

Producción y evaluación de biológicos obtenidos en un biorreactor artesanal para el manejo de broca del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferrari) y roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome)

Evaluation of biologically based products produced in an artisanal bioreactor for the management of coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) and coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome)

Aurelio Pérez-Constantino¹ , José Francisco Ramírez-Dávila^{1*} , Fidel Lara-Vázquez¹ , Agustín David Acosta¹ , Dulce Karen Figueroa-Figueroa¹ 

¹ Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Ciencias Agrícolas, Centro Universitario El Cerrillo Piedras Blancas, km 15 carretera Toluca-Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo, 50200, Toluca, México.

*Autor para correspondencia: jframirez@uaemex.mx

Fecha de recepción:
26 de marzo de 2026

Fecha de aceptación:
1 de junio de 2026

Disponible en línea:
3 de julio de 2026

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



**Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)**

Cómo citar:

Pérez-Constantino, A., Ramírez-Dávila, J. F., Lara-Vázquez, F., Acosta, A. D., Figueroa-Figueroa, D. K. (2026). Producción y evaluación de biológicos obtenidos en un biorreactor artesanal para el manejo de broca del cafeto (*Hypothenemus hampei* Ferrari) y roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome). *Acta Agrícola y Pecuaria*, 12, e0121029. https://doi.org/10.30973/aap/2026.12.0121029

RESUMEN

La cafeticultura es una actividad económica importante en México; sin embargo, problemas fitosanitarios continúan limitando la productividad y calidad del grano, particularmente entre pequeños productores. Este estudio evaluó la eficacia de biológicos producidos mediante un biorreactor artesanal de bajo costo para el manejo de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) y la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome). Se produjeron tres botes de 200 L de *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. y dos de *Bacillus* spp., evaluados mediante bioensayos de laboratorio y ensayos en campo. Para la broca, se observó una relación dosis-respuesta, con mortalidades de 49.6 % a 82.5 %, similares a un producto comercial. Para la roya, las aplicaciones foliares redujeron la severidad en 32.8 % respecto al testigo. Los resultados respaldan la viabilidad técnica de producir biológicos localmente como alternativa sustentable para el manejo integrado del cultivo.

PALABRAS CLAVE

Control biológico, agricultura sustentable, fermentación líquida, manejo integrado, cafeticultura.

ABSTRACT

Coffee cultivation is an important economic activity in Mexico; however, phytosanitary problems continue to limit crop productivity and bean quality, particularly among smallholder producers. This study evaluated the efficacy of biological products obtained using a low-cost artisanal bioreactor for the management of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) and coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome). Three 200-L containers of *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. and two containers of *Bacillus* spp., were produced and evaluated through laboratory bioassays and field trials. For the coffee berry borer, a dose-response relationship was observed, with mortality ranging from 49.6 % to 82.5 %, comparable to that obtained with a commercial product. For coffee rust, foliar applications reduced disease severity by 32.8 % compared with the untreated control. These results support the technical feasibility of local biological production as a sustainable alternative for integrated crop management.

KEYWORDS

Biological control, coffee farming, liquid fermentation, integrated management, coffee farming.

El cultivo del café es una actividad productiva de gran relevancia en México, en estados como Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca que concentran más del 90 % de la producción nacional (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2025), y constituye una fuente importante de ingreso para familias principalmente. En este contexto, la cafecultura del sur del Estado de México que, aunque con pequeña superficie sembrada en comparación con los estados anteriores, ha tomado relevancia debido a la calidad en taza que representa un potencial en el mercado nacional e internacional; sin embargo, enfrenta desafíos fitosanitarios que afectan la calidad del grano. La broca del café [*Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae)] y la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) constituyen dos de las principales limitantes fitosanitarias de la cafecultura por su impacto directo en el rendimiento y calidad del grano. La broca puede causar pérdidas significativas al alimentarse del grano en desarrollo, mientras que la roya provoca defoliación y debilitamiento de las plantas, reduciendo la productividad del cultivo (Avelino et al., 2015; Vega et al., 2015). El uso de microorganismos benéficos como *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. y *Bacillus* spp. ha sido ampliamente documentado como una alternativa eficaz y ambientalmente segura dentro del manejo integrado de plagas y enfermedades (Feng et al., 1994; Mascarin & Jaronski, 2016; Zimmermann, 2007). No obstante, el manejo oportuno y eficiente de plagas y enfermedades continúa siendo un desafío para pequeños productores, particularmente en regiones donde la atención fitosanitaria suele realizarse de manera tardía o limitada. En este contexto, la producción local de bio-

lógicos mediante biorreactores artesanales representa una alternativa tecnológica viable para organizaciones de productores, permitiendo generar insumos para el manejo fitosanitario del cultivo con mayor autonomía tecnológica y disponibilidad local.

La producción de los biológicos se realizó en instalaciones de la Cooperativa Café orgánico Amatepec, ubicada en la localidad del Veladero, municipio de Amatepec, Estado de México, México. El sistema consistió en un biorreactor con contenedores plásticos de 200 L acondicionados con tuberías de policloruro de vinilo, mangueras flexibles y aireación continua mediante oxigenadores tipo acuario Orange Pumps Air®-10 L (Pumps F & QS.A. de C.V., Ciudad de México, México) controlados mediante un temporizador digital Volteck® TEM-8 48386 de ocho eventos (Truper S.A. de C.V., Ciudad de México, México). El medio de cultivo se formuló con fuentes orgánicas de carbono y nitrógeno, complementadas con vitaminas y sales minerales de grado comercial disponibles en presentaciones sólidas de fácil disolución (Mascarin & Jaronski, 2016). Estos compuestos fueron empleados como fuente de micronutrientes para favorecer el crecimiento y la actividad metabólica de los microorganismos durante la fermentación, siguiendo esquemas comúnmente empleados para la producción artesanal de microorganismos benéficos (Mascarin & Jaronski, 2016). El inóculo inicial de *B. bassiana* se obtuvo a partir del producto comercial BAN-Bb® (Biotecnología Andreb S.A. de C.V., Morelia, Michoacán, México), autorizado para el control de la broca del café, con una concentración de 2×10^9 conidios mL^{-1} ; mientras que el de *Bacillus* spp. se obtuvo a partir del producto comercial Proteck Total® (Biofertilizantes



Figura 1. Producción de biológicos en biorreactores artesanales de 200 L. Izquierda: biorreactores empleados para la fermentación líquida de *Beauveria bassiana* y *Bacillus* spp. Centro: monitoreo del pH del medio durante el proceso de producción. Derecha: vista del cultivo durante la fase activa de fermentación.

y servicios Valles centrales S.A. de C.V., Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México), con una concentración aproximada de 1×10^9 UFC mL⁻¹. Ambos productos fueron utilizados como inóculo inicial para el proceso de fermentación. Posterior a la inoculación, la fermentación se mantuvo durante siete días con agitación y aireación periódicas (Figura 1). En total, se inocularon tres contenedores de 200 L para la producción de *B. bassiana* y dos contenedores para *Bacillus* spp., los cuales se utilizaron para las evaluaciones posteriores.

Para el control de la broca del café se realizaron bioensayos bajo condiciones de laboratorio (*in vitro*) utilizando el biológico producido a base de *B. bassiana*. Los insectos se obtuvieron de frutos infestados colectados en cafetales del municipio de Malinalco, Estado de México. Los frutos fueron diseccionados para extraer adultos de broca, los cuales se colocaron en cajas Petri de 90 mm y se expusieron mediante pulverización inundativa (aspersión) dirigida del biológico en concentraciones de 100 %, 75 %, 50 % y 25 %, emulando la aplicación de control evaluando mortalidad a las 24 h, 48 h y 72 h.

Para la roya del café se realizaron aplicaciones foliares de *Bacillus* spp. en plantas con síntomas visibles de *Hemileia vastatrix* bajo condiciones de campo, las aplicaciones se efectuaron mediante aspersión foliar hasta punto de goteo y la severidad de la enfermedad se evaluó antes y después de la aplicación, utilizando la

escala diagramática propuesta por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2018).

El diseño experimental fue mediante bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El análisis estadístico se realizó mediante el análisis de varianza de una vía, y la comparación de medias, con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El porcentaje de control se calculó mediante la fórmula de Abbott (1925).

Los resultados mostraron desde las primeras 24 h una respuesta dosis-efecto en el control de la broca del café donde los niveles de mortalidad fueron moderados; sin embargo, a las 48 h se observó un incremento importante en la mortalidad de los insectos tratados. A las 72 h el tratamiento con *B. bassiana* alcanzó mortalidades de 82.5 % y 74.3 % en las concentraciones de 100 % y 75 %, respectivamente (Cuadro 1), valor comparable al obtenido con el producto comercial. Las concentraciones de 50 % y 25 % también mostraron niveles importantes de mortalidad, alcanzando valores de 63.8 % y 49.6 %, respectivamente, a las 72 h de evaluación.

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman el potencial de los dos microorganismos entomopatógenos y antagonistas como herramienta dentro del manejo integrado del cafeto. Resultados similares han sido reportados para *B. bassiana*, considerado uno de los principales agentes de control biológico

Cuadro 1. Mortalidad o severidad y control corregido registrados a las 24 h, 48 h y 72 h posteriores a la aplicación de biológicos producidos en biorreactor artesanal para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) y la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*).

| Organismo | TC | 24 h | 24 h | 48 h | 48 h | 72 h | 72 h |
|-----------|-----|------|--------|------|--------|------|--------|
| | | M/S | cc (%) | M/S | cc (%) | M/S | cc (%) |
| Bb | 100 | 34.8 | 29.1 | 63.7 | 58.1 | 82.5 | 78.4 |
| Bb | 75 | 28.6 | 22.6 | 55.4 | 49.1 | 74.3 | 70.1 |
| Bb | 50 | 20.9 | 14.6 | 44.8 | 37.7 | 63.8 | 58.2 |
| Bb | 25 | 14.5 | 7.9 | 32.6 | 24.4 | 49.6 | 43.7 |
| Bb | pc | 36.1 | 30.5 | 66.2 | 60.9 | 85.1 | 80.3 |
| Bb | TA | 7.8 | 0.0 | 14.2 | 0.0 | 12.4 | 0.0 |
| Bs | 100 | 22.8 | 18.6 | 21.0 | 25.7 | 19.6 | 31.4 |
| Bs | 75 | 24.6 | 11.9 | 23.2 | 17.6 | 22.1 | 22.7 |
| Bs | 50 | 27.1 | 2.8 | 26.5 | 5.4 | 26.0 | 8.6 |
| Bs | 25 | 28.4 | -2.0 | 28.1 | -1.0 | 27.9 | -0.5 |
| Bs | pc | 22.2 | 20.9 | 20.6 | 27.9 | 19.2 | 32.8 |
| Bs | TA | 29.0 | 0.0 | 29.5 | 0.0 | 28.8 | 0.0 |

TA = testigo absoluto (0 %); pc = producto comercial al 100 %; TC = tratamiento-concentración (%); M/S = mortalidad o severidad (%); cc = control corregido (%); Bb = *Beauveria bassiana*; Bs = *Bacillus* spp.

utilizados contra *H. hampei* a nivel mundial (Mascarin & Jaronski, 2016; Vega et al., 2015). La importancia de desarrollar alternativas de manejo para esta plaga es particularmente relevante en el sur del Estado de México, donde su presencia ha sido reportada recientemente y se ha observado un proceso de expansión hacia nuevas zonas cafetaleras, generando riesgos para la producción y calidad del grano (Pérez Constantino et al., 2023). La broca se desarrolla dentro del fruto del café, lo que dificulta su control mediante métodos convencionales y hace necesario el uso de estrategias de manejo integrado que incluyan control biológico (Jaramillo et al., 2006; Vega et al., 2015).

En el caso de la roya del café, las aplicaciones de *Bacillus* spp. mostraron una reducción significativa en la severidad de la enfermedad en comparación con el testigo. A las 72 h de evaluación, el tratamiento al 100 % presentó una severidad de 19.6 % y un control corregido de 31.4 %, valor cercano al obtenido con el producto comercial (32.8 %). Las concentraciones de 75 % y 50 % también mostraron efecto sobre la enfermedad, alcanzando controles corregidos de 22.7 % y 8.6 %, respectivamente, mientras que la concentración de 25 % no presentó diferencias importantes respecto al testigo como se muestra en el Cuadro 1. Diversos estudios han documentado la capacidad de bacterias del género *Bacillus* para inhibir patógenos mediante la producción de metabolitos antifúngicos, competencia por espacio y nutrientes, e inducción de resistencia en las plantas (Compant et al., 2005). La importancia de su control es particularmente relevante debido a que la roya constituye una de las enfermedades más limitantes del cultivo del café, pudiendo causar defoliaciones y reducción en la productividad (Avelino et al., 2015). El biorreactor artesanal permitió la producción exitosa de *Beauveria bassiana* y *Bacillus* spp. en cantidades suficientes para las evaluaciones de laboratorio y campo realizadas en este estudio. Los biológicos obtenidos mostraron eficacia comparable a productos comerciales en el control de la broca del café y contribuyeron a reducir la severidad de la roya del café.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por el apoyo financiero otorgado mediante el proyecto CAT2024-0040. Asimismo,

se reconoce la colaboración de los cafeticultores de Amatepec, Tlatlaya y Sultepec por facilitar el acceso a sus parcelas, así como el apoyo técnico del personal del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México.

LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Avelino, J., Cristancho, M., Georgiou, S., Imbach, P., Aguilar, L., Bornemann, G., Läderach, P., Anzueto, F., Hruska, A. J., & Morales, C. (2015). The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7, 303-321. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0446-9>
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 4951-4959. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005>
- Feng, M. G., Poprawski, T. J., & Khachatourians, G. G. (1994). Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status. *Biocontrol Science and Technology*, 4(1), 3-34. <https://doi.org/10.1080/09583159409355309>
- Jaramillo, J., Borgemeister, C., & Baker, P. (2006). Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): Searching for sustainable control strategies. *Bulletin of Entomological Research*, 96(3), 223-233. <https://doi.org/10.1079/BER2006434>
- Mascarin, G. M., & Jaronski, S. T. (2016). The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, 177. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3>
- Pérez Constantino, A., Ramírez Dávila, J. F., & Figueroa Figueroa, D. K. (2023). Infestations of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytinae) in coffee-growing areas of the State of Mexico, Mexico. *Revista Colombiana de Entomología*, 49(1), e12097-e12101. <https://doi.org/10.25100/socolen.v49i1.12097>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). *Anuario de producción agrícola*. SIAP. <https://www.gob.mx/siap>

- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2018). *Manual técnico operativo 2018 para la vigilancia epidemiológica fitosanitaria en el cultivo del café*. SENASICA. <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya%20café/Estrategia%20operativa/ManualOperativoRoyaCafeto.pdf>
- Vega, F. E., Infante, F., Johnson, A. J., & Jaramillo, J. (2015). The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*): a short review, with recent findings and future research directions. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 2, 129-147.
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(6), 553-596. <https://doi.org/10.1080/09583150701309006>