



Microorganismos benéficos antagónicos de *Curvularia petersonii* causante de lesiones foliares en caña de azúcar

Beneficial microorganisms antagonistic to *Curvularia petersonii*, which causes foliar lesions in sugar cane

^{ID}Carlos Enrique Sánchez Sandoval¹, ^{ID}Génesis del Rocío Bucaram Lara²,

^{ID}Boris Lenin Romero Sandoval^{1*}, ^{ID}José Humberto Vera Rodríguez², ^{ID}Gloria Beatriz Cabrera Suarez²

¹Universidad Católica de Cuenca. Campus La Troncal - 1era Sur y 15va Este - Ciudadela Universitaria La Troncal - Cañar, Ecuador, 030301.

²Universidad Agraria del Ecuador UAE. Vía Puerto Marítimo - Avenida 25 de Julio y Pío Jaramillo (Campus principal) Guayaquil, Guayas, Ecuador, 091307.

RESUMEN: La necrosis foliar en caña de azúcar provocada por hongos fitopatógenos es un problema grave, como alternativa de biocontrol existen los microorganismos benéficos que podrían ofrecer una solución sostenible. Este estudio evalúa el potencial de microorganismos benéficos como biocontroladores efectivos. El objetivo del estudio consistió en evaluar el efecto antagónico de microorganismos benéficos frente a *Curvularia petersonii* hongo fitopatógeno responsable de necrosis foliares en cultivo de caña azucarera. Se replicó una cepa secuenciada con el 99,60 % de identidad para *C. petersonii* (Nº Accesoión NR_158448.1) para evaluar el porcentaje de inhibición (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*) con 5 réplicas y sus respectivos controles durante 16 días de evaluación utilizando la técnica del modelamiento matemático del crecimiento exponencial, con la finalidad de modelar el desarrollo de *C. petersonii* en condiciones *in vitro* y en presencia de microorganismos antagonistas bajo la ecuación diferencial logística del modelo Lotka-Volterra para enfrentamiento por cultivo dual. Los resultados sostienen que los microorganismos benéficos utilizados tuvieron un efecto antagónico inhibitorio sobre el hongo fitopatógeno *C. petersonii*, concluyendo que estos microorganismos poseen bondades como biocontroladores frente a *C. petersonii*.

Palabras clave: Antagonismo, hongos fitopatógenos, necrosis foliar.

ABSTRACT: Foliar necrosis in sugarcane caused by phytopathogenic fungi is a serious problem; as a biocontrol alternative, beneficial microorganisms could offer a sustainable solution. The objective of this study was to evaluate the antagonistic effect of beneficial microorganisms against *Curvularia petersonii*, a phytopathogenic fungus responsible for foliar necrosis in sugar cane cultivation. A sequenced strain with 99.60% identity for *C. petersonii* (Accession No. NR_158448.1) to evaluate the percentage of inhibition (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis*, and *Pseudomonas fluorescens*) with 5 replicates and their respective controls over 16 days of evaluation. The mathematical modeling technique of exponential growth was used to model the development of *C. petersonii* under *in vitro* conditions and in the presence of antagonistic microorganisms using the Lotka-Volterra for dual crop confrontation. The results support that the beneficial microorganisms used had an antagonistic inhibitory effect on the phytopathogenic fungus *C. petersonii*, concluding that these microorganisms have advantages as biocontrol agents against *C. petersonii*.

Key words: Antagonism, phytopathogenic fungi, foliar necrosis.

*Autor para correspondencia: boris.romero@ucacue.edu.ec

Recibido: 04/09/2025

Aceptado: 03/12/2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de autores. Conceptualización: Carlos Enrique Sánchez, Boris Lenin Romero Sandoval. **Investigación:** Carlos Enrique Sánchez, Génesis del Rocío Bucaram. **Supervisión:** Carlos Enrique Sánchez, Boris Lenin Romero Sandoval. **Borrador inicial:** Boris Lenin Romero Sandoval. **Escritura final, edición y curación de datos:** José Humberto Vera Rodríguez.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

El cultivo de la caña de azúcar es considerado de vital importancia a nivel mundial ya que aporta economía en diferentes países, tanto así para el desarrollo de la producción agrícola de Ecuador, a través de la generación de empleo e ingresos para el sector agropecuario (1). La caña de azúcar está expuesta a múltiples factores que afectan su producción y entre ellos la presencia de numerosos patógenos que generan enfermedades impactando también sobre la calidad del producto final (2).

En el cultivo de caña de azúcar se ha detectado diferentes afectaciones durante su ciclo fenológico de la etapa vegetativa y dentro de las principales enfermedades estas pueden ser provocadas por diversos agentes causales como (hongos, bacterias, virus, nematodos, entre otros) que afectan negativamente el rendimiento del cultivo (3). De las enfermedades fúngicas se encuentran identificados como agentes causales los del género *Aspergillus*, *Fusarium*, y *Curvularia* (4). El género *Curvularia* fue identificado por *C. lunata*, pertenece a la familia *Pleosporaceae* del orden *Pleosporales* (5).

Esta especie de hongo pueden afectar diferentes tipos de pastos y cultivos de interés como, maíz, arroz, trigo o sorgo, provocando pérdidas significativas en la producción (6). *Curvularia petersonii* es un hongo que puede generar necrosis foliares en diferentes tipos de gramíneas, de ahí la importancia de desarrollar estrategias de control efectivas (7). La aparición de estas especies fitopatógenas son una amenaza para los productores del cultivo de caña azucarera, lo que conlleva a efectuar investigaciones para el control y prevención de estas enfermedades de una manera eficaz y amigable con el ambiente (8).

Para el control de enfermedades fúngicas, desde hace años se ha llevado un sistema de control a base de fungicidas químicos como tiofanato metílico, carbendazim, mancozeb, cobre y azufre, cuyas propiedades poseen efectos tóxicos con efectos adversos considerables sobre el ecosistema (9). Su persistencia y acumulación en el ambiente puede afectar la cadena trófica, provocando un alto riesgo para la salud humana y fauna silvestre (10). Es imprescindible buscar nuevas alternativas para el control de fitopatógenos (11). Como control biológico, el uso de microorganismos antagonistas frente a hongos fitopatógenos es una técnica común donde diversas especies como (*Trichoderma*, *Pseudomonas* y *Bacillus*) pueden ser una alternativa viable (12, 13).

Estas especies de microorganismos han sido ampliamente estudiados en diferentes tipos de cultivos (14), para el control de enfermedades (15), así como también para la mitigación del impacto ambiental (16), estas cepas tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetal y mejorar la condición estructural del suelo (10). Bajo este contexto, el presente estudio consistió en evaluar la capacidad antagónica de diferentes especies de microorganismos benéficos frente al hongo *Curvularia petersonii* bajo condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y muestras del Ensayo

El estudio se efectuó en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. Con respecto al hongo patógeno se tomó una muestra para ser replicada de una cepa secuenciada con el 99,60 % de identidad para *Curvularia petersonii* (Nº Acceso NR_158448.1) aislada a partir de tejido necrótico foliar de caña de azúcar variedad ECU-08, mientras que para evaluar el enfrentamiento en cultivo dual se adquirieron cepas puras de (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum*, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*) del Laboratorio de Microbiología Agrícola Microbiolab RUC 1713152047001 de la ciudad y Quito, Ecuador.

Manejo del Ensayo

Para el experimento se planteó evaluar el antagonismo mediante enfrentamiento en cultivo dual entre 4 microorganismos benéficos (*T. asperellum*, *T. harzianum*, *P. fluorescens* y *B. subtilis*) y una cepa patógena (*C. petersonii*) con 5 réplicas y sus respectivos controles en medio de cultivo PDA (Agar Dextrosa Patata) 39 g L⁻¹, sumando un total de 45 unidades experimentales.

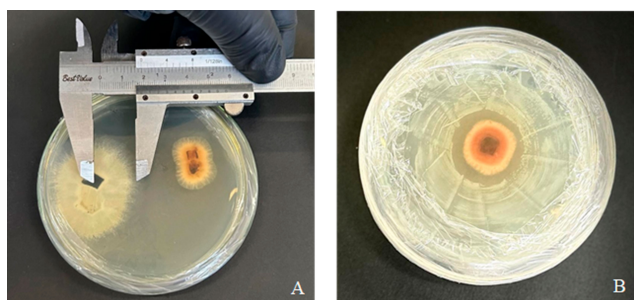
Para el ensayo de interacción antagónica dual de los hongos *T. asperellum* y *T. harzianum* frente al hongo *C. petersonii*, se efectuó el trasplante de porciones de 5 mm de las cepas de reserva y se depositaron en extremos opuestos de la placa, manteniendo una distancia de 20 mm del borde. Posteriormente, las placas fueron selladas con parafilm. La inoculación de las bacterias *P. fluorescens* y *B. subtilis* se llevó a cabo disolviendo un fragmento de cada cepa en agua peptonada dentro de un tubo de ensayo de vidrio. A continuación, con una micropipeta ajustada a 10 µL, se vertió la suspensión en la placa y se extendió por toda la superficie del agar con una espátula de Drigalski. Finalmente, los controles se sembraron en el punto central de la placa. Las cepas se incubaron a 32 °C.

Registro de Datos

El registro de datos se basó en evaluaciones diarias por un período de 16 días, empleando un calibrador mecánico Vernier para los hongos (Figura 1 A), mientras que las bacterias fueron evaluadas en función de sus unidades formadoras de colonias (UFC), en este apartado, se determinó la eficacia de supresión y la propagación superficial de los microorganismos en el agar (Figura 1 B).

Diseño Experimental

Para representar el desarrollo de *C. petersonii* en entornos controlados y junto a sus antagonistas, se recurre a la ecuación diferencial logística. Dicha ecuación describe la dinámica de cambio poblacional en función del tiempo bajo condiciones dadas. Los cálculos para la simulación de las interacciones tienen su fundamento en el modelo de Lotka-Volterra para interacciones competitivas.



A (Evaluación de la inhibición entre cepas fúngicas); B (Evaluación de la inhibición entre cepas fúngicas & bacterianas)

Figura 1. Evaluación de la inhibición de *C. petersonii* frente a microorganismos benéficos

RESULTADOS

Efecto de *C. petersonii* sobre *T. asperellum*

La Figura 2 representa la curva de crecimiento de dos hongos, *C. petersonii* (línea azul) y *T. asperellum* (línea roja), creciendo juntos en un ensayo de confrontación dual.

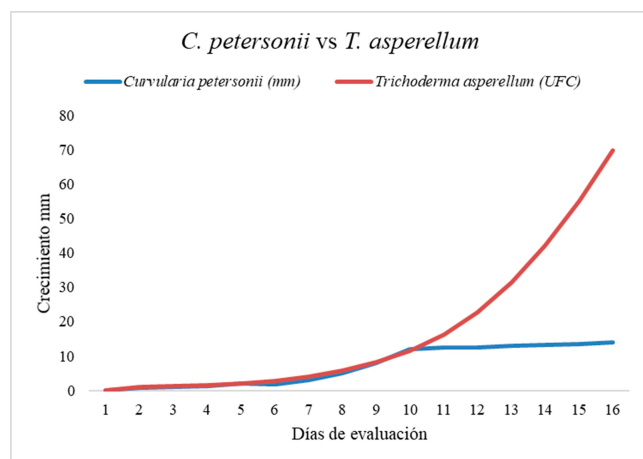


Figura 2. Promedio de las placas con interacción antagonista entre *C. petersonii* y *T. asperellum*

T. asperellum muestra un crecimiento exponencial y dominante, alcanzando casi 70 mm al final de la medición. Su curva asciende de forma muy pronunciada. *C. petersonii* experimenta una inhibición severa de su crecimiento. Su curva se aplana drásticamente y se mantiene alrededor de los 15 mm a partir de los 10 días de medición, indicando que su crecimiento se ha detenido o es insignificante.

Efecto de *C. petersonii* sobre *T. harzianum*

La Figura 3 muestra la curva de crecimiento de *C. petersonii* (línea azul) en confrontación con *T. harzianum* (línea roja).

Ambos hongos muestran un crecimiento casi idéntico. Las curvas se superponen o están muy cercanas hasta aproximadamente los 10 mm. Esto indica que inicialmente crecen a un ritmo similar o que la interacción antagonista aún no es evidente. A partir de los 10 mm, las curvas comienzan a tener un crecimiento exponencial separándose aproximadamente a los 25 mm.

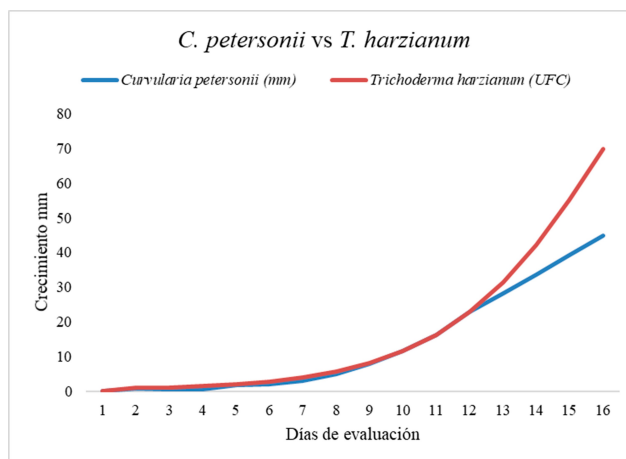


Figura 3. Promedio de las placas con interacción antagonista de *C. petersonii* y *T. harzianum*

T. harzianum toma la delantera y muestra un crecimiento más rápido y acelerado, alcanzando casi 70 mm al final de la medición. *C. petersonii* también sigue creciendo, pero a un ritmo significativamente menor que *Trichoderma*. Su curva es más lineal y menos pronunciada, alcanzando alrededor de 45 mm a los 16 días de evaluación.

Efecto de *C. petersonii* sobre *P. fluorescens*

La Figura 4 representa la interacción entre el hongo *C. petersonii* (línea azul) y la bacteria *P. fluorescens*, en un ensayo de confrontación en placa. La gráfica interpreta la curva del crecimiento/actividad relativa del antagonista.

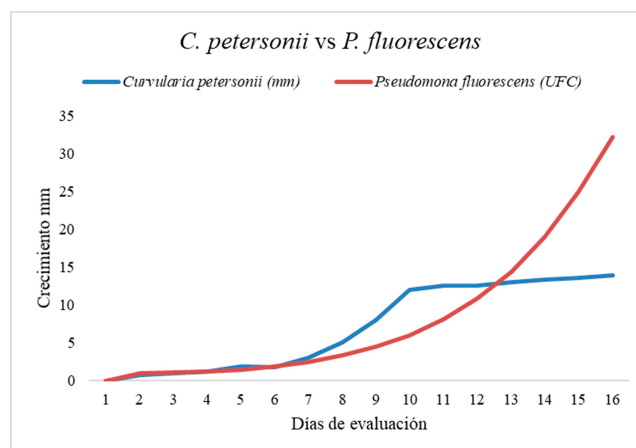


Figura 4. Promedio de las placas con interacción antagonista de *C. petersonii* y *P. fluorescens*

Inicialmente ambos organismos muestran un crecimiento o actividad bajo y similar, las curvas se tocan o cruzan varias veces. *C. petersonii* experimenta un crecimiento inicial más rápido y fuerte que su antagonista, saltando de 2 mm a 13 mm. Alrededor de los 10 días, el crecimiento de *C. petersonii* se detiene bruscamente y se estabiliza alrededor de 14 mm. Este estancamiento súbito es una fuerte evidencia de una acción inhibitoria por parte de la bacteria, *P. fluorescens* comienza una fase de crecimiento exponencial y dominante, ascendiendo rápidamente hasta el final de la medición.

Efecto de *C. petersonii* sobre *B. subtilis*

La Figura 5 representa la interacción entre el hongo *C. petersonii* (línea azul) y la bacteria *B. subtilis* (línea roja).

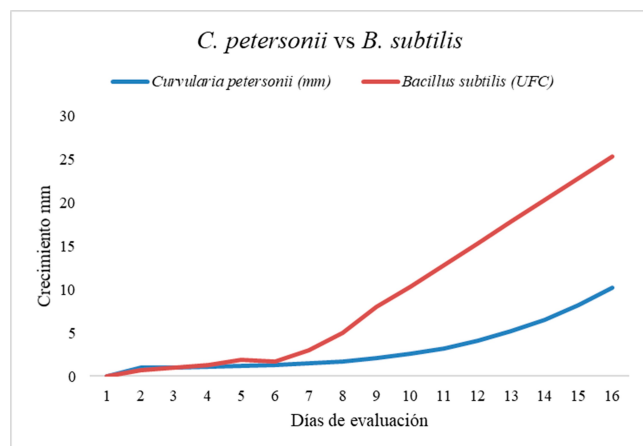


Figura 5. Promedio de las placas con interacción antagonica de *C. petersonii* y *B. subtilis*

Ambos organismos muestran inicialmente una actividad baja, las curvas se mantienen muy juntas hasta el día 6. A partir del séptimo día *B. subtilis* toma ventaja y exhibe un crecimiento exponencial muy acelerado. *C. petersonii* continúa creciendo, pero a un ritmo muy lento y dominado, alcanzando solo 10 mm al final de la medición al día 16.

DISCUSIÓN

La figura demuestra que *T. asperellum* domina y suprime significativamente el crecimiento de *C. petersonii* en las condiciones de este experimento. Las especies de *Trichoderma* son agentes de control biológico conocidos por su micoparasitismo, que involucra la producción de enzimas como quitinasas que degradan la pared celular fúngica (17, 18). El rápido crecimiento y la colonización del sustrato confieren una ventaja competitiva a *T. asperellum* sobre patógenos de crecimiento lento.

T. harzianum es un antagonista efectivo frente a *C. petersonii*, dominando el crecimiento y superándolo. La variación en la cepa y la especie de *Trichoderma* puede resultar en diferentes niveles de antagonismo, variando desde la competencia pura hasta el micoparasitismo completo (19). Esta dinámica sugiere que la competencia por nutrientes y espacio es el mecanismo primario, posiblemente complementado por un antagonismo parcial o menos potente por metabolitos secundarios como lo indica la científica.

P. fluorescens demuestra ser un antagonista muy eficaz contra *C. petersonii*. El patrón de inhibición del hongo es similar al observado con *T. asperellum*, donde el crecimiento de *C. petersonii* se empezó a aplanar alrededor de los 13 mm. *P. fluorescens* es una rizobacteria promotora del crecimiento vegetal que actúa como biocontrolador mediante la producción de metabolitos secundarios con actividad antifúngica, como la pirrolnitrina y las fenazinas (20).

El cese súbito del crecimiento de *C. petersonii* es una fuerte evidencia de la acción de metabolitos antibacterianos o antifúngicos de la bacteria. La competencia por nutrientes también podría contribuir, pero la inhibición categórica apunta a la acción de antibiosis.

B. subtilis es un antagonista eficaz contra *C. petersonii* bajo las condiciones de este experimento, limitando severamente el crecimiento del hongo fitopatógeno. *B. subtilis* es un agente de control biológico importante debido a su capacidad para secretar lipopéptidos cíclicos (iturinas y fengicinas) que actúan directamente sobre las membranas fúngicas (21). El dominio de *B. subtilis* es probablemente mediado por la producción de antibióticos.

CONCLUSIONES

Todos los microorganismos benéficos utilizados en el estudio poseen un efecto antagonista sobre *C. petersonii*. El hongo *T. asperellum* presentó mayor capacidad inhibidora, con una reducción significativa de la tasa de desarrollo del patógeno en contraste con el control. El *T. harzianum* también redujo el crecimiento de *C. petersonii* comparado con el control, pero a una menor magnitud.

Las bacterias *P. fluorescens* y *B. subtilis* también mostraron capacidades inhibidoras frente al patógeno. El análisis comparativo de las velocidades de crecimiento en ausencia y presencia de antagonistas sugiere que estos microorganismos tienen potencial para ser empleados como agentes de control biológico exitosos frente a *C. petersonii*.

BIBLIOGRAFÍA

- Vera J, Lazo R, Barzallo D, Gavin C. Caracterización química y degradabilidad in situ de residuos orgánicos como alternativa alimenticia para bovinos. Ecuadorian Sci J. 2021;5(4):1-14. Available from: https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num1_art:3306274
- Kong C-Y, Wickramasinghe KP, Xu C-H, Mao J, Liu H-B, Kumar T, et al. Recent advances in sugarcane leaf scald disease: Pathogenic insights and sustainable management approaches. Plants [Internet]. 2025;14(4):508. Available from: <https://doi.org/10.3390/plants14040508>
- Jernisha J, Poorniammal R, Sivakumar U, Harish S, Sethuraman K. Plant growth promoting microorganisms and emerging biotechnological approaches for sugarcane disease management. J Pure Appl Microbiol [Internet]. 2024;18(4). Available from: <https://doi.org/10.22207/JPAM.18.4.27>
- Ahmad S, Wang M, Zhang H, Deng Y, Liang Q, He B, et al. Synergistic application of biochar and lime modulates rhizosphere microbiome, suppresses pathogens, and enhances disease resistance in sugarcane. BMC Microbiology [Internet]. 2025;25(1):622. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12866-025-04355-z>
- Guo Z-J, Amenogbe MK, Chen S-Q, Rashad YM, Deng J-X, Luo H. Morphological and phylogenetic analyses reveal two novel species of Curvularia (Pleosporales, Pleosporaceae) from southern China. MycoKeys [Internet]. 2025;120:139. Available from: <https://doi.org/10.3897/mycokeys.120.156570>

6. Srivastava AK, Khan M, Li X, Misra P, Ashish, Kumar A, *et al.* Exploring the impact of *Curvularia* pathogens on medicinal and aromatic plants: insights into history, pathogenicity, and host-pathogen interactions. *World J Microbiol Biotechnol* [Internet]. 2025;41(7):252. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11274-025-04421-8>
7. Singh V, Lakshman DK, Roberts DP, Ismaiel A, Abhishek A, Kumar S, *et al.* Fungal species causing maize leaf blight in different agro-ecologies in India. *Pathogens* [Internet]. 2021;10(12):1621. Available from: <https://doi.org/10.3390/pathogens10121621>
8. Yusifova A, Asadova B, Aslanova S. Evaluation of phytopathogenic fungi according to the degree of danger. *Adv Stud Biol* [Internet]. 2025;17(1):27-36. Available from: <https://doi.org/10.12988/asb.2025.91987>
9. Tongsri V, Apithanasakulngeon P, Songkumarn P, Suttiviriya P, Chanchula N. Fungicide resistance of chrysanthemum fungal pathogens and control of leaf spot disease in pot conditions using effective fungicides. *Int J Agric Technol* [Internet]. 2025;21(4):1577-96. Available from: <https://doi.org/10.63369/ijat.2025.21.4.1577-1596>
10. Rodríguez JHV, Sarango Y, Aveiga M del RV, Mata JDO, Sevilla-Carrasco JD, Cuesta JMD, *et al.* Effect of herbicides on the growth of beneficial microorganisms in rhizospheric soil. *Rev La Fac Agron La Univ Del Zulia* [Internet]. 2025;42(2). Available from: [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v42.n2.VI](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v42.n2.VI)
11. Karamchandani BM, Chakraborty S, Dalvi SG, Satpute SK. Chitosan and its derivatives: Promising biomaterial in averting fungal diseases of sugarcane and other crops. *J Basic Microbiol* [Internet]. 2022;62(5):533-54. Available from: <https://doi.org/10.1002/jobm.202100613>
12. Rodríguez JHV, Mercedes MMM, Fernanda AFA, Enrique BEB, Liliana RLR. Microorganismos benéficos, bioestimuladores de la germinación y emergencia de semillas de maíz (*Zea mays* L.). *Multidiscip Collab J* [Internet]. 2025;3(3):58-69. Available from: <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n3/70>
13. Carpio M, Vera J, Yugsan F, Gavin C, Barzallo D. Biofertilizer enriched with *Paenibacillus polymyxa* and *Trichoderma* sp. for radish cultivation. *Revista Caatinga* [Internet]. 2025;38:e13759-e13759. Available from: <https://doi.org/10.1590/1983-21252025v3813759rc>
14. Vera Rodríguez JH, Barzallo D, Villamar Aveiga M del R, Barcia-Anchundia JX. Biostimulant effect of microorganisms on *in vitro* germination of hybrid pepper seeds. *Rev Cienc y Tecnol Agropecu.* 2024;25(1).
15. Ren Q, Khan A, Zhang J, Bao Y, Khan MT, Wang J, *et al.* Fungal community dynamics associated with the outbreaks of sugarcane root rot disease. *Microbiol Spectr* [Internet]. 2024;12(2):e03090-23. Available from: <https://doi.org/10.1128/spectrum.03090-23>
16. Jeres-Caguana GA, Montañó-Roldan VL, Ordoñez-Zuñiga NL, Vera-Rodríguez JH, Lucas-Vidal LR. Efecto biorremediador de la espirulina y *Trichoderma* spp. en suelo contaminado con plomo (Pb). *Multidiscip Collab Journal* [Internet]. 2025;3(2):1-12. Available from: <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/48>
17. Cortés-Hernández F del C, Alvarado-Castillo G, Sánchez-Viveros G. *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colomb Biotechnol* [Internet]. 2023;25(2):73-87. Available from: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
18. Peralta JT, Guerra EG, Pruna DC, Erazo VS. Evaluación *in vitro* del antagonismo de cepas de *Trichoderma* contra hongos fitopatógenos foliares del cultivo de banano (*Musa* spp.). *Agroindustrial Sci* [Internet]. 2025;15(2):143-53. Available from: <http://doi.org/10.17268/agroind.sci.2025.02.06>
19. Martínez-Canto OJ, Cristóbal-Alejo J, Tun-Suárez JM, Reyes-Ramírez A. Detección de genes Epl1 y Sm1 en *Trichoderma* spp. antagonistas contra hongos fitopatógenos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* [Internet]. 2021;8(2). Available from: <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2791>
20. Álvarez-García J-A, Santoyo G, del Carmen Rocha-Granados M. *Pseudomonas fluorescens*: Mecanismos y aplicaciones en la agricultura sustentable. *Revista Latinoamericana Recursos Naturales* [Internet]. 2020;16(1):1-10. Available from: <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/286>
21. de los M Orberá T, de Jesús Serrat M, Ortega E. Potential applications of *Bacillus subtilis* strain SR/B-16 for the control of phytopathogenic fungi in economically relevant crops. *Biotechnol Apl* [Internet]. 2014;31(1):7-12. Available from: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=48662>