



Efecto del fungicida pidiflumetofeno *in vitro* contra aislados de *Fusarium virguliforme* y *Sclerotinia sclerotiorum* de Iowa, USA

Edgar H Nieto-Lopez, Austin Bierl, Desiree Chang-Villatoro, Parbati Joshi, José F. González-Acuña, Stith Wiggs, and Daren Mueller*. Iowa State University, Department of Plant Pathology, Entomology, and Microbiology, Ames, IA, 50011, USA.

*Autor de Correspondencia:
Daren Mueller
dsmuelle@iastate.edu

Sección:
Edición periódica

Recibido:
05 Mayo, 2025
Aceptado:
20 Octubre, 2025
Publicado:
31 Octubre, 2025
Adelantada 2026

Cita:
Nieto-Lopez EH, Bierl A, Chang-Villatoro D, Joshi P, González-Acuña JF, et al. 2026. Efecto del fungicida pidiflumetofeno *in vitro* contra aislados de *Fusarium virguliforme* y *Sclerotinia sclerotiorum* de Iowa, USA. Revista Mexicana de Fitopatología 44(1): 97. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2505-2>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. El síndrome de la muerte súbita causado por *Fusarium virguliforme* (Fv) y el moho blanco causado por *Sclerotinia sclerotiorum* (Ss) son de las enfermedades más importantes de soja, en cuanto a pérdidas de rendimiento en el norte de USA. Pocos estudios han estimado el EC₅₀ del fungicida pidiflumetofeno para el crecimiento micelial de aislados de Fv y Ss de Iowa, así como el EC₅₀ para la producción de esclerocios de Ss.

Desarrollo Experimental. Papa dextrosa agar (PDA) a 1/3 de su concentración fue suplementado con Salto® (pidiflumetofeno 41.7 %) en 0.0008, 0.0042, 0.0083, 0.0417, 0.0834, 0.8340 y 834 ppm a partir de diluciones en serie. Los aislados fueron incubados en oscuridad a 25 °C. Los aislados de Fv fueron evaluados a los 7 días y los de Ss a las 48 h de inoculados, midiendo el crecimiento radial. El número y peso seco de los esclerocios fueron registrados a los 21 días de incubación.

Resultados. Los valores absolutos del EC₅₀ del pidiflumetofeno para el crecimiento micelial de Fv fueron 0.045 y 0.048 ppm. El aislado contemporáneo (FV-RD-0024; colectado en el año 2024) e histórico (NE205; colectado en el año 2006 —años antes de la introducción de pidiflumetofeno en el mercado), ambos presentaron un EC₅₀ para el crecimiento micelial en el rango de la línea base (0.04–0.24 ppm) en USA. Los valores de EC₅₀ para el crecimiento micelial de los aislados contemporáneos de Ss presentaron un rango de 0.011 a 0.046 ppm, el cual está dentro de la línea base de hospedantes de soja y de no soja, de China. Las concentraciones de 0.834 y 834 ppm fueron estadísticamente diferentes (sin producción de esclerocios) al testigo, el cual presentó 14.6 esclerocios y 0.066 g.

Conclusión. Los valores de EC₅₀ del crecimiento micelial de los aislados de *F. virguliforme* de Iowa están en el rango de reportes previos en USA. Los valores de EC₅₀ del crecimiento micelial de los aislados de *S. sclerotiorum* de Iowa están en el rango de reportes previos fuera de USA. Pidiflumetofeno tiene el potencial efecto de disminuir la producción de esclerocios, pero son necesarios más estudios.

Palabras clave: EC₅₀ del crecimiento micelial, EC₅₀ del número de esclerocios, EC₅₀ del peso seco de esclerocios, MIC



INTRODUCCIÓN

Estados Unidos es el segundo mayor productor de soya (*Glycine max*) en el mundo, con Iowa como contribuyente clave en el Medio Oeste (USDA-NASS, 2022). Iowa figura como el segundo estado con mayor producción de soya, con un rendimiento de 15.59 millones de toneladas métricas en 3.97 millones de ha (USDA-NASS, 2022). El síndrome de muerte súbita (SMS), causado por *Fusarium virguliforme*, y el moho blanco (MB), causado por *Sclerotinia sclerotiorum*, son la segunda y tercera enfermedad más impactantes que contribuyen a la pérdida de 0.81 y 0.71 millones de toneladas métricas en rendimientos de soya, respectivamente, en el norte de EEUU (CPN, 2025b).

Los esclerocios son estructuras fúngicas producidas por miembros de la familia Sclerotiniaceae. La incidencia de la enfermedad puede verse reducida de forma significativa si se previene la formación de esclerocios o si son destruidos en el suelo o en residuos de plantas (Xia *et al.*, 2019). Estudios anteriores han estudiado la producción de esclerocios de moho blanco en el campo tras aplicaciones de fungicidas (Miorini *et al.*, 2017; Vieira *et al.*, 2003). Asimismo, otros estudios han investigado el impacto de los fungicidas de benzovindiflupir y flusilazol en la producción *in vitro* de esclerocios de MB (Huang *et al.*, 2019b; Lu *et al.*, 2015).

El Pidiflumetofeno es un fungicida de segunda generación del grupo 7 de inhibidores de succinato deshidrogenasa (SDHI)–(FRAC) (FRAC, 2024), conocido por su actividad de amplio espectro contra una amplia gama de patógenos vegetales (Duan *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2019a). Ha sido etiquetado para su uso en soya en EEUU desde 2019, tanto como en tratamiento para semillas (Kandel *et al.*, 2019), como en formulaciones comerciales premezcladas para aplicación foliar para el manejo de enfermedades como SMS y MB. Si bien la investigación sobre la sensibilidad a los fungicidas en los aislados estadounidenses de Fv y Ss ha sido limitada, el pidiflumetofeno ha demostrado ser eficiente contra *Fusarium graminearum* (de trigo, maíz, frijol seco y soya), *Cercospora soja* y *Corynespora cassiicola* (de soya) en EEUU, *Sclerotinia sclerotiorum* de colza, pepino, tomate, berenjena, alubia roja, pimienta y calabaza en China (Breunig y Chilvers, 2021; Duan *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2019a; Neves y Bradley, 2021; Xu *et al.*, 2020), *Botrytis cinerea* de tomate en China (Li *et al.*, 2022) y *Bipolaris maydis* de maíz en China (Sun *et al.*, 2024).

El paquete “drc” (Ritz *et al.*, 2015) fue escrito explícitamente para estimar relaciones de dosis-respuesta a lo largo de muchas disciplinas, incluida la fitopatología. Se trata de un paquete robusto que describe relaciones dosis-respuesta simétricas y asimétricas, incluidas las que describen efectos horméticos (Knezevic *et al.*, 2007). Una curva dosis-respuesta simétrica describe las relaciones que se pueden modelar, presentando simetría alrededor de un punto de inflexión, mientras que las curvas dosis-respuesta asimétricas no tienen esta propiedad (Noel *et al.*, 2018). Para estimar la EC_{50} , los modelos de dosis-respuesta por lo general usan los siguientes parámetros: la asíntota superior, la asíntota inferior y la inclinación (Noel *et al.*, 2018). Así, hay dos definiciones que describen la EC_{50} : relativa y absoluta. La EC_{50} relativa es el punto de inflexión en una curva de dosis-respuesta, mientras que la EC_{50} absoluta es la concentración en la cual ocurre 50 % del crecimiento máximo (más consistente con la EC_{50} definida por FRAC; Noel *et al.*, 2018).

El objetivo fue estimar la EC_{50} absoluta para el crecimiento micelial de *Fusarium virguliforme* de Iowa, así como determinar los valores de EC_{50} absoluto tanto para el crecimiento micelial y para la producción esclerótica de *Sclerotinia sclerotiorum* de Iowa.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Preparación de los medios. Se preparó dextrosa papa agar (PDA) a un tercio de su concentración disolviendo 1.3 g de PDA (Difco Laboratories, Detroit, MI) y 1.0 g de agar (Bacto Laboratories, NSW, Australia) en 100 mL de agua destilada. El medio se esterilizó en autoclave por una hora. Una solución madre de Salto® (pidiflumetofeno 41.7 %, Syngenta; concentrado fluido formulado para tratamiento de semillas) a 417,000 ppm se diluyó con agua destilada estéril y se incorporó al medio PDA a 50 °C para obtener concentraciones finales de 0.0008, 0.0042, 0.0083, 0.0417, 0.0834, 0.8340 y 834 ppm mediante dilución seriada estándar. El medio sin fungicida fungió como el testigo. Los medios suplementados se agitaron con cuidado y se vertieron en placas de Petri de 10 cm de diámetro. Para mantener la consistencia se dispensaron 20 mL de medio en cada placa usando un tubo Falcon estéril (Fisher Scientific, Waltham, MA).

Aislados fúngicos, inoculación e incubación. Se obtuvieron aislamientos monospóricos de plantas de soya que presentaban síntomas típicos de SMS, mediante un medio de Nash y Snyder modificado con el procedimiento de Cho *et al.* (2001). Los aislamientos de *F. virguliforme* fueron identificados morfológicamente y molecularmente mediante el procedimiento de Chilvers y Brown-Rytlewski (2010). Se obtuvieron aislamientos de *S. sclerotiorum* de un único esclerocio proveniente del tallo de la planta de soya con síntomas de MB durante la época de cosecha, siguiendo el procedimiento de Otto-Hanson *et al.* (2011). Los aislamientos de *S. sclerotiorum* crecieron rápidamente con micelios aéreos color blanco algodón y formaron esclerocios irregulares en la orilla de la placa de Petri.

Se usaron un total de dos aislamientos de *F. virguliforme* y tres de *S. sclerotiorum* (Cuadro 1). Los aislamientos históricos son considerados aislamientos colectados antes de la introducción de pidiflumetofeno en el mercado (2019) (Fv1^{his}), mientras que los aislamientos contemporáneos son considerados aislamientos colectados en la actualidad y después de la introducción del pidiflumetofeno en el mercado (2019). Se lograron obtener aislamientos históricos para *F. virguliforme*, pero no para *S. sclerotiorum*. Se usaron cultivos de *F. virguliforme* (siete días después de la inoculación, DDI) y *S. sclerotiorum* (48 horas después de la inoculación, HDI) en crecimiento con PDA de 1/3 de su concentración. Se tomaron discos de agar (0.6 cm de diámetro) del borde de la colonia y se colocaron al centro de placa con medio suplementado. Las placas se sellaron con cinta plástica parafilm® (Amcor corporate, Zürich, Suiza) y se colocaron en una incubadora a 25 °C y en la oscuridad. Después del periodo de incubación (7 DDI para *F. virguliforme* y 48 HDI para *S. sclerotiorum*), las placas se escanearon para cuantificar el crecimiento micelial a 400 dpi con un fondo azul y una pequeña regla como escala—sin remover la cinta plástica. Se midieron los diámetros de las colonias (ecuatorial y polar) mediante ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD) y las placas de *S. sclerotiorum* se mantuvieron por más tiempo a 25 °C en la oscuridad.

Producción de esclerocios. Las placas ya mencionadas de *S. sclerotiorum* se incubaron a 25 °C en la oscuridad por 21 días para permitir la formación de esclerocios. Se recolectaron todos los esclerocios de cada placa, se secaron en un horno a 50 °C por 48 horas, se contaron y pesaron, siguiendo el procedimiento de Lu *et al.* (2015).

Análisis de datos. Los valores de EC₅₀ para el crecimiento micelial de ambos hongos (*F. virguliforme* y *S. sclerotiorum*) y para la producción esclerótica de *S. sclerotiorum* se

estimaron mediante el ajuste de tres modelos: los modelos de respuesta a dosis log-logístico de tres parámetros (LL.3), log-logístico de cuatro parámetros (LL.4), y Weibull de cuatro parámetros tipo I (W1.4) y tipo II (W2.4), usando el paquete “drc” en R (Ritz *et al.*, 2015). El modelo de mejor ajuste fue seleccionado con base en el Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés), pruebas F para la falta de ajuste y examen de la varianza residual, de acuerdo con Noel *et al.* (2018), usando la función “mselect” del mismo paquete. Todas las concentraciones de fungicidas, incluidos el testigo, tuvieron tres réplicas por placa con medio (unidad experimental). Las placas Petri se incubaron en un diseño completamente aleatorio y el experimento se llevó a cabo dos veces. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y prueba post hoc de la diferencia mínima significativa de Fisher (LSD) usando el paquete “agricolae” (de Mendiburu, 2023). Todos los análisis de datos se llevaron a cabo en R studio (R Development Core Team, 2024).

Los modelos mejor adaptados para el crecimiento micelial fueron el Weibull tipo II (W2.4) para Fv1 y el log-logístico de cuatro parámetros (LL.4) para Fv3. Para *S. sclerotiorum*, los mejores modelos fueron W2.4 para Ss1 y Weibull tipo I (W1.4) tanto para Ss2 como para Ss4 (Cuadro 1). Los valores EC_{50} absolutos de pidiflumetofeno para el crecimiento micelial de aislamiento de *F. virguliforme* fueron 0.045 ppm (Fv1) y 0.048 ppm (Fv3) (Cuadro 1). Para *S. sclerotiorum*, los valores EC_{50} absolutos para el crecimiento micelial oscilaron de 0.011 a 0.046 ppm (Cuadro 1).

El aislamiento Ss2 no produjo esclerocios en el testigo y por ello fue excluido de subsecuentes análisis de esclerocios. Los modelos mejor adaptados para el número de esclerocios y de peso seco fueron LL.3 para Ss1 y Ss4. Los valores EC_{50} absolutos para el número de esclerocios oscilaron entre 0.004 y 0.019 ppm, y para esclerocios de peso seco, entre 0.101 y 0.137 ppm (Cuadro 1).

El aislamiento histórico *F. virguliforme* Fv1 (NE305) presentó un menor valor EC_{50} que el aislado contemporáneo Fv3 (FV-RD-0024), lo que indica una mayor sensibilidad al pidiflumetofeno, como era de esperarse. Cabe destacar que las concentraciones más altas evaluadas (0.834 y 834 ppm) no inhibieron por completo el crecimiento micelial de *F. virguliforme* (Figura 1).

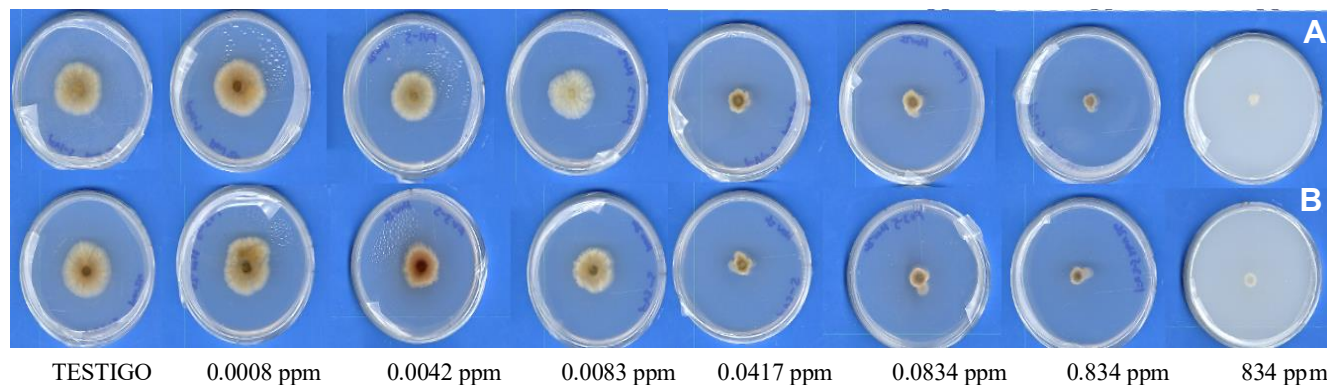


Figura 1. Aislados de *Fusarium virguliforme* en placas Petri con PDA a 1/3 de su concentración, incubados a 7 días después de la inoculación (DDI) en oscuridad a 25 °C. Placas Petri suplementadas con el fungicida pidiflumetofeno en dilución seriada. A) Aislado *Fusarium virguliforme* Fv1 (NE305); B) Aislado *Fusarium virguliforme* Fv3 (FV-RD-0024).

Se observó un efecto significativo de la concentración de pidiflumetofeno sobre el número de esclerocios ($p < 0.001$). Las concentraciones de 0.0042, 0.0083, 0.0417, 0.0834, 0.834 y 834 ppm redujeron el número de esclerocios de forma significativa en comparación con el testigo (14.6 esclerocios). Las concentraciones más altas, 0.834 y 834 ppm, resultaron en los conteos de esclerocios más bajos registrados (0) en el estudio (Cuadro 2;

Figura 2). Debido a una notable variación en el número y tamaño de los esclerocios dentro del mismo tratamiento, el peso seco de los esclerocios también se evaluó como una variable más consistente. La concentración de pidiflumetofeno también tuvo un efecto significativo sobre el peso seco de los esclerocios ($p < 0.001$), con concentraciones de 0.834 y 834 ppm, lo cual redujo el peso seco de los esclerocios de forma significativa (0 g) en comparación con el testigo (0.066 g) (Cuadro 2; Figura 2).

Cuadro 1. Aislados de *Fusarium virguliforme* (Fv) y *Sclerotinia sclerotiorum* (Ss) usados en el estudio, incluyendo sus antecedentes y su estimado EC₅₀ valor absoluto por variable de las placas de Petri suplementadas con el fungicida pidiflumetofeno (Saltro®, Syngenta) a 0.0008, 0.0042, 0.0083, 0.0417, 0.0834, 0.8340, y 834 ppm mediante dilución seriada. El aislado Ss2 (#630) muestra solo un modelo, ya que no produjo esclerocios en el testigo.

Hongo	ID	Aislado	EC ₅₀ ^M (ppm)	SE ^M	EC ₅₀ ^N (ppm)	SE ^N	EC ₅₀ ^D (ppm)	SE ^D	Modelo	Ubicación de colecta	Año de colecta
<i>Fusarium virguliforme</i>	Fv1 ^{his}	NE305 (Gongora- Canul <i>et al.</i> , 2012) Mueller's lab	0.045	0.004	-	-	-	-	W2.4 ^{Md}	Nevada	2006
<i>F. virguliforme</i>	Fv3 ^{con}	FV-RD- 0024	0.048	0.006	-	-	-	-	LL.4 ^{Mb}	Roland	2024
<i>S. sclerotiorum</i>	Ss1	Leandro's lab WM- 2024	0.011	0.001	0.004	0.005	0.101	0.014	W2.4 ^{Md} , LL.3 ^{Na} , LL.3 ^{Da}	^z SR en Iowa	SR
<i>S. sclerotiorum</i>	Ss2	#630 Mueller's lab	0.046	0.004	-	-	-	-	W1.4 ^{Mc}	SR en Iowa	2020
<i>S. sclerotiorum</i>	Ss4	WM-CO- 0024	0.041	0.005	0.019	0.012	0.137	0.019	W1.4 ^{Mc} , LL.3 ^{Na} , LL.3 ^{Da}	Colo	2024

^{his}Aislado histórico=Colectado antes de la introducción de pidiflumetofeno al mercado; ^{con}Aislado contemporáneo = Colectados en la actualidad y después de la introducción del pidiflumetofeno en el mercado; ^MCrecimiento micelial; ^Nnúmero de esclerocios; ^DPeso seco de esclerocios.
SE = Error Standard; ^aLog-logístico de tres parámetros (curva simétrica); ^bLog-logístico de cuatro parámetros (curva simétrica); ^cWeibull tipo I de cuatro parámetros (curva asimétrica); ^dWeibull tipo II de cuatro parámetros (curva asimétrica). ^zSD= Sin Registro

Cuadro 2. Promedio en el número y peso seco de los esclerocios producidos por aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* Ss1 (WM-2024) y Ss4 (WM-CO-0024) incubados por 21 días en oscuridad a 25 °C. Las placas Petri suplementadas con el fungicida pidiflumetofeno. Variables entre ambos aislados fueron combinadas.

Concentración (ppm)	Número de esclerocios	Grupos ^z	Peso seco de esclerocios (g)	Grupos ^z
0	14.600	a	0.066	a
0.0008	10.00	ab	0.071	a
0.0042	7.167	b	0.068	a
0.0083	7.333	b	0.064	a
0.0417	7.333	b	0.057	a
0.0834	8.667	b	0.051	a
0.834	0	c	0	c
834	0	c	0	c

^zConcentraciones con la misma letra no son significativamente diferentes en la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD) en $p < 0.05$

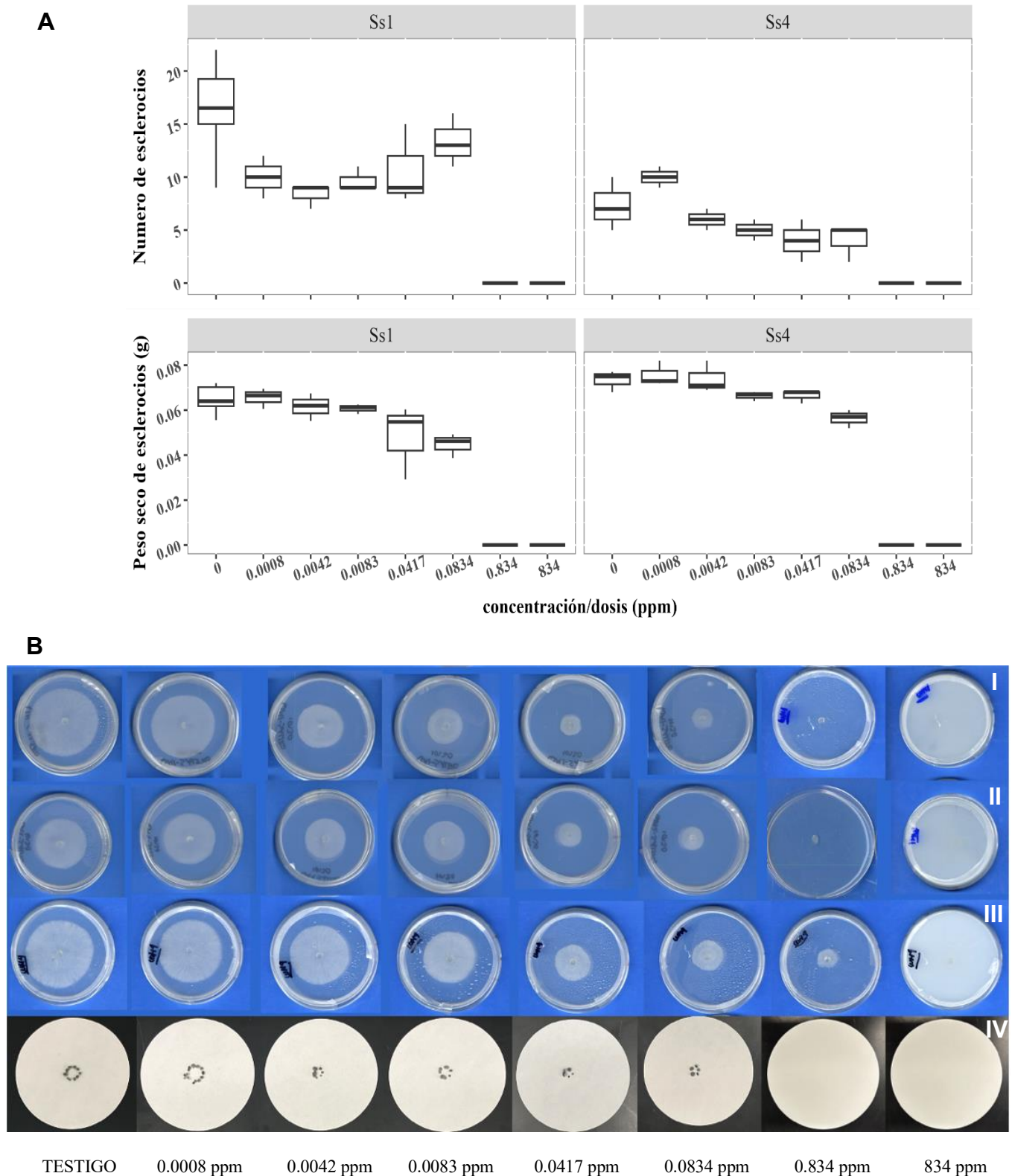


Figura 2. Crecimiento micelial y producción de esclerocios en placas Petri de *Sclerotinia sclerotiorum* incubados en oscuridad a 25 °C. Placas Petri suplementadas con el fungicida pidiflumetofeno en dilución seriada. A) Diagrama de caja. B) Imagen en la cual un mismo aislado se encuentra en la misma fila con diferentes concentraciones que se incrementan de izquierda a derecha. Paneles B-I to B-III: Crecimiento micelial a las 48 horas después de la inoculación (HDI); B-I) Aislado *Sclerotinia sclerotiorum* Ss1 – etiquetado WM1 (WM-2024); Aislado *Sclerotinia sclerotiorum* Ss2 – etiquetado WM2 (#630); B-III) Aislado *Sclerotinia sclerotiorum* Ss4 – etiquetado WM4 (WM-CO-0024); Panel B-IV: Producción de esclerocios a los 21 días de incubación (DDI); B-IV) Aislado *Sclerotinia sclerotiorum* Ss4 (WM-CO-0024).

El pidiflumetofeno redujo el crecimiento micelial de *Fusarium virguliforme*. Los valores de crecimiento micelial EC_{50} para *F. virguliforme* en este estudio (0.045–0.048 ppm) se encuentran dentro del rango previamente reportado de 0.011–0.4602 ppm para los aislamientos de soya en EE. UU. (Hamilton *et al.*, 2024; Olaya *et al.*, 2021). Los modelos de mejor ajuste para el crecimiento micelial fueron de tipo cuatro parámetros: las distribuciones Weibull tipo II (asimétrica) y el log-logístico (simétrica). El uso del modelo Weibull tipo II es consistente con Hamilton *et al.* (2024), quienes estudiaron el mismo hongo e ingrediente activo. Sin embargo, su concentración máxima probada fue de 100 ppm, mientras que este estudio usó concentraciones de hasta 834 ppm. La diferencia puede ser atribuida al uso de una fórmula comercial, mientras que Hamilton *et al.* (2024) usó el ingrediente activo puro. No obstante, las concentraciones más altas probadas en este estudio (0.834 y 834 ppm) no pueden ser consideradas como la mínima concentración inhibitoria (MIC por sus siglas en inglés).

El aislamiento histórico Fv1 (NE205), colectado en 2006—antes de la introducción de pidiflumetofeno en EEUU—y el aislamiento contemporáneo Fv3 (FV-RD-0024) presentaron valores EC_{50} de 0.045 y 0.048 ppm, respectivamente. Ambos valores se encuentran dentro del rango línea base de 0.04–0.24 ppm para aislamientos no expuestos en EEUU (Hamilton *et al.*, 2024).

El pidiflumetofeno también tuvo un efecto sobre el crecimiento micelial de *Sclerotinia sclerotiorum*. Los valores EC_{50} obtenidos en este estudio se encontraron dentro de los rangos de la línea base reportados anteriormente: 0.0058–0.09 ppm (aislamientos provenientes de soya; Duan *et al.*, 2019) y 0.0015–0.0350 ppm (aislamientos no provenientes de soya—de seis cultivos diferentes; Huang *et al.*, 2019a), ambos de China. Sin embargo, vale la pena resaltar que Huang *et al.* (2019a) usaron un medio líquido para realizar pruebas *in vitro*, mientras que el presente estudio usó medio sólido. Los modelos de mejor ajuste para el crecimiento micelial de *S. sclerotiorum* fueron las distribuciones W1.4 y W2.4 (asimétricas), aunque estos tipos de modelo no se reportaron en estudios previos usando este hongo y fungicida, lo cual limitó las comparaciones directas.

Además de inhibir el crecimiento micelial, el pidiflumetofeno redujo la producción de esclerocios de manera significativa en *S. sclerotiorum*. Los valores EC_{50} para el número de esclerocios y peso seco (0.004–0.019 ppm y 0.101–0.137 ppm, respectivamente) se traslapan con los rangos reportados por Gao *et al.* (2020) en China para los aislamientos línea base que no provienen de soya (valores EC_{50} promedios de 0.023 ppm para número y 0.003 ppm para el peso seco). En el presente estudio, el número de esclerocios se redujo de forma significativa a partir de 0.0042 ppm, mientras que el peso seco de los esclerocios se redujo de forma significativa a partir de 0.834 ppm. Estos resultados son consistentes con hallazgos previos de que las concentraciones de entre 0.2 y 0.8 ppm reducen tanto el número y el peso seco de los esclerocios con el uso de benzovindiflupyr, otro fungicida SDHI de segunda generación (Huang *et al.*, 2019b). Con base en nuestros resultados, la concentración inhibitoria esclerótica *in vitro* parece ser 0.834 ppm.

Los valores EC_{50} para el crecimiento micelial de aislamientos de *Fusarium virguliforme* de Iowa se encuentran dentro del rango previamente reportado para los aislamientos de soya de EEUU (Hamilton *et al.*, 2024; Olaya *et al.*, 2021). Asimismo, los valores EC_{50} para aislamientos de *Sclerotinia sclerotiorum* de Iowa son consistentes con los reportados para los aislamientos de afuera de EEUU (Duan *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2019a). Estos hallazgos sugieren que el pidiflumetofeno tiene el potencial de reducir la producción esclerótica, una importante estructura de sobrevivencia en el ciclo de la enfermedad de *S.*

sclerotiorum. Por lo tanto, se requieren estudios adicionales en condiciones de campo (*in planta*) para evaluar su efectividad en interrumpir la progresión de la enfermedad al afectar la formación de esclerocios. Este estudio no evaluó los efectos ambientales o los efectos sobre organismos no objetivo del pidiflumetofeno, los cuales deberían ser abordados en investigaciones futuras. Las formulas comerciales de fungicidas con este ingrediente activo (7 %) mezclado con más ingredientes activos se encuentran etiquetados para su aplicación foliar sobre el cultivo de soya para el manejo de *S. sclerotiorum* en EEUU (CPN, 2025a).

CONCLUSIONES

Los valores de EC₅₀ del crecimiento micelial de los aislados de *F. virguliforme* de Iowa están en el rango de reportes previos en USA. Los valores de EC₅₀ del crecimiento micelial de los aislados de *S. sclerotiorum* de Iowa están en el rango de reportes previos fuera de USA. Pidiflumetofeno tiene el potencial efecto de disminuir la producción de esclerocios, pero son necesarios más estudios. Hasta donde sabe, esta es la primera vez que se reporta una estimación del EC₅₀ de pidiflumetofeno tanto en el crecimiento micelial y la producción de esclerocios de aislamientos de soya de *S. sclerotiorum* de EEUU.

Limitaciones

Este estudio de sensibilidad de fungicida se basó en un número limitado de aislamientos fúngicos. Como tal, se recomienda tener precaución al extrapolar estos resultados a poblaciones más amplias. Un tamaño de muestras más grande en estudios futuros fortalecería las conclusiones y brindaría datos de referencia más robustos para el monitoreo de la resistencia.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés en relación con esta investigación.

Financiación

Este trabajo contó con el apoyo parcial del Proyecto Hatch del USDA IOW04108 – Salud y manejo de enfermedades de cultivos, y del programa de soybean checkoff a través de la United Soybean Board.

Contribuciones de autores

Concepción y conceptualización: Nieto-Lopez y Mueller; Metodología: Nieto-Lopez, Bierl, Chang-Villatoro, Joshi y González-Acuña; Software: Nieto-Lopez; Validación: Nieto-Lopez y Parbati Joshi; Análisis formal: Nieto-Lopez; Investigación: Nieto-Lopez; Resources: Mueller; Curaduría de datos: Nieto-Lopez; Redacción—versión original: Nieto-Lopez y González-Acuña; Redacción—revisión y edición: Mueller; Visualización: Nieto-Lopez; Supervisión: Joshi; Administración de proyecto: Nieto-Lopez; Adquisición de fondos: Mueller.

REFERENCIAS

- Breunig M and Chilvers MI. 2021. Baseline sensitivity of *Fusarium graminearum* from wheat, corn, dry bean and soybean to pydiflumetofen in Michigan, USA. *Crop Protection* 140: 105419. DOI 10.1016/j.cropro.2020.105419
- Chilvers MI and Brown-Rytlewski DE. 2010. First report and confirmed distribution of soybean Sudden death syndrome caused by *Fusarium virguliforme* in southern Michigan. *Plant Disease* 94(9): 1164–1164. DOI 10.1094/PDIS-94-9-1164B
- Cho JH, Rupe JC, Cummings MS and Gbur EE Jr. 2001. Isolation and identification of *Fusarium solani* f. sp. *glycines* from soil on modified Nash and Snyder's medium. *Plant Disease* 85: 256–260. DOI 10.1094/PDIS.2001.85.3.256
- CPN, Crop Protection Network. 2025a. Fungicide Efficacy for Control of Soybean Foliar Diseases. CPN-1019. DOI 10.31274/cpn-20190620-014 (retrieved August 2025)
- CPN, Crop Protection Network. 2025b. Soybean Disease Loss Estimates from the United States and Ontario, Canada — 2024. CPN-1018-24. DOI 10.31274/cpn-20250317-1 (retrieved August 2025)
- de Mendiburu F. 2023. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-7. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Duan Y, Xiu Q, Li H, Li T, Wang J, *et al.* 2019. Pharmacological characteristics and control efficacy of a novel SDHI fungicide pydiflumetofen against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Disease* 103(1): 77–82. DOI 10.1094/PDIS-05-18-0763-RE
- Gao Y, He L, Zhu J, Cheng J, Li B, *et al.* 2020. The relationship between features enabling SDHI fungicide binding to the Sc-Sdh complex and its inhibitory activity against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Pest Management Science* 76(8): 2799–2808. DOI 10.1002/ps.5827
- Gongora-Canul C, Nutter Jr. FW and Leandro LF. 2012. Temporal dynamics of root and foliar severity of soybean Sudden death syndrome at different inoculum densities. *European Journal of Plant Pathology* 132(1): 71–79. DOI 10.1007/s10658-011-9849-4
- Hamilton R, Jacobs JL, McCoy AG, Kelly HM, Bradley CA, *et al.* 2024. Multistate sensitivity monitoring of *Fusarium virguliforme* to the SDHI fungicides fluopyram and pydiflumetofen in the United States. *Plant Disease* 108(6): 1602–1611. DOI: 10.1094/PDIS-11-23-2465-RE
- Huang XP, Luo J, Li BX, Song YF, Mu W, *et al.* 2019a. Bioactivity, physiological characteristics and efficacy of the SDHI fungicide pydiflumetofen against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Pesticide Biochemistry And Physiology* 160: 70–78. DOI 10.1016/j.pestbp.2019.06.017
- Huang XP, Luo J, Song YF, Li BX, Mu W, *et al.* 2019b. Favorable bioactivity of the SDHI fungicide benzovindiflupyr against *Sclerotinia sclerotiorum* mycelial growth, sclerotial production, and myceliogenic and carpogenic germination of sclerotia. *Plant Disease* 103(7): 1613–1620. DOI 10.1094/PDIS-05-18-0729-RE
- Kandel YR, Bradley CA, Chilvers MI, Mathew FM, Tenuta AU, *et al.* 2019. Effect of seed treatment and foliar crop protection products on Sudden death syndrome and yield of soybean. *Plant Disease* 103(7): 1712–1720. DOI 10.1094/PDIS-12-18-2199-RE
- Knezevic SZ, Streibig JC and Ritz C. 2007. Utilizing R software package for dose-response studies: The concept and data analysis. *Weed Technology* 21(3): 840–848.
- Lu XM, Zhu ZQ, Di YL and Zhu FX. 2015. Baseline sensitivity and toxic action of flusilazole to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Crop Protection* 78: 92–98. DOI 10.1016/j.cropro.2015.08.022
- Li X, Gao X, Hu S, Hao X, Li G, *et al.* 2022. Resistance to pydiflumetofen in *Botrytis cinerea*: Risk assessment and detection of point mutations in *sdh* genes that confer resistance. *Pest Management Science* 78(4): 1448–1456. DOI 10.1002/ps.6762
- Miorini TJ, Raetano CG and Everhart SE. 2017. Control of White mold of dry bean and residual activity of fungicides applied by chemigation. *Crop Protection* 94: 192–202. DOI 10.1016/j.cropro.2016.12.023
- Neves DL and Bradley CA. 2021. Baseline sensitivity of *Cercospora soja* and *Corynespora cassiicola* to pydiflumetofen. *Crop Protection* 147: 105461. DOI 10.1016/j.cropro.2020.105461
- Noel ZA, Wang J and Chilvers MI. 2018. Significant influence of EC₅₀ estimation by model choice and EC₅₀ type. *Plant Disease* 102(4): 708–714. DOI 10.1094/PDIS-06-17-0873-SR
- Olaya G, Linley R and Edlebeck K. 2021. Pydiflumetofen Sensitivity of *Fusarium virguliforme* Isolates Causing Sudden Death on Soybeans. *In: Plant Health Meeting, Virtual meeting, October 2021, Phytopathology Vol. 111, No. 10, pp. 159–159. Amer Phytopathological Soc.*
- Otto-Hanson L, Steadman JR, Higgins R and Eskridge KM. 2011. Variation in *Sclerotinia sclerotiorum* bean isolates from multisite resistance screening locations. *Plant Disease* 95(11): 1370–1377. DOI 10.1094/PDIS-11-10-0865
- Ritz C, Baty F, Streibig JC and Gerhard D. 2015. Dose-response analysis using R. *PloS one* 10(12): e0146021. DOI <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>
- R Development Core Team. 2024. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Sun Y, Kun W, Bingyun Y, Junpeng Y, Bing L, *et al.* 2024. Anti-fungal activity of a novel succinate dehydrogenase inhibitor pydiflumetofen against *Bipolaris maydis*. *Crop Protection* 178: 106570. DOI 10.1016/j.cropro.2023.106570

- USDA-NASS. 2022. Crop Production Annual Summary. United State Department of Agriculture–National Agricultural Statistics Service. <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/k3569432s>
- Vieira RF, Pinto CM and Paula Júnior TJD. 2003. Chemigation with benomyl and fluazinam and their fungicidal effects in soil for White mold control on dry beans. *Fitopatologia Brasileira* 28: 245–250. DOI 10.1590/S0100-41582003000300004
- Xu J, Jia W, Hu C, Nie M, Ming J, *et al.* 2020. Selenium as a potential fungicide could protect oilseed rape leaves from *Sclerotinia sclerotiorum* infection. *Environmental Pollution* 257: 113495. DOI 10.1016/j.envpol.2019.113495
- Xia S, Xu Y, Hoy R, Zhang J, Qin L, *et al.* 2019. The notorious soilborne pathogenic fungus *Sclerotinia sclerotiorum*: An update on genes studied with mutant analysis. *Pathogens* 9(1): 27. DOI 10.3390/pathogens9010027