gastélum, R., Irazoqui-Acosta, M. B., Armenta-Lopez, S. E., Longoria-Espinoza, R. M., Orduño-Espinoza, F. J., & Parra-Parra, J. M. (2026). *In vitro* and field effectiveness of the combination of four *Trichoderma* spp. against *Sclerotinia sclerotiorum* and its impact on potato (*Solanum tuberosum* L.) crop production. *Plants*, 15(1), 156. <https://doi.org/10.3390/plants15010156>
- Johnson, D. A., & Atallah, Z. K. (2014). Disease cycle, development and management of *Sclerotinia* stem rot of potato. *American Journal of Plant Sciences*, 5, 3717–3726. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.525388>
- Kurt, S., Uysal, A., Kara, M., Soylu, S., & Soylu, E. M. (2017). Natural infection of potato by *Sclerotinia sclerotiorum* causing stem rot disease in Turkey. *Australasian Plant Disease Notes*, 12(1), Article 39. <https://doi.org/10.1007/s13314-017-0266-1>
- Lehner, M. S., Del Ponte, E. M., Gugino, B. K., Kikkert, J. R., & Pethybridge, S. J. (2017). Sensitivity and efficacy of boscalid, fluazinam, and thiophanate-methyl for white mold control in snap bean in New York. *Plant Disease*, 101(7), 1253–1258. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-16-1731-RE>
- Lehner, M. S., Paula Júnior, T. J., Silva, R. A., Vieira, R. F., Carneiro, J. E. S., Schnabel, G., & Mizubuti, E. S. G. (2015). Fungicide sensitivity of *Sclerotinia sclerotiorum*: A thorough assessment using discriminatory dose, EC50, high-resolution melting analysis, and description of new point mutation associated with thiophanate-methyl resistance. *Plant Disease*, 99(11), 1537–1543. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-14-1231-RE>
- Little, T. M., & Hills, F. J. (1989). *Agricultural experimentation: Design and analysis*. Wiley-Interscience. <https://www.wiley.com/en-us/Agricultural+Experimentation%3A+Design+and+Analysis-p-x000004113>
- Nieto-López, E. H., Justo Miorini, T. J., Wulkop-Gil, C. A., Chilvers, M. I., Giesler, L. J., Jackson-Ziems, T. A., Kabbage, M., Mueller, D. S., Smith, D. L., Tovar-Pedraza, J. M., Willbur, J. F., & Everhart, S. E. (2023). Fungicide sensitivity of *Sclerotinia sclerotiorum* from U.S. soybean and dry bean, compared to different regions and climates. *Plant Disease*, 107(8), 2395–2406. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-22-1707-RE>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola: Cierre de la producción agrícola. Gobierno de México. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Silva, R. A., Lehner, M. S., Paula Júnior, T. J., & Mizubuti, E. S. G. (2024). Fungicide sensitivity of isolates of *Sclerotinia sclerotiorum* from different hosts and regions in Brazil and phenotypic instability of thiophanate-methyl resistant isolates. *Tropical Plant Pathology*, 49(1), 93–103. <https://doi.org/10.1007/s40858-023-00629-x>
- Sousa-Melo, B., Voltan, A. R., Arruda, W., Cardoso Lopes, F. A., Castro Georg, R., & Ulhoa, C. J. (2019). Morphological and molecular aspects of sclerotial development in the phytopathogenic fungus *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microbiological Research*, 229, 126326. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126326>
- Termorshuizen, A. J. (2007). Fungal and fungus-like pathogens of potato. In Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., MacKerron, D. K. L., Taylor, M. A., & Ross, H. A. *Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives*. (pp. 643-665). Ed. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044451018-1/50071-3>
- Wharton, P., & Wood, E. (2012). White mold of potatoes (CIS-1200). University of Idaho Extension. <https://www.uidaho.edu/extension/publications/cis-1200>