Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia

Eficacia de *Purpureocillium lilacinum* y *Pochonia chlamydosporia* en el manejo del nemátodo *Radopholus similis* en el cultivo de banano

Natalia E. Molina Quesada[1*], Gabriel Solano Maroto[2], Johenny Solano Maroto[3], Lizzy Retana Villalobos[4], Gilberto Masís Solano[5]

[1]Gerente de RDI y Regulatorio de BioVENKO. [2]Supervisor de Finca Experimental PhytoLab. [3]Directora de PhytoLab. [4]CEO de Biotech CR GRM. [5]COO de BioVENKO

***Autor de correspondencia:**
Natalia E. Molina Quesada
nmolina@biovenko.com

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 diciembre, 2025
Publicado:
30 abril, 2026

Cita:
Molina Quesada NE, Solano Maroto G, Solano Maroto J, Retana Villalobos L, Masís Solano G. 2026. Eficacia de *Purpureocillium lilacinum* y *Pochonia chlamydosporia* en el manejo del nemátodo *Radopholus similis* en el cultivo de banano. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 3(1): 119 https://doi.org/10.62498/ARTC.26119

RESUMEN

Los nematodos fitoparásitos constituyen la segunda problemática más importante en banano y plátano, después de la Sigatoka negra y amarilla. Este estudio determinó la dosis efectiva de un nematicida microbiológico para el control de *Radopholus similis* en banano (*Musa* AAA cv. Grand Naine). El ensayo se realizó en Limón, Costa Rica, con un diseño de bloques completos al azar y cinco tratamientos: testigo absoluto, testigo inoculado y tres dosis (1, 2 y 3 kg ha^{-1}), con cinco réplicas cada uno. Se hicieron cuatro evaluaciones entre 60 y 150 días tras la siembra, midiendo peso de raíz, daño radicular y nematodos. Todas las dosis fueron efectivas, recomendándose 2–3 kg ha^{-1}.

Palabras clave: Nematicida microbiológico, Dosis efectiva, Manejo sostenible, Control biológico

ABSTRACT

Phytoparasitic nematodes represent the second most important problem in banana and plantain cultivation, after Black and Yellow sigatoka. This study determined the effective dose of a microbiological nematicide for the control of *Radopholus similis* in banana (*Musa* AAA cv. Grand Naine). The trial was conducted in Limón, Costa Rica, using a randomized complete block design with five treatments: absolute control, inoculated control, and three doses (1, 2, and 3 kg ha^{-1}), each with five replicates. Four evaluations were performed between 60 and 150 days after planting, measuring root weight, root damage, and nematode population. All doses were effective, with 2–3 kg ha^{-1} recommended.

Keywords: Microbiological nematicide, Effective dose, Sustainable Management, Biological control

Copyright: © 2026 por los autores. Licencia Acorbat Internacional. Este artículo es de acceso libre y distribuido bajo los términos de Acorbat Internacional

INTRODUCCIÓN

El banano es uno de los principales cultivos comerciales a nivel mundial y la fruta de mayor relevancia económica y social en América Latina. En países como Costa Rica, por ejemplo, representa una fuente estratégica de divisas y empleo. Sin embargo, su producción enfrenta desafíos fitosanitarios de gran complejidad: una amplia diversidad de patógenos —hongos, bacterias, virus y plagas— que constituye una amenaza multifacética, con más de 180 enfermedades registradas, al menos diez de ellas responsables de pérdidas significativas en rendimiento y calidad (Zeng *et al*., 2024).

Dentro de estas problemáticas, los nematodos fitoparásitos constituyen la segunda problemática fitosanitaria más importante en banano y plátano, después de la Sigatoka Negra y Amarilla. Estas plagas ocasionan pérdidas significativas en la producción mundial al dañar raíces y cormos, interfiriendo con la absorción de nutrientes y debilitando el anclaje de las plantas. En particular, el nematodo *R. similis*, endoparásito migratorio del sistema radical, es considerado la principal especie fitoparásita del cultivo por su frecuencia y densidad poblacional. Su impacto ha promovido el uso intensivo de nematicidas en las plantaciones bananeras, lo que incrementa la exposición del suelo y de los ecosistemas circundantes a estos compuestos (Guzmán Piedrahita, 2011; Vu *et al*., 2006).

El manejo químico, sin embargo, presenta desventajas considerables debido a su toxicidad ambiental y a las crecientes restricciones regulatorias, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles (Rincy *et al*., 2025). En este contexto, los bionematicidas han cobrado especial relevancia como sustitutos viables de los controles químicos convencionales, al basarse en bacterias y hongos capaces de parasitar, atrapar o inhibir a los nematodos. Entre ellos destacan los hongos nematófagos, que han demostrado eficacia contra diferentes fases del ciclo de vida de estos organismos —como huevos y juveniles— mediante parasitismo, depredación o la producción de metabolitos tóxicos, constituyendo así una herramienta natural y sostenible para reducir el daño en los cultivos y mitigar el impacto ambiental (Sharma *et al.,* 2025).

En esta línea, diversos organismos del suelo han sido identificados como antagonistas de nematodos fitoparásitos, aunque solo una fracción de ellos ha alcanzado desarrollo comercial. Entre estos destaca *Purpureocillium lilacinum*, un hongo de vida libre capaz de parasitar huevos, juveniles y hembras de nematodos, lo que contribuye a disminuir sus poblaciones en el suelo. Cepas seleccionadas de este

microorganismo han sido formuladas y empleadas como bionematicidas en diferentes países (Kepenekci *et al*., 2018).

De manera análoga, *P. chlamydosporia* var. *chlamydosporia* es un hongo endófito versátil que combina propiedades de biocontrol frente a nematodos fitoparásitos con la capacidad de estimular el crecimiento vegetal. Reconocido principalmente por su parasitismo de huevos de nematodos, este organismo también actúa como endófito benéfico al favorecer la absorción de nutrientes, inducir resistencia sistémica y aumentar la resiliencia de las plantas bajo condiciones de estrés biótico (Rincy *et al*., 2025).

Bajo el contexto anterior, se planteó la necesidad de evaluar alternativas sostenibles para el manejo de *R. similis* en banano, con el propósito de reducir la dependencia de nematicidas químicos y avanzar hacia prácticas agrícolas más responsables. En este marco, el presente estudio tuvo como objetivo general determinar la dosis efectiva de un nematicida microbiológico formulado a base de *P. lilacinum* y *P. chlamydosporia*, para el control de *R. similis* en el cultivo de banano (*Musa* AAA cv. Grand Naine), aportando evidencia científica que respalde su incorporación en programas de manejo integrado del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones del ensayo

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Biotech, Río Jiménez de Guácimo, Limón, Costa Rica (9°57.314'N, 83°59.684'O; 36 msnm), en zona de vida bosque húmedo tropical, transición a perhúmedo. La finca recibió manejo comercial uniforme en todos los tratamientos, que incluyó fertilización, deshierba y control de Sigatoka Negra.

Material biológico

Se emplearon plantas de banano (*Musa* AAA, cv. Grand Naine), obtenidas mediante cultivo de tejidos y previamente aclimatadas en vivero, debido a la susceptibilidad de esta variedad al nematodo *R. similis* (Vargas *et al*., 2015). Las plantas se establecieron en macetas con capacidad de 12 000 mL-1, lo que permitió la inoculación directa del sustrato y el mantenimiento de condiciones semicontroladas en un vivero acondicionado, asegurando mayor eficiencia en la infección y en la evaluación de los tratamientos.

El producto en prueba fue un nematicida microbiológico formulado a base de *P. lilacinum* cepa P-16A (8×10^9 UFC g^{-1}) y *P. chlamydosporia* cepa P-21A (2×10^9 UFC

g^{-1}). Ambas cepas corresponden a microorganismos nativos del suelo costarricense, reconocidos como agentes de biocontrol frente a nematodos fitoparásitos.

Diseño experimental

El ensayo de eficacia biológica se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, con dos factores: tratamiento (cinco niveles) y fecha de evaluación (cuatro niveles). Cada tratamiento incluyó cinco réplicas de tres plantas (15 por evaluación), totalizando 60 plantas por tratamiento y 300 en todo el ensayo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo de eficacia biológica del nematicida microbiológico para el manejo de nematodos en el cultivo de banano.

	Tratamiento	Dosis (kg p.c ha^{-1})*	Dosis (UFC o i.a ha^{-1})**
1	Testigo absoluto	.	.
2	Testigo inoculado	.	.
3	Nematicida microbiológico (*P. lilacinum* + *P. chlamydosporia*)	1,00	$1x10^{13}$
4		2,00	$2x10^{13}$
5		3,00	$3x10^{13}$

*p.c: producto comercial formulado
**i.a.: ingrediente activo

Aplicación de tratamientos

Para asegurar la infección por *R. similis,* a los 22 días después de la siembra (dds) se realizó una inoculación mediante un licuado de raíces infectadas. La concentración del inóculo se estandarizó en 50 nematodos mL-1 y se aplicó de forma uniforme en todas las plantas (10 mL planta-1), verificando su efectividad antes de la aplicación de los tratamientos.

Posteriormente, a los 60 dds, se aplicó una sola dosis del nematicida microbiológico mediante drench dirigido a la raíz y rizosfera. La aplicación se efectuó entre los estadios 65 y 78 de la escala fenológica BBCH (Enz y Dachler, 2001), utilizando un volumen equivalente a 160 L ha^{-1}, lo que correspondió a 100 mL de mezcla por planta considerando una densidad de 1600 plantas ha^{-1}.

Variables evaluadas

Se realizaron evaluaciones destructivas, en donde se determinó el peso total de raíz, el porcentaje de raíz dañada y el número de nematodos en raíz; para este último, se agruparon tres plantas por réplica en una sola muestra representativa, con

identificación taxonómica y recuento. Las evaluaciones se efectuaron a los 90, 120 y 150 dds, con el fin de analizar el efecto residual del producto durante tres meses.

Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante ANOVA, bajo un modelo lineal mixto. Se verificaron los supuestos del análisis con gráficos diagnósticos y en caso de incumplimiento se seleccionó el modelo en función de los criterios AIC y BIC. Cuando se detectaron diferencias significativas, las comparaciones de medias se realizaron con la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC) ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso total en raíz

El nematodo *R. similis* ocasiona pérdidas severas de raíces activas en banano al penetrar y destruir tejidos radicales, lo que reduce la absorción de agua y nutrientes y compromete el anclaje de la planta (Ochieno, 2022). En este contexto, el peso total de raíz constituye un indicador indirecto del nivel de daño provocado por el nematodo y, por tanto, de la eficacia del control aplicado.

En el presente estudio, el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos, fechas de evaluación y su interacción (Cuadro 2). El tratamiento con la dosis más alta del nematicida microbiológico (3 kg ha^{-1}) presentó el mayor peso promedio de raíz, con un incremento del 21,5 % respecto al testigo inoculado, lo que confirma una reducción sustancial del efecto de *R. similis*. Aunque la dosis baja (1 kg ha^{-1}) y media (2 kg ha^{-1}) no difirieron estadísticamente del testigo inoculado, sí mostraron valores superiores en 9,8 % y 6,7 %, respectivamente, evidenciando una tendencia positiva en la protección del sistema radical (Figura 1).

Cuadro 2. Valores de p para los factores del peso total de raíz (α=0,05).

Factor	p-valor
Tratamiento	0,0220
Evaluación	<0,0001
Interacción	<0,0001

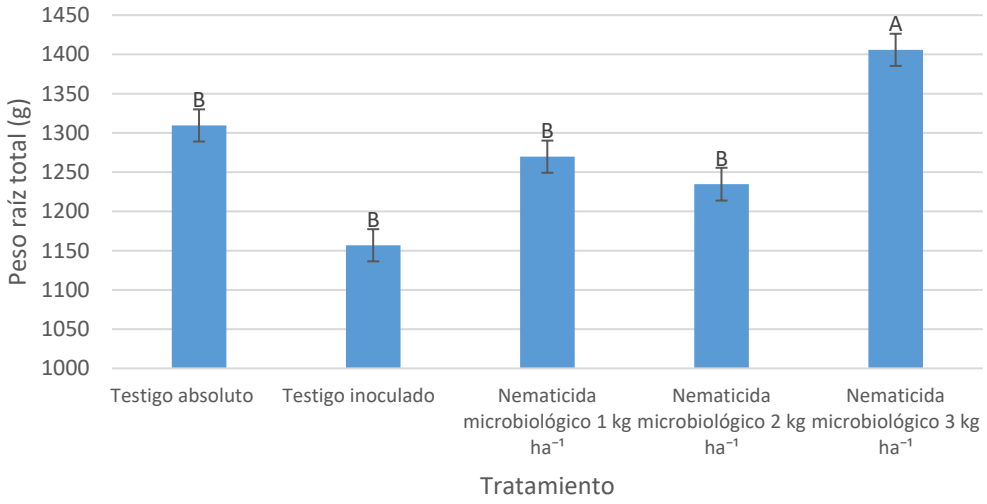


Figura 1. Promedio del peso (g) total de la raíz de banano. Nota: barras con una letra en común son estadísticamente similares. Letras distintas indican diferencia significativa (DGC, $p \leq 0,05$).

Estos hallazgos coinciden con Ahmad *et al.* (2024), quienes destacan que, en condiciones de estrés biótico, el mantenimiento de un sistema radical activo es fundamental para asegurar una absorción eficiente de nutrientes y sostener la productividad del cultivo. El incremento en el peso total de raíz observado en los tratamientos con el nematicida microbiológico confirma este principio, posicionando al producto como una herramienta eficaz dentro de los programas de manejo sostenible de nematodos en banano.

Porcentaje de raíz dañada

El daño en las raíces es uno de los principales indicadores de la severidad de infestación por *R. similis,* ya que este nematodo provoca necrosis y pérdida de tejido radical, lo que repercute directamente en la absorción de agua y nutrientes, así como en la estabilidad de la planta (Ochieno, 2022). Por ello, evaluar el porcentaje de raíz dañada permite medir con precisión la efectividad de un nematicida al reducir los efectos directos del patógeno sobre el sistema radical.

El porcentaje de raíz dañada mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, fechas de evaluación y su interacción (Cuadro 3). El testigo inoculado evidenció un incremento progresivo en el daño radicular, alcanzando hasta un 17,2 % en la última evaluación, lo que confirmó la efectividad de la inoculación con *R. similis*. En contraste, los tratamientos con el nematicida microbiológico redujeron el daño de

manera consistente: las dosis de 2 y 3 kg ha^{-1} mostraron diferencias significativas frente al testigo inoculado, con valores por debajo del 5 % de raíces afectadas en promedio. La dosis de 1 kg ha^{-1}, aunque presentó menores daños que el testigo, no difirió estadísticamente de este.

Cuadro 3. Valores de p para los factores del porcentaje de raíz dañada (α=0,05)

Factor	p-valor
Tratamiento	0,0012
Evaluación	0,0005
Interacción	0,0009

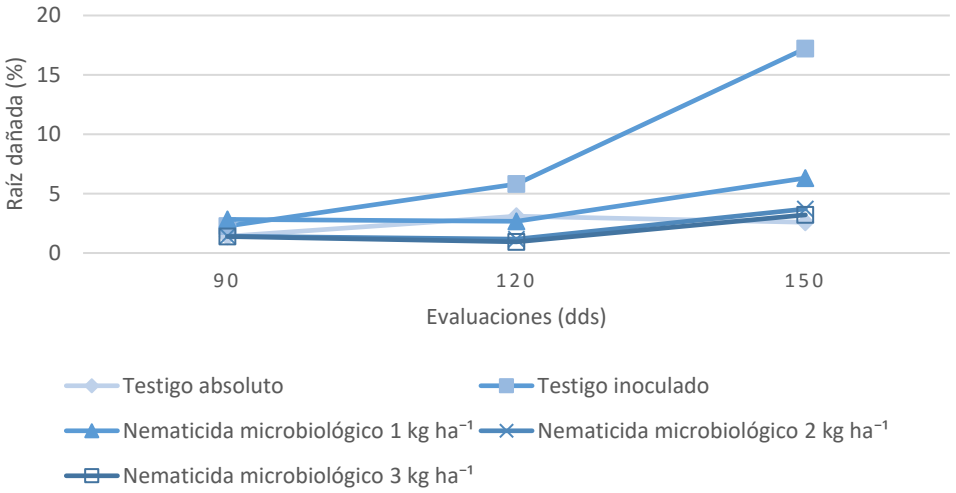


Figura 2. Comportamiento del porcentaje de raíz dañada durante el ensayo.

Los resultados confirman que la aplicación del nematicida microbiológico redujo significativamente el daño ocasionado por *R. similis*, especialmente en las dosis de 2 y 3 kg ha^{-1}, que mostraron un efecto protector claro frente al testigo inoculado. Esta respuesta coincide con lo señalado por Ahmad *et al*. (2024), quienes resaltan que mantener la integridad del sistema radical es clave para garantizar la funcionalidad del cultivo bajo condiciones de estrés. En este sentido, la reducción en el porcentaje de raíz dañada refuerza la utilidad del nematicida como una alternativa sostenible para el control de nematodos en banano.

Nematodos totales

El monitoreo de las poblaciones de *R. similis* en raíces constituye un indicador directo de la presión del nematodo sobre el cultivo y de la eficacia del manejo aplicado.

Este patógeno es uno de los más dañinos en banano a nivel mundial, ya que interfiere en la absorción de nutrientes y genera pérdidas significativas en rendimiento y calidad del fruto (Ochieno, 2022).

En este estudio, la evaluación de las poblaciones de *R. similis* mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, fechas de evaluación y la interacción de ambos factores (Cuadro 4). Tal como se aprecia en la Figura 3, el testigo inoculado presentó los conteos más altos de nematodos en todas las evaluaciones, diferenciándose claramente del resto a partir de los 90 días después de siembra. Estos resultados confirman que la inoculación con el patógeno fue efectiva y que el nematicida microbiológico ejerció un efecto de control.

Cuadro 4. Valores de p para los factores de la cantidad total de nematodos en las raíces de banano.

Factor	p-valor
Tratamiento	0,0016
Evaluación	<0,0001
Interacción	0,0280

Entre los tratamientos con el nematicida microbiológico, las dosis de 2 y 3 kg ha^{-1} redujeron significativamente las poblaciones de *R. similis*, evidenciando un control progresivo y estable a lo largo del ensayo. La dosis de 1 kg ha^{-1} mostró un comportamiento intermedio, sin diferir estadísticamente del testigo inoculado en todas las evaluaciones. Este patrón explica los valores de significancia observados en el Cuadro 4, donde tanto el tratamiento como la interacción con el tiempo influyeron de manera importante en los conteos de nematodos. Cabe señalar que el testigo absoluto, aunque no fue inoculado, presentó niveles naturales de *R. similis* propios del suelo de la finca. En este sentido, las dosis más altas del nematicida microbiológico lograron reducir las poblaciones del patógeno hasta valores cercanos a esos niveles basales, indicando una disminución efectiva de la presión del inóculo en las plantas tratadas.

En conjunto, estos resultados evidencian que la aplicación del nematicida microbiológico redujo de manera consistente las poblaciones de *R. similis* en el sistema radical del banano, confirmando su potencial para limitar la proliferación del nematodo y consolidándose como una herramienta eficaz dentro de los programas de manejo sostenible del cultivo.

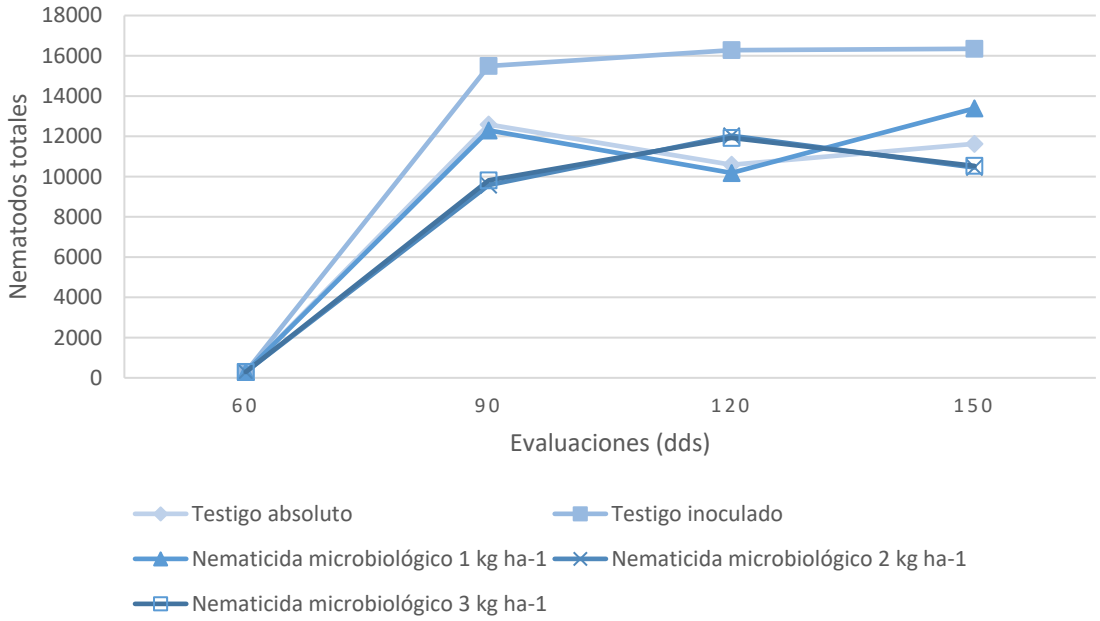


Figura 3. Comportamiento de la cantidad total de nematodos en las raíces de las plantas de banano durante el ensayo.

CONCLUSIONES

El nematicida microbiológico demostró eficacia en el control de *R. similis* en banano (*Musa* AAA cv. Grand Naine), al reducir significativamente el daño radicular y las poblaciones del nematodo en comparación con el testigo inoculado. Estos resultados confirman su potencial como herramienta de manejo sostenible frente a esta plaga de alta importancia económica.

Las dosis de 2 y 3 kg ha^{-1} fueron las más efectivas, ya que contribuyeron a mantener un sistema radical más sano y con mayor biomasa, condición esencial para la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés. De esta forma, el producto se posiciona como una alternativa viable a los nematicidas químicos, favoreciendo la sostenibilidad en la producción bananera.

Se recomienda dar continuidad a la investigación mediante la evaluación del impacto de los tratamientos sobre variables de rendimiento, considerando que los biocontroladores aplicados mostraron un efecto bioestimulante reflejado en el incremento de la biomasa radicular total.

REFERENCIAS

Ahmad B, Jamil A, Shahwar D, Siddique A and Syed U. 2024. Plant biochemistry and yield in response to biostimulants—ScienceDirect. En Biostimulants in Plant Protection and Performance (pp. 205-219). Elsevier. https://sciencedirect.proxyucr.elogim.com/science/article/pii/B9780443158841000051

Brühl CA, Arias Andres M, Echeverría-Sánez S, Bundschuh M, Knäbel A, Mena F, Petschick LL, Ruepert C, and Stehle S. 2023. Pesticide use in banana plantations in Costa Rica – A review of environmental and human exposure, effects and potential risks. Environment International, 174, 107877. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107877

Guzmán Piedrahita ÓA. 2011. El nematodo barrenador (*Radopholus similis* [Cobb] Thorne) del banano y plátano. 33. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742011000200012

Kepenekci I, Hazir S, Oksal E and Lewis E. 2018. Application methods of *Steinernema feltiae, Xenorhabdus bovienii* and *Purpureocillium lilacinum* to control root-knot nematodes in greenhouse tomato systems. Crop Protection 108, 31-38. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.02.009

Ochieno DMW. 2022. Comparative effects of nitrogen, phosphorus and potassium on *Radopholus similis* infection in East African highland banana plants as influenced by rhizosphere biota. Scientific African 17, e01320. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01320

Rincy M, Fayad MA, Charles S, Praveena R and Eapen S. 2025. The fungal endophyte *Pochonia chlamydosporia* boosts growth and defence in black pepper (*Piper nigrum* L.): Insights from transcriptomics and functional studies. Rhizosphere, 35, 101139. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2025.101139

Sharma M, Devi S and Chand S. 2025. Biocontrol strategies for sustainable management of root-knot nematodes. Physiological and Molecular Plant Pathology 136, 102548. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2024.102548

Vu T, Hauschild R and Sikora RA. 2006. *Fusarium oxysporum* endophytes induced systemic resistance against *Radopholus similis* on banana. 8(6), 847-852. https://doi.org/10.1163/156854106779799259

Zeng H, Wu Y, Xu L, Dong J and Huang. 2024. Banana defense response against pathogens: Breeding disease-resistant cultivars. Horticultural Plant Journal. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2024.08.004