

## Caracterización de Cepas Nativas de *Beauveria bassiana* Aisladas de Suelos y su Potencial para el Control Biológico de *Cosmopolites sordidus* en Ecuador Characterization of Native *Beauveria bassiana* Strains Isolated from Soils and Their Potential for the Biological Control of *Cosmopolites sordidus* in Ecuador

Mayra Carolina Vélez-Ruiz<sup>1\*</sup> , Ariel Alberto Perez-Zambrano<sup>1,2</sup> ,  
Jairo David Gaibor-Duarte<sup>1</sup> , Ángel Virgilio Cedeño-Moreira<sup>1</sup>  y  
Fernando Abasolo-Pacheco<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito km 1.5, Vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. 120501 Quevedo, Los Ríos, Ecuador; (M.C.V.R.), (A.A.P.Z.), (J.D.G.D), (A.V.C.M.), (F.A.P.).

\* Autora para correspondencia: mvelez@uteq.edu.ec

<sup>2</sup> Rey banano del Pacífico (Reybanpac). Vía a Valencia km 2.5, Sector San Carlos. 120150 Quevedo, Los Ríos, Ecuador; (A.A.P.Z.).

### RESUMEN

El hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* es ampliamente reconocido por su eficacia en el control biológico de *Cosmopolites sordidus* (picudo negro del banano); sin embargo, se desconoce sobre el potencial entomopatógeno que existen entre cepas nativas del Ecuador. Esta falta de información limita la selección de aislamientos con mayor virulencia, adaptación local o capacidad de persistencia en campo. El objetivo de este estudio fue caracterizar molecular, microscópica y macroscópicamente cuatro cepas nativas de *B. bassiana* aisladas de la rizosfera del banano y evaluar su efectividad en el control de *C. sordidus* bajo condiciones controladas. Los aislados codificados como LM012, MCB17, MCA1424 y BBAL31 fueron identificados como *B. bassiana* y exhibiendo una alta similitud con secuencias de cepas de referencia conocidas. Los aislados de *B. bassiana* presentaron diferencias en la morfología colonial principalmente en el patrón de crecimiento, color, textura y elevación, estas variaciones morfológicas reflejan la diversidad fenotípica entre los aislados. La exposición de suspensiones de cuatro cepas de *B. bassiana* en concentración de  $1 \times 10^9$  conidios  $\text{mL}^{-1}$  causaron el 100% de la mortalidad de adultos de *C. sordidus*, con el insecticida imidacloprid se alcanzó el 50% de mortalidad. Los valores de  $TL_{50}$  fueron de 12, 15, 13 y 11 días para las cepas LM012, MCB17, MCA1424 y BBAL31, respectivamente, mientras que con imidacloprid fue de 59 días. Adicionalmente, no se observaron diferencias en el porcentaje de colonización de *B. bassiana* en el cuerpo de adultos de *C. sordidus* ( $p > 0.001$ ). Los resultados obtenidos aportan evidencia relevante sobre la eficacia y versatilidad de *B. bassiana* como herramienta biotecnológica para el control de plagas, contribuyendo al fortalecimiento del enfoque ecológico en la protección vegetal y al diseño de estrategias de manejo integrado más sostenibles y seguras para el ambiente.

**Palabras clave:** banano, biotecnología, entomopatógeno, picudo, rizosfera.

### SUMMARY

The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* is widely recognized for its efficacy in the biological control of *Cosmopolites sordidus* (banana weevil). However, limited information is available regarding the entomopathogenic potential of native Ecuadorian strains. This knowledge gap restricts the selection of isolates with greater virulence, local adaptation, or field persistence. The objective of this study was to characterize four native strains of *B. bassiana* isolated from the banana rhizosphere at



check for  
updates

#### Cita recomendada:

Vélez-Ruiz, M. C., Perez-Zambrano, A., Gaibor-Duarte, J. D., Cedeño-Moreira, A. V., & Abasolo-Pacheco, F. (2026). Caracterización de Cepas Nativas de *Beauveria bassiana* Aisladas de Suelos y su Potencial para el Control Biológico de *Cosmopolites sordidus* en Ecuador. *Terra Latinoamericana*, 44, 1-11. e2446. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2446>

Recibido: 6 de noviembre de 2025.  
Aceptado: 5 de diciembre de 2025.  
Artículo. Volumen 44.  
Abril de 2026.

Editor de Sección:  
Dr. Fernando Abasolo Pacheco



**Copyright:** © 2026 by the authors.  
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

the molecular, microscopic, and macroscopic levels, and to evaluate their effectiveness in controlling *C. sordidus* under controlled laboratory conditions. The isolates, coded as LM012, MCB17, MCA1424, and BBAL31, were identified as *B. bassiana*, exhibiting high sequence similarity with known reference strains. The isolates displayed differences in colonial morphology, mainly in growth pattern, color, texture, and elevation, reflecting phenotypic diversity among strains. biotechnological tool for pest control. Exposure of *C. sordidus* adults to suspensions of the four *B. bassiana* isolates at a concentration of  $1 \times 10^9$  conidia  $\text{mL}^{-1}$  resulted in 100% mortality, while imidacloprid insecticide reached 50% mortality. The  $\text{LT}_{50}$  values were 12, 15, 13, and 11 days for LM012, MCB17, MCA1424, and BBAL31, respectively, whereas for imidacloprid it was 59 days. Additionally, no significant differences were observed in the percentage of *B. bassiana* colonization on the body of *C. sordidus* adults ( $p > 0.001$ ). The results obtained provide relevant evidence on the efficacy and versatility of *B. bassiana* as a contributing to the strengthening of ecological approaches in crop protection and the development of more sustainable and environmentally safe integrated pest management strategies.

**Index words:** banana, biotechnology, entomopathogens, weevil, rhizosphere.

## INTRODUCCIÓN

El picudo negro del banano *Cosmopolites sordidus* Germar, 1824 (Coleoptera: Dryophthoridae) es una de las plagas más destructivas en los sistemas de producción de banano y plátano (*Musa* spp.) en regiones tropicales y subtropicales (Bakaze, Dzomeku y Wünsche, 2021). Este insecto ocasiona daños severos al alimentarse del cormo y pseudotallo, interrumpiendo el transporte de agua y nutrientes, lo que se traduce en debilitamiento de las plantas, reducción del rendimiento y caída de los racimos. Además, los daños favorecen la entrada de patógenos secundarios y disminuyen la longevidad del cultivo (Gold, Ragama, Coe y Rukazambuga, 2005; Pauli, Lopes, Alves, Damatto Junior y Mascarin, 2011).

Debido a que tanto adultos como larvas permanecen protegidos dentro del tejido vegetal o en el suelo, su control mediante insecticidas sintéticos resulta complejo e ineficiente, aunque, se han utilizado ampliamente para su control (Negrete-González *et al.*, 2018; Tresson, Tixier, Puech y Carval, 2021). El manejo químico tradicional, basado en el uso de insecticidas de amplio espectro como organofosforados, carbamatos y neonicotinoides, genera problemas de contaminación ambiental, resistencia en las poblaciones de insectos y afectación de la salud humana y de organismos benéficos (Boucher *et al.*, 2013; Vidaurre, Rodríguez y Uribe, 2020; Mishra *et al.*, 2021; Tresson *et al.*, 2021; Mamy *et al.*, 2025).

Diversas estrategias de manejo se han desarrollado para controlar eficazmente esta plaga, combinando métodos culturales, físicos y biológicos, dentro de programas de manejo integrado. Entre las prácticas culturales más efectivas se encuentra la cobertura del suelo en la base del pseudotallo y la remoción de residuos de cosecha hacia los entresurcos, lo que puede reducir en un 14% el daño en el cilindro central del cormo (De Graaf, Govender, Schoeman y Viljoen, 2008). El uso de trampas de feromonas, particularmente aquellas que emplean el atrayente comercial Cosmolure+, resulta eficaz para la captura masiva de adultos, reduciendo el daño en el cormo entre un 61 y 64%, e incrementando el peso de los racimos hasta en un 23% (Alpizar, Fallas, Oehlschlager y Gonzalez, 2012).

En cuanto al control biológico, los hongos entomopatógenos representan una de las alternativas más prometedoras, son un grupo de microorganismos que infectan y matan insectos y otros artrópodos mediante la penetración de la cutícula, lo que los convierte en valiosos agentes de biocontrol en el manejo de plagas y se enmarcan dentro de la búsqueda de alternativas de bajo impacto ambiental para el control biológico en agricultura (Mantzoukas, Kitsiou, Natsiopoulou y Eliopoulou, 2022; Tandon, Rana, Kapoor y Katoch, 2024; Celis-Perera *et al.*, 2026). Entre los entomopatógenos más estudiados destaca *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuillemin, un hongo cosmopolita con amplio rango de hospederos y reconocido potencial como agente de control biológico, está presente de forma natural en el suelo y puede aislarse de diversos ecosistemas (Srivani y Jalaja, 2022; Halim *et al.*, 2024). Estudios han demostrado que puede encontrarse en muestras de suelo de diferentes ubicaciones geográficas, lo que indica su amplia distribución (Sayed, Ali, El-Arnaouty, Mahmoud y Amer, 2018; Chaithra *et al.*, 2022).

La infección de los insectos por parte de los hongos entomopatógenos, como *B. bassiana*, se inicia con la penetración de la cutícula del hospedador, un proceso que combina mecanismos físicos y bioquímicos. En el aspecto físico, el hongo ejerce presión mecánica mediante la extensión de sus hifas, las cuales atraviesan la cutícula del insecto hasta alcanzar la hemolinfa (Figuerola, Ferreira, Mamani y de Freitas Soares, 2024). Paralelamente, ocurre un mecanismo bioquímico basado en la secreción de enzimas degradadoras de la cutícula, que descomponen los componentes estructurales de la epicutícula y la exocutícula, facilitando la penetración y colonización del hospedador por el micelio fúngico (Cito *et al.*, 2016; Augustyniuk-Kram, 2018). Adicionalmente, puede establecerse como endófito en diversas especies de plantas, proporcionando múltiples beneficios, como el aumento del crecimiento vegetal, una mayor resistencia a plagas y patógenos, y una mejor absorción de nutrientes (Saragih, Trizelia, Nurbailis y Yusniwati, 2019; Rocha *et al.*, 2023).

Numerosas aplicaciones prometedoras para el control sostenible y eficaz de poblaciones del picudo negro del banano *C. sordidus* han sido desarrolladas mediante el uso de *B. bassiana*, destacándose dentro de las alternativas biológicas. Estudios desarrollados en ambientes controlados y de campo han confirmado de forma consistente que *B. bassiana* presenta una alta capacidad patogénica contra *C. sordidus*, ocasionando niveles significativos de mortalidad en los individuos infectados (Negrete-González *et al.*, 2018; Kisaakye *et al.*, 2021; Pérez, Paredes, Jump y Gil, 2021; Valdes-Rivera *et al.*, 2025). Por otra parte, las investigaciones de campo evidencian que *B. bassiana* puede reducir significativamente las poblaciones del picudo negro del plátano y el daño a las plantas cuando se utiliza como endófito en tejidos de banano. En esta forma, el hongo coloniza los tejidos vegetales sin afectar el crecimiento de la planta, constituyendo una estrategia sostenible de control biológico (Akello, Dubois, Coyne y Kyamanywa, 2008; Akello, Dubois, Coyne y Hillnhutter, 2009).

La eficacia de *B. bassiana* depende en gran medida de la selección de cepas con alta virulencia y adecuada adaptación a las condiciones ecológicas locales. Se ha documentado una considerable variabilidad morfológica, fisiológica y genética entre cepas, lo que puede influir en su capacidad de infección, esporulación y tolerancia ambiental (Lopes *et al.*, 2011; Mitina, Tokarev, Movila y Yli-Mattila, 2011; Yao, Zhang, Chen y Li, 2012; Sanjaya, Ocampo y Caoili, 2014; Zhang *et al.*, 2021). Por ello, la caracterización de cepas nativas constituye un paso esencial para identificar aislados con mayor potencial entomopatógeno y mejor adaptación a las condiciones de campo (Meyling y Eilenberg, 2007). En este contexto, la rizosfera del banano representa un reservorio natural de cepas nativas de *B. bassiana* que podrían mostrar una afinidad ecológica superior con *C. sordidus*, dada su coexistencia en el mismo hábitat (Akello *et al.*, 2008). Sin embargo, a pesar del amplio reconocimiento de *B. bassiana* como un agente eficaz en el control de *C. sordidus*, existe escasa información sobre la variabilidad entre sus cepas y cómo estas diferencias afectan su desempeño biocontrolador.

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar molecular, microscópica y macroscópicamente cuatro cepas nativas de *B. bassiana* aisladas de la rizosfera del banano y evaluar su eficacia en el control biológico de *C. sordidus* en condiciones de laboratorio. Los resultados obtenidos aportan información relevante para la selección de cepas con alto potencial entomopatógeno que puedan ser incorporadas en estrategias sostenibles de manejo integrado del picudo negro del banano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Aislamiento de *B. bassiana*

Las muestras de suelo empleadas para el aislamiento de *B. bassiana* se obtuvieron de la rizosfera de cultivos de las Musáceas; orito, banano, plátano perteneciente a fincas de agricultores ecuatorianos de las provincias de Cotopaxi (La Maná), Los Ríos (Quevedo, Babahoyo) y El Oro (Machala). El muestreo se efectuó en tres puntos dispuestos diagonalmente dentro de parcelas de 4 × 4 m. En cada punto se recolectó 1 kg de suelo a una profundidad de 10 cm. Las muestras fueron depositadas en bolsas plásticas debidamente identificadas con el lugar de procedencia, la fecha y la ubicación de recolección.

El aislamiento de *B. bassiana* se realizó utilizando el método de cebo con insectos propuesto por Hapsöh, Salbiah y Dini (2020), para ello, se pesaron 400 g de suelo previamente recolectado y se colocaron en recipientes individuales. Se emplearon larvas de *Tenebrio molitor* y adultos de *C. sordidus* como cebos y se realizaron observaciones diarias de los insectos para detectar posibles signos de infección por cepas nativas de *B. bassiana*.

Para favorecer la esporulación del hongo sobre la superficie del insecto infectado, los especímenes se colocaron en una cámara húmeda a una temperatura de 26 °C durante un periodo de siete días. Posteriormente, el micelio del hongo fue recolectado con una aguja entomológica estéril y sembradas en medio Papa Dextrosa Agar (PDA; TM MEDIA, TM 344, Bhiwadi, Rajasthan, India) con cloranfenicol al 0.1% p/v (Laboratorios Portugal S.R.L., Ecuador).

Las placas se incubaron a 26 °C durante diez días en oscuridad, hasta que se evidenció el crecimiento del hongo. Los aislados obtenidos fueron registrados en el Banco de Germoplasma de Microorganismos de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ, Quevedo, Los Ríos, Ecuador) bajo los códigos LM012, MCB17, MCA1424, BBAL31.

### Caracterización de *B. bassiana*

La caracterización morfológica de las cepas de *B. bassiana* incluyó el análisis de rasgos microscópicos (morfolología de los conidios) y rasgos culturales macroscópicos observados en las colonias. Los parámetros evaluados fueron: (a) patrón de crecimiento, definido como la distribución y expansión del micelio sobre el agar; (b) color, determinado por el tono visible de la colonia influenciado por el micelio y la conidiogénesis; (c) forma, correspondiente a la geometría del borde de la colonia; (d) textura, asociada con la apariencia superficial del micelio y los conidios; y (e) elevación, definida como el relieve vertical de la colonia respecto al medio. Para la caracterización molecular, los aislados de *B. bassiana* (LM012, MCB17, MCA1424, BBAL31) fueron reactivadas en PDA a  $25 \pm 1$  °C por 7 días; la biomasa para ADN se obtuvo en Sabouraud Dextrose Broth (SDB) a 150 rpm por 72 h. El ADN genómico se extrajo por CTAB modificado y se verificó la integridad de las bandas de ADN en gel de agarosa al 1 % y por espectrofotometría para cuantificar su concentración en nanogramos (ng). La región ITS-5.8S fue amplificada por PCR con los primers universales: ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') y ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'). La PCR se preparó con un volumen final de 25  $\mu$ L compuesto por: 12.5  $\mu$ L Master Mix Taq 2 $\times$  (Thermo Scientific™), 1.0  $\mu$ L ITS1 (10  $\mu$ M), 1.0  $\mu$ L ITS4 (10  $\mu$ M), 2.0  $\mu$ L ADN (20-50 ng  $\mu$ L<sup>-1</sup>) y agua grado molecular hasta completar el volumen final. Programa en termociclador: 95 °C/5 min; 35 ciclos de 95 °C/30 s, 55 °C/30 s y 72 °C/60 s; extensión final 72 °C/7 min. Los amplicones (~600 bp) se visualizaron en gel de agarosa al 1.5% utilizando un marcador molecular de 100 bp (Rehner y Buckley, 2005). Los productos purificados fueron secuenciados mediante el método de Sanger con lectura bidireccional (Macrogen Inc., Corea); y las secuencias resultantes fueron editadas y ensambladas utilizando Geneious Prime v.2024.0 (Biomatters Ltd.). Finalmente, las secuencias depuradas se compararon con la base de datos GenBank mediante BLASTn (NCBI) empleando los parámetros por defecto: algoritmo megablast, umbral de expectativa (e-value)  $\leq 1e-5$ , cobertura mínima  $\geq 95\%$  e identidad nucleotídica  $\geq 97\%$  para la sugerencia taxonómica. Este análisis fue utilizado únicamente como herramienta preliminar basada en similitud de secuencias.

### Material Biológico

Los insectos utilizados en los experimentos de laboratorio fueron recolectados mediante trampas de pseudotallo en cultivos de plátano de las variedades Dominico y Barraganete, y posteriormente identificados morfológicamente siguiendo los criterios diagnósticos descritos por Sepúlveda-Cano y Rubio-Gómez (2009). Grupos conformados por quince especímenes de *C. sordidus* se mantuvieron en cuarentena a  $26 \pm 1$  °C, con una humedad relativa del  $80 \pm 10\%$  y un fotoperiodo de 12:12 h (luz:oscuridad) durante 40 días, dentro de recipientes plásticos de 500 mL. Los adultos fueron alimentados con pedazos de cormo (25g) y pseudotallo de plátano (25g) variedad Dominico previamente desinfectados con hipoclorito de sodio (0.5%) por un periodo de 60 segundos. Se realizaron tres enjuagues con agua destilada y se dejó escurrir para reducir el exceso de humedad. Se realizó recambio de alimento cada dos días hasta cumplir con el periodo de cuarentena.

### Aplicación de Aislados de *B. bassiana*

Se evaluaron cuatro aislados de *B. bassiana* (LM012, MCB17, MCA1424 y BBAL31) previamente caracterizados. Se prepararon suspensiones con una concentración de  $1 \times 10^9$  conidios mL<sup>-1</sup> en una solución de Tween 80® al 0.1% v/v (Scharlau, Barcelona) para cada aislado. Los insectos adultos fueron sumergidos durante un minuto en la suspensión correspondiente, asegurando un contacto uniforme con los conidios. Después de la inoculación, los insectos se transfirieron a recipientes plásticos (9  $\times$  12  $\times$  11 cm) que contenían fragmentos de cormo y pseudotallo de plátano, los cuales sirvieron como alimento y refugio durante el período experimental. El control negativo consistió en la inmersión de los insectos en agua destilada durante un minuto, mientras que el control positivo se estableció mediante la exposición al insecticida Imidacloprid (ingrediente activo 350 g L<sup>-1</sup>; suspensión concentrada, dosis 2 mL L<sup>-1</sup>; Importadora Industrial Agrícola Del Monte S.A., km 5.5 vía Durán-Babahoyo, Guayas, Ecuador) por el mismo periodo de tiempo. Tras los tratamientos, los insectos fueron retirados cuidadosamente y

colocados en recipientes limpios bajo condiciones ambientales controladas de  $25 \pm 1$  °C,  $95 \pm 5\%$  de humedad relativa y un fotoperiodo de 12:12 h (luz:oscuridad). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con quince repeticiones (insectos sin sexar) por cada tratamiento evaluado. Todos los tratamientos se mantuvieron bajo las mismas condiciones experimentales para garantizar la uniformidad entre las repeticiones. La mortalidad de los adultos de *C. sordidus* se registró diariamente con el fin de evaluar la virulencia de cada aislado fúngico en comparación con los controles.

### Ensayo de Supervivencia

Se realizaron bioensayos de tiempo-mortalidad para evaluar la actividad patogénica de los aislados de *B. bassiana* sobre adultos sin sexar de *C. sordidus*, previamente sometidos a un proceso de cuarentena. Los insectos fueron expuestos a cada tratamiento según el procedimiento descrito anteriormente. La mortalidad se registró a las 1, 6, 12 y 24 horas después de la exposición y, posteriormente, cada 24 horas durante un periodo de 60 días. Los individuos que murieron durante el periodo de observación fueron transferidos a cajas Petri que contenían tela de gasa humedecida, las cuales se sellaron con parafilm para mantener la humedad interna. Cada caja Petri se colocó en una incubadora a 25 °C, y se revisó diariamente para verificar el crecimiento del hongo *B. bassiana* y confirmar la causa de la mortalidad. Se emplearon quince repeticiones por tratamiento.

### Colonización de *B. bassiana* en el Cuerpo *C. sordidus*

La colonización de *B. bassiana* en el cuerpo de los adultos de *C. sordidus* se evaluó cinco días después de la aparición del micelio sobre los insectos previamente infectados. Para documentar el crecimiento fúngico, se obtuvieron imágenes de alta resolución del micelio de *B. bassiana* sobre el cuerpo de *C. sordidus* utilizando un smartphone Xiaomi Redmi Note 12 Pro (Xiaomi Inc., Pekín, China) acoplada al ocular de un estereomicroscopio Olympus SZX10 (Evident Scientific, Japón). Las fotografías se capturaron en formato TIFF, con una resolución de  $3000 \times 3000$  píxeles. Las imágenes obtenidas fueron analizadas con el software ImageJ (Rasband, 2018) para determinar el porcentaje de colonización micelial en el cuerpo de *C. sordidus*. El análisis se realizó en diez repeticiones por cada cepa de *B. bassiana*, considerando la posición ventral del insecto, donde el crecimiento fúngico fue más evidente. Para cada muestra, se delimitaron manualmente el área total del cuerpo y el área cubierta por micelio mediante las herramientas de segmentación del programa. Los resultados se expresaron como porcentaje de área colonizada, comparando la proporción entre superficie sana y superficie infectada.

### Análisis de Datos

Los datos obtenidos de los bioensayos de tiempo-mortalidad fueron analizados mediante el análisis de supervivencia utilizando los estimadores de Kaplan-Meier para generar las curvas de supervivencia y estimar el tiempo letal medio ( $TL_{50}$ ). La comparación global entre las curvas de supervivencia se realizó mediante la prueba de Log-Rank ( $\chi^2$ ), y las comparaciones pareadas entre tratamientos se efectuaron aplicando la corrección de Bonferroni. La variable de colonización del hongo los porcentajes de área corporal cubierta por micelio fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los análisis se realizaron con los programas SigmaPlot (Systat Software Inc., 2017) y RStudio (R Core Team, versión 4.5.0) (Posit team, 2025). Previamente a los análisis, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de las varianzas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis molecular basado en la secuenciación del gen 5.8S del ADN ribosomal sugiere que todas las cepas pertenecieron a la especie *Beauveria bassiana*. Se obtuvo una cobertura de consulta del 100%, una identidad del 100% al comparar las secuencias con las registradas en la base de datos GenBank. Para la cepa LM012, se observó una identidad del 100% al alinearse con *B. bassiana* cepa NBAIR-BbEP (número de acceso MN733077.1). De igual manera, la cepa MCB17 presentó una identidad del 100% con *B. bassiana* cepa FJAT-9624 (número de acceso JQ320365.1), mientras que la cepa MCA1424 mostró una identidad del 100% con *B. bassiana* cepa EF\_55 (número de acceso MT528704.1). La cepa BBAL31 también evidenció una identidad del 100% con *B. bassiana* cepa SBI-Bb01 (número de acceso MT584878.1).

El análisis de la región ITS-5.8S sugirió que todas las cepas corresponden a *B. bassiana*, de acuerdo con las coincidencias obtenidas mediante BLASTn contra secuencias depositadas en GenBank. No se detectaron diferencias entre las secuencias ITS de los aislados, lo que refleja una alta coincidencia en este marcador conservado. Sin embargo, el ITS carece de resolución para inferir diversidad intraespecífica en *B. bassiana* (Potenza *et al.*, 2009) por lo que la identificación taxonómica robusta requiere genes con mayor variabilidad (p. ej.: EF1- $\alpha$ , Bloc) o análisis multilocus (Rehner y Buckley, 2005; Potenza *et al.*, 2009; Rehner *et al.*, 2011).

En otros estudios que han empleado marcadores moleculares más polimórficos, como microsátelites o regiones génicas como EF1- $\alpha$ , han revelado una amplia diversidad genética entre cepas de *B. bassiana* provenientes de distintas regiones geográficas y hospedadores (He *et al.*, 2012; Trissi *et al.*, 2013). Por lo tanto, son necesarios estudios complementarios utilizando marcadores con mayor poder de resolución genética para determinar si existen variaciones intraespecíficas significativas entre los aislados analizados.

A nivel microscópico, los aislados de *B. bassiana* presentaron conidios unicelulares, esféricos o ligeramente ovalados en todos los casos, una característica morfológica típica de la especie. Los aislados mostraron variaciones en su morfología macroscópica en medio PDA, particularmente en el patrón de crecimiento, color, textura y elevación de las colonias (Cuadro 1).

En general, las colonias mostraron tonalidades blancas o beige, con texturas polvorizadas, rugosas o algodonosas, y con elevación predominantemente. Estas variaciones morfológicas reflejan la diversidad fenotípica entre los aislados procedentes de distintas regiones y cultivos hospedantes tal como ha sido documentado por Safavi (2010) y Sanjaya *et al.* (2014).

Los resultados obtenidos a partir de la caracterización molecular y morfológica de los aislados de *B. bassiana* confirman la presencia de este hongo entomopatógeno en suelos agrícolas asociados a cultivos de musáceas en Ecuador, evidenciando su adaptación a diferentes condiciones edáficas y climáticas (Wilson *et al.*, 2017). Este hallazgo respalda la importancia de los suelos agrícolas como reservorios naturales de hongos entomopatógenos, tal como lo señalan Abdel-Raheem, (2019); Hapsoh *et al.* (2020); Kary, Alizadeh y Dunph (2022), quienes demostraron que *B. bassiana* se encuentra de forma natural en el suelo y puede aislarse de varios tipos de suelos, incluidos aquellos provenientes de campos agrícolas.

Diversos estudios han demostrado que *B. bassiana* puede causar altas tasas de mortalidad en *C. sordidus*, por ejemplo, los aislados de *B. bassiana* ICIPE 273, ICIPE 648 y ICIPE 660 probocaron más del 80% de mortalidad en adultos del picudo negro del banano bajo condiciones de laboratorio (Kisaakye *et al.*, 2021); mientras que Fancelli *et al.* (2013), demostraron que entre 32 aislados de *B. bassiana* pueden causar tasas de mortalidad entre el 14 y 96% en adultos de *C. sordidus* al utilizar suspensiones de  $1 \times 10^8$  conidios mL<sup>-1</sup>.

El uso de cepas nativas de *B. bassiana* resultó altamente efectivo, logrando 100% de mortalidad en *C. sordidus* a una concentración de  $1 \times 10^9$  conidios mL<sup>-1</sup>. Estas cepas locales presentan ventajas frente a aislados comerciales, ya que están adaptadas a las condiciones ambientales y al hospedero del ecosistema donde serán aplicadas, lo que mejora su persistencia y virulencia en campo. Además, la utilización de aislamientos autóctonos reduce riesgos ecológicos asociados a la introducción de microorganismos externos y favorece estrategias de control biológico más sostenibles a largo plazo (Islam, Chowdhury, Mim, Momtaz y Islam, 2023).

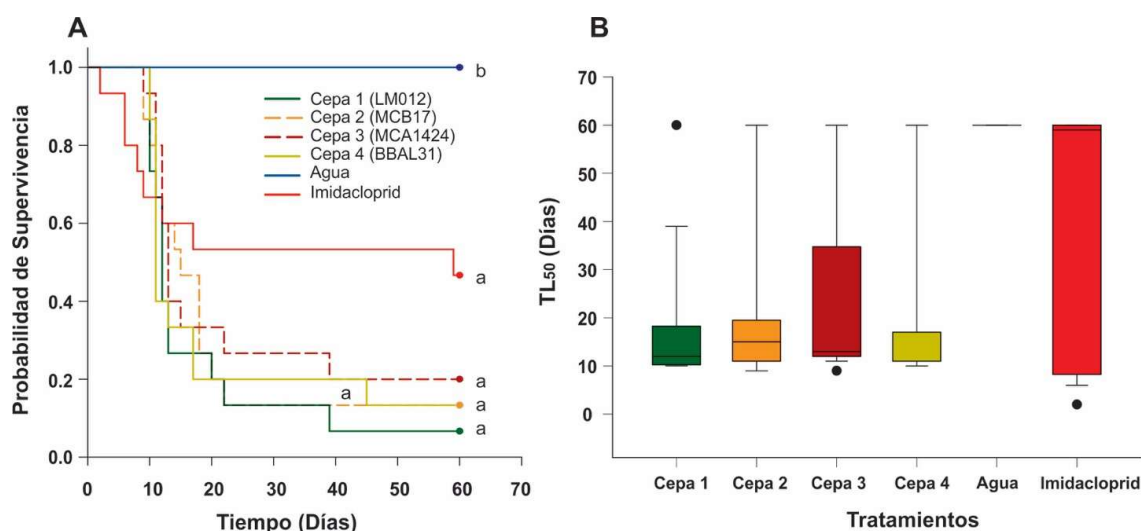
**Cuadro 1. Características culturales macroscópicas de las colonias de *B. bassiana*.**  
**Table 1. Macroscopic cultural characteristics of *B. bassiana* colonies.**

Código del aislamiento	Ubicación geográfica	Cultivo asociado	Patrón de crecimiento	Observaciones de la colonia			
				Color	Forma	Textura	Elevación
LM012	La Maná, Cotopaxi, Ecuador	Orito	Disperso	Blanco	Irregular	Rugosa	Elevada y plana
MCB17	Mocache, Los Ríos, Ecuador	Banano	Disperso	Beige	Redondeada	Polvorizada	Elevada
MCA1424	Machala, El Oro, Ecuador	Banano	Denso con anillos concéntricos	Beige	Redondeada	Algodonosa	Elevada
BBAL31	Babahoyo, Los Ríos, Ecuador	Plátano	Denso	Blanco	Irregular	Polvorizada	Elevada

El análisis de supervivencia de los adultos de *C. sordidus* expuestos a *B. bassiana* (Cepa 1:LM012, Cepa 2: MCB17, Cepa 3: MCA1424, Cepa 4: BBAL31), control negativo (agua), control positivo (imidacloprid) indicaron diferencias significativas entre los tratamientos (prueba Log-rank:  $\chi^2 = 30.45$ ; gl = 5;  $p < 0.001$ ; Figura 1A). Los insectos expuestos al insecticida imidacloprid presentaron la mortalidad más lenta (Figura 1A), en contraste, los individuos tratados con las cepas fúngicas mostraron una mortalidad progresiva a lo largo del tiempo, con diferencias mínimas entre aislados. Los tiempos medios de supervivencia ( $TL_{50}$ ) fueron de 12, 15, 13 y 11 días para las cepas LM012, MCB17, MCA1424 y BBAL31, respectivamente, mientras que el grupo tratado con imidacloprid presentó un  $TL_{50}$  de 59 días, y el control con agua no mostró mortalidad durante el período experimental (Figura 1B).

Estos resultados concuerdan con investigaciones previas que han demostrado la capacidad de diferentes aislados de *B. bassiana* para ejercer una acción letal efectiva contra *C. sordidus* con tiempos de mortalidad que oscilan entre 5 y 31 días bajo diferentes condiciones experimentales (Lopes *et al.*, 2011; Membang *et al.*, 2020; Kisaakye *et al.*, 2021) y que imidacloprid presenta un efecto moderado (<20%) contra el picudo negro (Mongyeh, Ndamukong y Okolle, 2015). *Beauveria bassiana* es un hongo entomopatógeno capaz de causar la mortalidad de diversos insectos plaga por lo que es ampliamente utilizado como agente de biocontrol. Su mecanismo de acción implica múltiples etapas y factores, que incluyen la penetración física, la degradación enzimática y la producción de metabolitos tóxicos (Cito *et al.*, 2016; Dhawan, Joshi, Kaur, Sandhu y Meenu, 2020; Baek *et al.*, 2022; Figueroa *et al.*, 2024).

Aunque las cuatro cepas de *B. bassiana* evaluadas en el presente estudio provocaron la mortalidad total en adultos de *C. sordidus*, es necesario realizar evaluaciones adicionales de virulencia entre los aislados. Estudios evidencian que la virulencia puede variar significativamente entre cepas de la misma especie, debido a diferencias en la producción y tipo de enzimas hidrolíticas, metabolitos secundarios y toxinas asociadas al proceso infeccioso (Abdelaziz *et al.*, 2018). Membang *et al.*, (2020) demostraron que, de 13 aislados de *Metarhizium anisopliae* y *B. bassiana* analizados, solo seis fueron efectivos contra el picudo del banano, observándose variaciones notables incluso entre aislados de una misma especie. Estos hallazgos sugieren que la pertenencia taxonómica no garantiza un nivel similar de virulencia, por lo que la caracterización funcional y comparativa de cepas nativas constituye un paso esencial para seleccionar aislados con mayor potencial entomopatógeno y eficacia en campo.



**Figura 1. Curvas de supervivencia de *Cosmopolites sordidus* expuestos a los tratamientos con cuatro cepas de *Beauveria bassiana* (Cepa 1:LM012, Cepa 2:MCB17, Cepa 3: MCA1424, Cepa 4: BBAL31), agua (control negativo) e imidacloprid (control positivo).** (A) Curvas de supervivencia estimadas mediante el análisis de Kaplan-Meier. (B) Tiempos medios de supervivencia ( $LT_{50}$ : tiempo letal 50%) de los adultos expuestos a cada tratamiento. Los diagramas de caja muestran la mediana (línea sólida) y la dispersión (cuartiles inferior y superior, y valores atípicos) de los tiempos medios de supervivencia ( $TL_{50}$ ). Letras en curvas de supervivencia indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba Log-Rank y el método de comparaciones múltiples de Holm-Sidak ( $p < 0.05$ ).

**Figure 1. Survival curves of *Cosmopolites sordidus* exposed to treatments with four *Beauveria bassiana* strains (Strain 1: LM012, Strain 2: MCB17, Strain 3: MCA1424, Strain 4: BBAL31), water (negative control), and imidacloprid (positive control).** (A) Survival curves estimated using the Kaplan-Meier analysis. (B) Mean survival times ( $LT_{50}$ : median lethal time) of adults exposed to each treatment. Box plots show the median (solid line) and dispersion (lower and upper quartiles, and outliers) of the mean survival times ( $TL_{50}$ ). Letters on survival curves indicate significant differences between treatments according to the Log-Rank test and Holm-Sidak multiple comparison method ( $p < 0.05$ ).

El proceso de colonización de *B. bassiana* fue observado de manera similar en las cuatro cepas evaluadas, confirmando la efectividad de *B. bassiana* en la infección y colonización de *C. sordidus*. De acuerdo con el análisis estadístico realizado, no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de colonización de *B. bassiana* en el cuerpo de los adultos de *C. sordidus*, ( $\chi^2 = 5.47$ ;  $gl = 3$ ;  $p = 0.1406$ ). La colonización de las cuatro cepas mostraron un comportamiento homogéneo, sin variaciones significativas en la proporción de superficie corporal cubierta por micelio. Los porcentajes medios de colonización registrados fueron: LM012 (80.22%), MCB17 (82.59%), MCA1424 (79.75%) y BBAL31 (66.28%), lo que evidencia una eficiencia similar entre los aislados en su capacidad para colonizar el hospedador bajo las condiciones experimentales.

Una vez que el hongo penetra la cutícula de su huésped, prolifera en el interior del cuerpo del insecto, formando hifas que se diseminan por los tejidos, lo que finalmente provoca la muerte del hospedador (Baek *et al.*, 2022; Figueroa *et al.*, 2024). Posteriormente, el hongo esporula sobre el cadáver, generando conidios capaces de infectar nuevos individuos. El crecimiento y la proliferación de *B. bassiana* están influenciados por factores como la temperatura, el pH y las fuentes de nutrientes óptimas (Padmavathi, Uma Devi y Uma Maheswara Rao, 2003; Dhar, Jindal y Gupta, 2016; Alali *et al.*, 2019). El experimento se realizó bajo condiciones controladas de laboratorio, donde todas las cepas de *B. bassiana* fueron cultivadas y aplicadas bajo las mismas condiciones ambientales y nutritivas en medio PDA. Esta uniformidad en las condiciones de crecimiento permitió minimizar la influencia de factores externos, por lo que no se observaron diferencias en el grado de colonización micelial sobre el cuerpo de los insectos evaluados. Sin embargo, otros factores tanto genéticos como metabólicos deben ser evaluados.

*Cosmopolites sordidus* es una plaga de importancia económica en los cultivos de plátano y banano de todo el mundo (Tresson *et al.*, 2021) y los resultados obtenidos resaltan el gran potencial de cepas de *B. bassiana* para su aplicación en campo como agente de control biológico. Estrategias como el combinar *B. bassiana* con trampas de pseudotallo (Fancelli *et al.*, 2013), con feromonas de agregación (Lopes *et al.*, 2011) o la combinación con otros hongos entomopatógenos pueden emplearse para facilitar la diseminación del hongo en la población del picudo negro del banano (Membang *et al.*, 2020). De acuerdo con Hapsoh *et al.* (2020) y Gutiérrez *et al.* (2024) la selección de cepas nativas de *B. bassiana* constituye un paso clave para el control eficiente de varias plagas, ya que su adaptación al entorno local favorece la colonización, persistencia y virulencia en campo. En este sentido, los resultados obtenidos resaltan la necesidad de profundizar en la caracterización ecológica y patogénica de las cepas nativas, a fin de identificar aquellas con mayor potencial para su aplicación en estrategias de manejo biológico sostenible. Finalmente, el aislamiento de *B. bassiana* en suelos de diferentes regiones del país confirma el papel del suelo como fuente natural de cepas entomopatógenas, y denota la relevancia de continuar explorando estos ecosistemas para fortalecer los programas de control biológico de plagas agrícolas.

## CONCLUSIONES

La caracterización molecular identificó las cepas como pertenecientes a la especie *Beauveria bassiana*. La variabilidad morfológica observada entre los aislados evidencia la diversidad fenotípica presente en cepas nativas de esta especie. Los resultados de este estudio confirman el alto potencial entomopatógeno de las cepas nativas de *B. bassiana* aisladas de la rizosfera del banano frente a *Cosmopolites sordidus*. Todas las cepas evaluadas (LM012, MCB17, MCA1424 y BBAL31) mostraron efectividad letal del 100% sobre los adultos del insecto, con valores de  $TL_{50}$  entre 11 y 15 días, lo que demuestra su capacidad biocontroladora bajo condiciones controladas. En conjunto, los resultados respaldan el uso potencial de aislados locales de *B. bassiana* como alternativa sostenible al uso de insecticidas químicos y aportan información relevante para el desarrollo de estrategias de manejo integrado de plagas más seguras, eficientes y ecológicamente compatibles.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 10<sup>ma</sup> Convocatoria (Proyecto PFOC10-08-2024).

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: M.C.V.R. y F.A.P.; Metodología: M.C.V.R., A.A.P.Z. y A.V.C.M.; Validación: M.C.V.R. y A.V.C.M.; Análisis formal: M.C.V.R.; Investigación: A.A.P.Z. y J.D.G.D.; Recursos: M.C.V.R., F.A.P. y A.V.C.M.; Curación de datos: M.C.V.R., A.A.P.Z. y J.D.G.D.; Escritura – preparación del borrador original: M.C.V.R.; Escritura – revisión y edición: M.C.V.R., F.A.P. y A.V.C.M.; Visualización: A.A.P.Z. y J.D.G.D.; Supervisión: A.V.C.M.; Administración del proyecto: M.C.V.R.; Adquisición de fondos: M.C.V.R.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por el apoyo otorgado a través del Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT).

## LITERATURA CITADA

- Abdelaziz, O., Senoussi, M. M., Oufroukh, A., Birgücü, A. K., Karaca, İ., Kouadri, F., ... & Bensegueni, A. (2018). Pathogenicity of three entomopathogenic fungi, to the aphid species, *Metopolophium dirhodum* (Walker) (Hemiptera: Aphididae), and their alkaline protease activities. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(1), 1-5. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0030-7>
- Abdel-Raheem, M. (2019). Isolation, mass production and application of entomopathogenic fungi for insect pests control. In A. M. Abdel-Raheem (Ed.). *Cottage industry of biocontrol agents and their applications: Practical aspects to deal biologically with pests and stresses facing strategic crops* (pp. 231-251). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-33161-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33161-0_7)
- Akello, J., Dubois, T., Coyne, D., & Kyamanywa, S. (2008). Effect of endophytic *Beauveria bassiana* on populations of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus*, and their damage in tissue-cultured banana plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 129(2), 157-165. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00759.x>
- Akelo, J., Dubois, T., Coyne, D., & Hillnhutter, C. (2009). *Beauveria bassiana* as an endophyte in tissue-cultured banana plants: A novel way to combat the banana weevil *Cosmopolites sordidus*. *Acta Horticulturae*, 828, 129-138. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.828.12>
- Alali, S., Mereghetti, V., Faoro, F., Bocchi, S., Azmeh, F. A., & Montagna, M. (2019). Thermotolerant isolates of *Beauveria bassiana* as potential control agent of insect pest in subtropical climates. *PLoS One*, 14(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211457>
- Alpizar, D., Fallas, M., Oehlschlager, A. C., & Gonzalez, L. M. (2012). Management of *Cosmopolites sordidus* and *Metamasius hemipterus* in Banana by Pheromone-Based Mass Trapping. *Journal of Chemical Ecology*, 38(3), 245-252. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0091-0>
- Augustyniuk-Kram, A. (2018). Relationships between host insect, enzymatic activity and virulence of isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (*Hypocreales*). *Acta Zoologica Bulgarica*, 70, 3-10.
- Baek, S., Noh, M. Y., Mun, S., Lee, S. J., Arakane, Y., & Kim, J. S. (2022). Ultrastructural analysis of beetle larva cuticles during infection with the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. *Pest Management Science*, 78(8), 3356-3364. <https://doi.org/10.1002/ps.6962>
- Bakaze, E., Dzomeku, B. M., & Wünsche, J. N. (2021). Banana defence responses to *Cosmopolites sordidus* feeding and methyl jasmonate application. *Annals of Applied Biology*, 178(1), 98-108. <https://doi.org/10.1111/aab.12638>
- Boucher, O., Simard, M. N., Muckle, G., Rouget, F., Kadhel, P., Bataille, H., ... & Cordier, S. (2013). Exposure to an organochlorine pesticide (chlordecone) and development of 18-month-old infants. *NeuroToxicology*, 35(1), 162-168. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2013.01.007>
- Celis-Perera, S. E., Cristóbal-Alejo, J., Medina-Baizabal, I. L., & Gamboa-Angulo, M. (2026). Extractos y Metabolitos Antifúngicos de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg con Potencial Aplicación en el Control de Fitopatógenos Agrícolas. *Terra Latinoamericana*, 44, 1-18. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2308>
- Chaithra, M., Prameeladevi, T., Bhagyasree, S. N., Prasad, L., Subramanian, S., & Kamil, D. (2022). "Multilocus sequence analysis for population diversity of indigenous entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and its bio-efficacy against the cassava mite, *Tetranychus truncatus* Ehara (Acari: Tetranychidae)." *Frontiers in Microbiology*, 13, 1007017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1007017>
- Cito, A., Barzanti, G. P., Strangi, A., Francardi, V., Zanfini, A., & Dreassi, E. (2016). Cuticle-degrading proteases and toxins as virulence markers of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. *Journal of Basic Microbiology*, 56(9), 941-948. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600022>
- De Graaf, J., Govender, P., Schoeman, A. S., & Viljoen, A. (2008). Efficacy of cultural control measures against the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar), in South Africa. *Journal of Applied Entomology*, 132(1), 36-44. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01252.x>
- Dhar, S., Jindal, V., & Gupta, V. K. (2016). Optimization of growth conditions and medium composition for improved conidiation of newly isolated *Beauveria bassiana* strains. *Indian Journal of Experimental Biology*, 54(10), 634-643.
- Dhawan, M., Joshi, N., Kaur, S., Sandhu, S., & Meenu (2020). Deciphering the relationships among enzymatic systems and virulence of *Beauveria bassiana*: A review. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 8(6), 730-742. [https://doi.org/10.18006/2020.8\(6\).730.742](https://doi.org/10.18006/2020.8(6).730.742)

- Fancelli, M., Dias, A. B., Delalibera Júnior, I., Jesus, S. C. D., Nascimento, A. S. D., Silva, S. D. O. E., ... & Ledo, C. A. D. S. (2013). *Beauveria bassiana* strains for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germ.) (Coleoptera: Curculionidae) in plantain. *BioMed Research International*, 2013(1), 184756. <https://doi.org/10.1155/2013/184756>
- Figueroa, L. B. P., Ferreira, J. M., Mamani, R. C. C., & de Freitas Soares, F. E. (2024). Biochemistry, pathogenesis, and parasitism of *Beauveria*. In R. A. Humber & F. E. Vega (Eds.). *Entomopathogenic fungi: Prospects and challenges* (pp. 227-245). Cham, Switzerland: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-5991-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-97-5991-0_10)
- Gold, C. S., Ragama, P. E., Coe, R., & Rukazambuga, N. D. T. M. (2005). Selection of assessment methods for evaluating banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) damage on highland cooking banana (*Musa* spp., genome group AAA-EA). *Bulletin of Entomological Research*, 95(2), 115-123. <https://doi.org/10.1079/BER2004341>
- Gutiérrez, Y., Alarcón, K. A., Ortiz, C., Santos-Holguín, J. M., García-Riaño, J. L., Mejía, C., ... & Uribe-Gutiérrez, L. (2024). Isolation and characterization of a native strain of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for the control of the palm weevil *Dynamis borassi* (Coleoptera: Curculionidae) in the neotropics. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40(9), 260. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-04044-5>
- Halim, N. A., Ahmad, R. H. I. R., Zakaria, A., Rafie, M. B. S. A., Syarif, M. N. Y., Khudri, N. A. F. R. S., ... & Azmi, W. A. (2024). Pathogenicity of native entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. on the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier Adults. *Serangga*, 29(3), 130-144. <https://doi.org/10.17576/serangga-2024-2903-10>
- Hapsoh, Salbiah, D., & Dini, I. R. (2020). Isolation *Beauveria bassiana* Vuill. Entomopathogen Local from Plant Agriculture Rhizosphere in Riau Province, Indonesia with Insect Bait *Tenebrio molitor* Larvae. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655(1), 012024 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1655/1/012024>
- He, L. M., Hu, X. L., Chen, X., Zhang, S. L., Luan, F. G., & Li, Z. Z. (2012). Genetic diversity and population genetic structure of *Beauveria bassiana* in northern China. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 23(11), 3087-3095.
- Islam, S. M. N., Chowdhury, M. Z. H., Mim, M. F., Momtaz, M. B., & Islam, T. (2023). Biocontrol potential of native isolates of *Beauveria bassiana* against cotton leafworm *Spodoptera litura* (Fabricius). *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35415-x>
- Kary, N. E., Alizadeh, Z., & Dunphy, G. (2022). Evolutionary distinction between the geographical isolates of *Beauveria bassiana* from Iran and their efficacy against *Helicoverpa armigera*. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(3), 2083-2092. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00729-2>
- Kisaakye, J., Fourie, H., Coyne, D., Cortada, L., Masinde, S., Subramanian, S., & Haukeland, S. (2021). Evaluation of the entomopathogenic potential of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Isaria fumosorosea* for management of *Cosmopolites sordidus* Germar (Coleoptera: Curculionidae). *Agriculture*, 11(12), 1290. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121290>
- Lopes, R. B., Michereff-Filho, M., Tigano, M. S., Neves, P. M. O. J., López, E. L., Fancelli, M., & da Silva, J. P. (2011). Virulence and horizontal transmission of selected Brazilian strains of *Beauveria bassiana* against *Cosmopolites sordidus* under laboratory conditions. *Bulletin of Insectology*, 64(2), 201-208.
- Mamy, L., Pesce, S., Sanchez, W., Aviron, S., Bedos, C., Berny, P., ... & Leenhardt, S. (2025). Impacts of neonicotinoids on biodiversity: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(6), 2794-2829. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31032-3>
- Mantzoukas, S., Kitsiou, F., Natsiopoulos, D., & Eliopoulos, P. A. (2022). Entomopathogenic Fungi: Interactions and Applications. *Encyclopedia*, 2(2), 646-656. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2020044>
- Membang, G., Ambang, Z., Mahot, H. C., Kuate, A. F., Fiaboe, K. K. M., & Hanna, R. (2020). *Cosmopolites sordidus* (Germar) susceptibility to indigenous Cameroonian *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) isolates. *Journal of Applied Entomology*, 144(6), 468-480. <https://doi.org/10.1111/jen.12757>
- Meyling, N. V., & Eilenberg, J. (2007). Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control. *Biological Control*, 43(2), 145-155. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2007.07.007>
- Mishra, S., Pang, S., Zhang, W., Lin, Z., Bhatt, P., & Chen, S. (2021). Insights into the microbial degradation and biochemical mechanisms of carbamates. *Chemosphere*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130500>
- Mitina, G. V., Tokarev, Y. S., Movila, A. A., & Yli-Mattila, T. (2011). Polymorphism of *Beauveria bassiana* (Deuteromycota: Hyphomycetes) strains isolated from *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in Moldova. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 2(1), 50-54. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2010.10.005>
- Mongyeh, E. T., Ndamukong, K. J. N., & Okolle, J. N. (2015). Effects of insecticides with different modes of action in the control of banana weevils (*Cosmopolites sordidus*) in Cameroon. *Journal of the Cameroon Academy of Sciences*, 12(1), 3-10.
- Negrete-González, D., Ávalos-Chávez, M. A., Lezama-Gutiérrez, R., Chan-Cupul, W., Molina-Ochoa, J., & Galindo-Velasco, E. (2018). Suitability of *Cordyceps bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae) in an organic Mexican banana plantation: laboratory and field trials. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125(1), 73-81. <https://doi.org/10.1007/s41348-017-0126-4>
- Padmavathi, J., Uma Devi, K., & Uma Maheswara Rao, C. (2003). The optimum and tolerance pH range is correlated to colonial morphology in isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* - A potential biopesticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 19(5), 469-477. <https://doi.org/10.1023/A:1025151000398>
- Pauli, G., Lopes, R. B., Alves, S. B., Damatto Junior, E. R., & Mascarin, G. M. (2011). Falsa broca aumenta disseminação de *Beauveria bassiana* em populações de campo da broca-do-rizoma da bananeira. *Ciência Rural*, 41(11), 1867-1870. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011001100002>
- Pérez, J. S. G., Paredes-Espinosa, R., Jump, G. E., & Gil, O. J. A. (2021). Selección de hongos entomopatógenicos nativos contra *Cosmopolites sordidus* (Germar) em laboratório. *Revista de Ciencias Agroveterinarias*, 20(1), 93 - 97. <https://doi.org/10.5965/223811712012021093>
- Posit Team (2025). *RStudio: Integrated development environment for R*. Boston, MA, USA: Posit Software, PBC.
- Potenza, L., Cafiero, M. A., Camarda, A., Salandra, G., Cucchiari, L., & Dachà, M. (2009). Characterization of *Dermanyssus gallinae* (Acarina: Dermanysidae) by sequence analysis of the ribosomal internal transcribed spacer regions. *Veterinary Research Communications*, 33(7), 611-618. <https://doi.org/10.1007/s11259-009-9210-y>
- Rasband, W. S. (2018). *ImageJ*. Bethesda, MD, USA: U.S. National Institutes of Health.
- Rehner, S. A., & Buckley, E. (2005). A *Beauveria* phylogeny inferred from nuclear ITS and EF1- $\alpha$  sequences: Evidence for cryptic diversification and links to *Cordyceps* teleomorphs. *Mycologia*, 97(1), 84-98. <https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832842>
- Rehner, S. A., Minnis, A. M., Sung, G. H., Luangsa-ard, J. J., Devotto, L., & Humber, R. A. (2011). Phylogeny and systematics of the anamorphic, entomopathogenic genus *Beauveria*. *Mycologia*, 103(5), 1055-1073. <https://doi.org/10.3852/10-302>

- Rocha, J. P. L., Nunes, T. V., Rodrigues, J. N., Lima, N. M. P., Rocha, P. A. L., Pinto, I. D. O., ... & Sarmiento, R. A. (2023). Morphophysiological Responses in Eucalyptus Demonstrate the Potential of the Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* to Promote Resistance against the Gallling Wasp *Leptocybe invasa*. *Forests*, *14*(7). <https://doi.org/10.3390/f14071349>
- Safavi, S. (2010). Isolation, identification and pathogenicity assessment of a new isolate of entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* in Iran. *Journal of Plant Protection Research*, *50*(2), 158-163.
- Sanjaya, Y., Ocampo, V. R., & Caoili, B. L. (2014). Entomopathogenic characterization of *Beauveria bassiana* fungi against *Tetranychus kanzawai* (Kishida) (Tetranychidae: Acarina) spider mite by its region. *Thai Journal of Agricultural Science*, *47*(1), 13-21.
- Saragih, M., Trizelia, Nurbailis., & Yusniwati. (2019). Endophytic colonization and plant growth promoting effect by entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*, to red chili (*Capsicum annum* L.) with different inoculation methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *305*(1), 012070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/305/1/012070>
- Sayed, S. M., Ali, E. F., El-Arnaouty, S. A., Mahmoud, S. F., & Amer, S. A. (2018). Isolation, identification, and molecular diversity of indigenous isolates of *Beauveria bassiana* from Taif region, Saudi Arabia. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *28*(1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0054-z>
- Sepúlveda-Cano, P. A., & Rubio-Gómez, J. D. (2009). Especies de Dryophthorinae (Coleoptera: Curculionidae) asociadas a plátano y banano (*Musa* spp.) en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, *14*(2), 45-56.
- Srivani, M. V. K., & Jalaja, N. (2022). Efficacy of Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana* in Pest Management. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, *16*(4), 553-561.
- Systat Software, Inc. (2017). *SigmaPlot for Windows (version 14.0)*. San Jose, CA, USA: Systat Software, Inc.
- Tandon, V., Rana, A., Kapoor, P., & Katoch, A. (2024). Biocontrol potential and specificity of entomopathogenic fungi. In V. Tandon et al. (Eds.). *Entomopathogenic fungi* (pp. 127-140). Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-5991-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-97-5991-0_6)
- Tresson, P., Tixier, P., Puech, W., & Carval, D. (2021). The challenge of biological control of *Cosmopolites sordidus* Germar (Col. Curculionidae): A review. *Journal of Applied Entomology*, *145*(3), 171-181. <https://doi.org/10.1111/jen.12868>
- Trissi, A. N., El Bouhsini, M., Alsalti, M. N., von Korff, M., Hamwih, A., Skinner, M., ... & Baum, M. (2013). Genetic diversity among summer and winter *Beauveria bassiana* populations as revealed by AFLP analysis. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *16*(3), 269-273. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2013.03.006>
- Valdez-Rivera, D. R., Farah-Asang, S. E., Espinoza-Morán, W. C., Veliz-Piguave, F. F., Villon-Loor, H. P., Hasang-Moran, E. S., & Herrera-Espinoza, L. (2025). Biocontrol of *Cosmopolites sordidus* using entomopathogenic fungi under laboratory conditions, Ecuador. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, *42*(2), e254217. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v42.2.1](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v42.2.1)
- Vidaurre, D., Rodríguez, A., & Uribe, L. (2020). Factores edáficos y nemátodos entomopatógenos en un agroecosistema neotropical de banano. *Revista de Biología Tropical*, *68*(1), 199-210.
- Wilson, W. M., Ibarra, J. E., Oropeza, A., Hernández, M. A., Toledo-Hernández, R. A., & Toledo, J. (2017). Infection of *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae) Adults during Emergence from Soil Treated with *Beauveria bassiana* under Various Texture, Humidity, and Temperature Conditions. *Florida Entomologist*, *100*(3), 503-508. <https://doi.org/10.1653/024.100.0302>
- Yao, J., Zhang, L., Chen, X., & Li, Z. (2012). A population survey of *Beauveria bassiana* in the microhabitat of the red turpentine beetle, *Dendroctonus valens*, in Chinese pine forests. *Biocontrol Science and Technology*, *22*(11), 1257-1267. <https://doi.org/10.1080/09583157.2012.724382>
- Zhang, R., Feng, S., Xie, X., Huang, Z., Wan, Q., Wang, S., & Zhang, Z. (2021). Dysbacteriosis of the Intestinal Flora Is an Important Reason for the Death of Adult House Flies Caused by *Beauveria bassiana*. *Frontiers in Immunology*, *11*, 589338. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.589338>