

Evaluación de *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en café robusta (*Coffea canephora*) en Nueva Guinea, Nicaragua

Evaluation of Beauveria bassiana for the control of the coffee berry borer (Hypothenemus hampei) in robusta coffee (Coffea canephora) in Nueva Guinea, Nicaragua

José Santos Hurtado Duarte¹

Jairo Antonio Padilla Mendoza²

Carlos Álvarez Amador³

RESUMEN

La broca del café (*Hypothenemus hampei*) constituye una de las principales plagas que afectan la producción cafetalera a nivel mundial, generando pérdidas significativas en rendimiento y calidad del grano. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* como alternativa de control de la broca en café robusta (*Coffea canephora*), en comparación con un control químico y un tratamiento testigo. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con tres tratamientos y seis repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron incidencia de broca, severidad de daño y efectividad de *Beauveria bassiana*, con mediciones realizadas cada diez días durante el periodo de estudio. Los resultados indicaron que antes de la aplicación de los tratamientos no existían diferencias significativas en la incidencia de broca, presentándose niveles bajos de infestación en todos los tratamientos. Durante el periodo de evaluación se observó un incremento progresivo de la incidencia de la plaga, siendo mayor en el tratamiento testigo. Al finalizar el estudio, los tratamientos con *Beauveria bassiana* y control químico presentaron incidencias similares cercanas al 5 %, mientras que el testigo alcanzó valores superiores al 9 %. La efectividad de *Beauveria bassiana* fue de 27.22 % de parasitismo sobre la broca. En términos de rendimiento proyectado, los tratamientos con control mostraron pérdidas menores en comparación con el testigo, evidenciando la importancia de implementar estrategias de manejo para reducir el impacto de la plaga. Se concluye que *Beauveria bassiana* constituye una alternativa viable para el manejo de la broca del café, ya que permite mantener la incidencia por debajo del umbral económico de daño y ofrece ventajas ambientales frente al uso de insecticidas químicos, contribuyendo al desarrollo de sistemas de producción más sostenibles.

¹ Ingeniero Agroforestal, Universidad URACCAN, Nueva Guinea. Correo electrónico: jossedt95@gmail.com. Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1489-8058>

Agroforestry Engineer, URACCAN University, Nueva Guinea

² Ingeniero Agroforestal, Universidad URACCAN, Nueva Guinea. Correo electrónico: jairopadilla1020@gmail.com. Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9396-8142>

Agroforestry Engineer, URACCAN University, Nueva Guinea

³ Ingeniero Agroforestal, especialista en Educación Virtual Universitaria, Especialista en Docencia e Investigación Científica, Especialista en Desarrollo Local Centroamericano, Maestría en Docencia Universitaria. Correo electrónico: caxy1604@gmail.com Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8588-4471>

Agroforestry Engineer, Specialist in University Virtual Education, Specialist in Teaching and Scientific Research, Specialist in Central American Local Development, Master's Degree in University Teaching.

Recibido: 23/08/2024 - Aprobado: 23/10/2025

Hurtado Duarte, J. S., Padilla Mendoza, J. A., y Álvarez Amador, C. (2025). Evaluación de *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en café robusta (*Coffea canephora*) en Nueva Guinea, Nicaragua. *Revista Universitaria del Caribe*, 32(2), 134-146. <https://doi.org/10.5377/ruc.v32i2.22309>

Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-NoDerivadas



Palabras Clave: Broca del café, control biológico, *Beauveria bassiana*, incidencia de plagas, café robusta

ABSTRACT

The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) is one of the most important pests affecting coffee production worldwide, causing significant losses in yield and grain quality. The objective of this study was to evaluate the effect of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as an alternative for controlling the coffee berry borer in robusta coffee (*Coffea canephora*), in comparison with a chemical control and an untreated control treatment. The experiment was established under a completely randomized design with three treatments and six replicates per treatment. The variables evaluated were coffee berry borer incidence, damage severity, and effectiveness of *Beauveria bassiana*, with measurements taken every ten days throughout the study period. The results indicated that before the application of treatments there were no significant differences in the incidence of the pest, with low infestation levels recorded in all treatments. During the evaluation period, a progressive increase in pest incidence was observed, with the highest values occurring in the untreated control. At the end of the study, the treatments with *Beauveria bassiana* and chemical control showed similar incidence levels close to 5%, whereas the untreated control reached values above 9%. The effectiveness of *Beauveria bassiana* was 27.22% parasitism of the coffee berry borer. In terms of projected yield, the treatments with pest control showed lower production losses compared to the control, highlighting the importance of implementing management strategies to reduce the impact of this pest. It is concluded that *Beauveria bassiana* represents a viable alternative for the management of the coffee berry borer, as it allows pest incidence to be maintained below the economic damage threshold while providing environmental advantages over chemical insecticides, thus contributing to the development of more sustainable coffee production systems.

Keywords: Coffee berry borer, biological control, *Beauveria bassiana*, pest incidence, Robusta coffee

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del café constituye una de las actividades agrícolas más importantes a nivel mundial, tanto por su impacto económico como por su relevancia social en las regiones productoras. En Nicaragua, la caficultura representa un rubro estratégico para la economía nacional, ya que genera empleo para cientos de miles de personas y aporta de manera significativa al producto interno bruto agrícola y a las exportaciones del país. Según datos reportados por Fórum cultura del Café (FORUMCAFÉ, 2017), el sector cafetalero genera más de 300,000 empleos en áreas rurales, mientras que Martínez y Tinoco (2018) señalan que el café contribuye aproximadamente con el 21 % del PIB agrícola nacional. En este contexto, el cultivo de café robusta (*Coffea canephora*) ha adquirido mayor importancia en los últimos años debido a su adaptación a condiciones agroclimáticas específicas presentes en diversas regiones del país, entre ellas el municipio de Nueva Guinea.

A pesar de su importancia económica, la producción de café enfrenta múltiples limitantes fitosanitarias que afectan la productividad y la calidad del grano. Entre estas, la broca del café (*Hypothenemus hampei*) es considerada la plaga más destructiva del cultivo a nivel mundial. Este insecto pasa la mayor parte de su ciclo biológico en el interior del fruto, donde se alimenta y se reproduce, lo que dificulta su control y favorece su rápida dispersión en los sistemas de producción cafetalera (Castillo y Romero, 2004). El daño causado por esta plaga se manifiesta principalmente en la reducción del peso y la calidad del grano, así como en la disminución del rendimiento del cultivo. Barrios (1990) señala que las pérdidas ocasionadas por la broca pueden oscilar entre 5 % y 24 % de la producción, aunque en condiciones severas de infestación pueden alcanzar hasta el 50 % de la cosecha.

El manejo de la broca del café se ha basado tradicionalmente en el uso de insecticidas químicos; sin embargo, el empleo intensivo de estos productos puede generar efectos negativos sobre el ambiente, la salud humana y la biodiversidad presente en los agroecosistemas. Además, el uso indiscriminado de agroquímicos puede favorecer el desarrollo de resistencia en las poblaciones de insectos y afectar organismos benéficos que contribuyen al equilibrio ecológico del sistema productivo. En este sentido, el desarrollo e

implementación de alternativas de manejo más sostenibles constituye una necesidad creciente dentro de la caficultura moderna.

Entre las estrategias de control biológico más estudiadas para el manejo de la broca del café se encuentra el uso del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*. Este microorganismo es capaz de infectar y provocar la muerte de diversas especies de insectos, incluyendo *H. hampei*, mediante la penetración de sus esporas a través de la cutícula del hospedero, lo que genera un proceso de colonización interna que culmina con la muerte del insecto (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI], 2017). El desarrollo del hongo se reconoce por la presencia de micelio blanco que emerge a través de los tegumentos del insecto infectado. De acuerdo con Ávila (2010), la broca contaminada con *B. bassiana* puede morir entre tres y seis días en condiciones de alta humedad relativa, lo que evidencia su potencial como agente de control biológico.

El uso de *Beauveria bassiana* presenta ventajas importantes dentro de los programas de manejo integrado de plagas, ya que permite reducir la dependencia de insecticidas químicos, disminuye la carga tóxica en los sistemas productivos y contribuye a la conservación del equilibrio ecológico en los cafetales (Pérez, 2009). Además, investigaciones realizadas en diferentes regiones cafetaleras han demostrado que este hongo puede establecerse en campo y ejercer un efecto regulador sobre las poblaciones de broca cuando se aplican programas adecuados de manejo y monitoreo (Cintrón y Grillo, 2005; Vuelta *et al.*, 2017).

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* como alternativa para el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en café robusta (*Coffea canephora*), en comparación con un método de control químico convencional y un tratamiento testigo, en condiciones de campo en el municipio de Nueva Guinea, Nicaragua.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La caficultura en Nicaragua

Actualmente, el café en Nicaragua es el producto agrícola más importante con una destacada repercusión tanto social como económica. El sector da empleo a más de 332,000 personas, representando un 15% de total del mercado laboral y un 54% del empleo en el sector agrícola (FORUMCAFÉ, 2017).

Según datos del Ministerio Nicaragüense de Agricultura (MAG) existen 45,519 productores de café, de los que un 97% son pequeños productores, con fincas de 1-14 hectáreas en promedio. El resto son productores medianos a grandes con fincas de 14-30 hectáreas (FORUMCAFÉ, 2017).

El café es uno de los principales rubros de exportación con un valor significativo, ya que representa el 25% del área de cultivos dedicados a la exportación y genera un tercio del empleo rural (más de 300 000 empleos), aportando el 2% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y el 21% del PIB agrícola (Martínez y Tinoco, 2018).

La broca del café (*Hypothenemus hampei*)

La broca de café (*Hypothenemus hampei*) representa una de las mayores amenazas en el sector de la caficultura, ya que pasa casi todo su ciclo de vida en el interior del fruto, donde se alimenta y protege contra diferentes factores del medio, y se caracteriza por su sorprendente poder de adaptación y de dispersión. El ataque de broca provoca altas pérdidas en rendimiento por el poco peso que tiene el café cuando está afectado (Castillo y Romero, 2004).

La broca destruye tanto los frutos tiernos como los granos maduros o cerezas. En los frutos jóvenes el insecto perfora los granos que aún se encuentran en estado blando-lechoso, produciendo la caída de éstos al suelo o la pudrición de los mismos. Al parecer, no se produce caída de frutos cuando el proceso de maduración está más avanzado. El daño principal ocurre desde el momento en que el endosperma empieza a

tomar mayor consistencia hasta que la cereza está madura. En este estado, la broca es capaz de reproducirse en el interior de las semillas, causando su destrucción parcial o total (Koch, 2006).

Según Acosta (2017), la broca provoca la caída de frutos verdes y maduros, en casos fuertes de ataque se puede destruir entre un 30% y 80% de la cosecha debido a la baja en la calidad física del grano y el peso el grano.

La broca de café (*Hypothenemus hampei*) se ha convertido en la principal plaga de café en Centroamérica y en todas partes del mundo donde hay plantaciones de café, y se debe determinar la incidencia para determinar el método más adecuado para controlar la broca (Úbeda *et al.*, 2014). Trujillo *et al.* (2006) clasifican los niveles de severidad de daño de broca así: Bajos (menores a 2,5%), medios (entre 2,5 y 5%) y altos (mayores a 5%).

Chaput (2000) recomienda la siguiente metodología para determinar la incidencia de broca:

En una plantación de menor a 3 hectáreas se seleccionan cinco puntos bien distribuidos en todo el plantío. En cada punto se seleccionan 6 planta. En cada planta, se revisa una bandola entera de la parte alta, de la siguiente planta se revisa la bandola de la parte media, y de la siguiente planta se evalúa la bandola de la parte baja, y se repite el proceso en las siguientes plantas del punto elegido. En cada bandola se cuentan los frutos totales y los frutos perforados por broca.

Según Castillo y Romero (2004), la incidencia de broca se calcula con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de incidencia de broca} = \frac{\text{Total de frutos brocados por bandola}}{\text{Total de frutos por bandola}} \times 100$$

Beauveria bassiana

Beauveria bassiana es un hongo imperfecto de la clase Deuteromycetes, capaz de infectar a más de 200 especies de insectos, entre ellos a la broca de café. Es de apariencia polvosa, de color blanco algodonoso o amarillento cremoso. El ciclo de vida de este hongo consta de dos fases: la patogénica y la saprofita (INTAGRI, 2017).

El hongo se desarrolla en el insecto, al cual mata en poco tiempo, se reconoce por el micelio blanco que desarrolla entre los tegumentos de su hospedero. El hongo puede atacar a la broca cuando está fuera del fruto, o bien si no se encuentra muy profunda en el fruto, ya que de otra forma es casi invulnerable al patógeno. Si la broca se contamina con el hongo, muere después de 3 a 6 días en condiciones de humedad saturada y dura hasta 9 días si las condiciones de humedad relativa son de 70 a 80%. Si la humedad es excesiva, la viabilidad de las esporas del hongo baja (Ávila, 2010).

Torrez Avilez y Castillo (2005) recomiendan utilizar la siguiente ecuación para la determinación de efectividad de *Beauveria bassiana*:

$$\% \text{ de efectividad de } B.bassiana = \frac{\text{Total de frutos brocados por bandola}}{\text{Total de frutos por bandola}} \times 100$$

Vuelta *et al.* (2017) en una evaluación que realizaron en campo en Las Yaguas, Cuba, obtuvieron porcentajes de brocas con micelio de *Beauveria bassiana* en un 47%, con una duración de 2 años, y un intervalo de aplicación de 30 días, obtuvieron resultados de un 47% de efectividad de *Beauveria bassiana* sobre broca en campo, ellos utilizaron una cepa de *Beauveria bassiana* con una concentración de 1.0×10^7 / esporas/gramo, y una dosis de 3 gramos/litro de agua y 1.5 klg por ha.

Según Cintrón y Grillo (2005), el hongo *B. bassiana*, después de 8 aplicaciones cada 10 días, se establece en campo, entonces el intervalo de aplicación se puede retirar a cada 30 días, lo que significa reducción de costos.

Según Pérez (2009), el empleo de *B. bassiana* permite disminuir la carga toxica, sustituye importaciones, protege el medio ambiente permitiendo que las cosechas puedan realizarse inmediatamente después de su aplicación sin riesgos de intoxicación para los seres humanos y animales, favoreciendo la producción del grano con mayores rendimientos, calidad y sin trazas de productos químicos.

Según Bustillo *et al.* (1998), la aplicación temprana de *Beauveria bassiana*, a los 120 días después de la floración, cuando el grano tiene una consistencia semi lechosa y los ataques por broca son bajos, permite mantener durante el ciclo de fructificación hasta la cosecha los porcentajes de daño por debajo del 6%, un valor aceptable para la producción de café.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

La investigación se realizó en la finca La Bendición, propiedad del productor Denis Delgadillo, ubicada en la comarca La Dama, a 2.5 km al oeste de la colonia San Juan, municipio de Nueva Guinea, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), Nicaragua. El sitio de estudio se localiza a una altitud aproximada de 210 msnm.

El ensayo se desarrolló durante un período de cuatro meses y doce días, iniciando a finales del mes de mayo. La fecha de inicio se seleccionó considerando el estado fenológico del cultivo, ya que los frutos de café presentaban aproximadamente cuatro meses después de la floración, etapa en la que el grano posee una consistencia semilechosa, condición en la cual se incrementa la susceptibilidad al ataque de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) (Koch, 2006).

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres tratamientos y seis repeticiones por tratamiento. Cada repetición estuvo conformada por una planta experimental, de la cual se seleccionó una bandola productiva, evaluada de forma alternada entre los estratos alto, medio y bajo de la planta, con el objetivo de garantizar representatividad del muestreo dentro de la arquitectura del cafeto.

Tratamientos evaluados

Se evaluaron tres alternativas de manejo de la broca del café:

- **Tratamiento 1. *Beauveria bassiana*** (control biológico): Consistió en la aplicación del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* como agente de control biológico de la broca del café.

Se utilizó el producto comercial Ba-Eco, producido por la empresa Bio-Eco, con las siguientes características:

- Concentración: 1×10^9 esporas g^{-1}
- Ingrediente activo: 20%
- Germinación: 95% a las 24 h
- Patogenicidad: 96%

La dosis utilizada fue de 2.5 g L^{-1} de agua. Adicionalmente se incorporó extracto de ajo al 10%, a una dosis de 10 mL L^{-1} de agua, con el objetivo de potenciar el efecto repelente y mejorar la adhesión del producto. Las aplicaciones se realizaron utilizando una bomba de mochila manual de 20 L, destinada exclusivamente para este tratamiento.

- **Tratamiento 2. Control químico (Clorpirifos 48 SL):** Este tratamiento consistió en la aplicación del insecticida Clorpirifos 48 SL, un insecticida organofosforado de acción por contacto, ingestión e inhalación, recomendado para el control de insectos plaga.

La dosis aplicada fue de 2.5 mL L^{-1} de agua. De igual manera se añadió extracto de ajo al 10% (10 mL L^{-1}) como coadyuvante. Las aplicaciones se realizaron con una bomba manual de 20 L destinada exclusivamente para este tratamiento.

- **Tratamiento 3. Testigo:** Consistió en manejar las plantas de café sin aplicación de ningún método de control, permitiendo evaluar el comportamiento natural de la incidencia de broca en ausencia de medidas de manejo.

Frecuencia de aplicación de los tratamientos

Los tratamientos se aplicaron cada 10 días, realizando un total de 12 aplicaciones durante el período experimental. Las evaluaciones se efectuaron antes de cada aplicación, con el fin de registrar la dinámica poblacional de la plaga y la respuesta a los tratamientos.

Material vegetal y condiciones del cultivo

El experimento se estableció en una plantación de café robusta (*Coffea canephora*) de cuatro años de edad, establecida con un marco de plantación de 2 m entre surcos y 1.2 m entre plantas, equivalente a aproximadamente 4,171 plantas por manzana.

El área total destinada al ensayo fue de $1,716 \text{ m}^2$. Durante el desarrollo del estudio, el manejo agronómico del cultivo se mantuvo uniforme en toda el área experimental, incluyendo prácticas de manejo de malezas, nutrición y manejo cultural, con el fin de que las diferencias observadas respondieran únicamente al efecto de los tratamientos evaluados.

Variables evaluadas

- **Incidencia de broca:** La incidencia de broca se determinó mediante el conteo del número de frutos perforados por *H. hampei* en relación con el total de frutos evaluados en cada bandola.

El cálculo se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Incidencia de broca}(\%) = \frac{\text{Frutos totales}}{\text{Frutos brocados}} \times 100$$

- **Severidad de daño de broca**

La severidad del daño se clasificó según los rangos propuestos por Trujillo *et al.* (2006):

- Baja: $< 2.5 \%$
- Media: $2.5 - 5 \%$
- Alta: $> 5 \%$

- **Efectividad de *Beauveria bassiana***

La efectividad del hongo entomopatógeno se determinó mediante la evaluación del porcentaje de brocas parasitadas por *B. bassiana* en frutos infestados, de acuerdo con el procedimiento descrito por Torrez Avilez y Castillo (2005).

Para ello se seleccionaron 200 frutos de forma aleatoria dentro del área correspondiente al tratamiento con *B. bassiana*, evaluando:

- Número de frutos infestados por broca.
- Número de brocas parasitadas por el hongo.

Muestreo inicial de broca

Previo a la aplicación de los tratamientos, se realizó una evaluación inicial de la incidencia de broca en el área experimental con el fin de determinar la homogeneidad de las parcelas.

El muestreo se realizó siguiendo la metodología descrita por Chaput (2000) para plantaciones menores a 3 ha, mediante la selección de puntos distribuidos dentro del cultivo y la evaluación de bandolas en diferentes estratos de la planta.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANDEVA) utilizando el software estadístico INFOSTAT. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se realizó la separación de medias mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0.05$).

Adicionalmente, se efectuó un análisis exploratorio de los datos para verificar supuestos de normalidad utilizando el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Los resultados fueron presentados mediante tablas y figuras, facilitando la interpretación del comportamiento de los tratamientos evaluados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia y severidad inicial de broca antes de la aplicación de los tratamientos

Los resultados del análisis de varianza indicaron que antes de la implementación de las alternativas de control no existían diferencias significativas en la incidencia de broca entre los tratamientos evaluados. La incidencia inicial se mantuvo por debajo del 1 % en todos los casos (ver Tabla 1), lo que corresponde a una severidad baja de infestación, de acuerdo con la clasificación propuesta por Trujillo *et al.* (2006), quienes establecen que valores inferiores a 2.5 % corresponden a niveles bajos de daño por broca.

Este resultado es relevante desde el punto de vista metodológico, ya que demuestra que las unidades experimentales presentaban condiciones iniciales homogéneas, lo cual permite comparar de forma objetiva el efecto de las alternativas de control evaluadas. La baja infestación inicial puede atribuirse, en gran medida, a las prácticas de manejo cultural implementadas previamente en la finca, particularmente la recolección de frutos caídos, la limpieza del área y el manejo de malezas.

Diversos autores han señalado la importancia del manejo cultural en la regulación poblacional de la broca. En este sentido, Lezaun (2016) destaca que la recolección oportuna de frutos infestados y los residuos de cosecha constituye una de las estrategias más eficaces para reducir las fuentes de reproducción de *Hypothenemus hampei*, contribuyendo a mantener las poblaciones por debajo del umbral económico de daño.

Tabla 1

Incidencia de broca en los tratamientos y el testigo antes de la aplicación de las alternativas de control de broca

Tratamientos	Incidencia (%)	Severidad
<i>Beauveria bassiana</i>	0.59a	Baja
Químico	0.38a	Baja
Testigo	0.33a	Baja

Notas: Promedios con letras iguales en la misma columna, son estadísticamente iguales

P-valor=0.92, CV=188.45%, Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.00

Efectividad de *Beauveria bassiana* durante el periodo de evaluación

La evaluación inicial realizada en el área experimental permitió confirmar la ausencia de parasitismo natural de *Beauveria bassiana* sobre la broca en el cultivo (severidad baja). Este hallazgo permitió establecer una línea base para valorar con mayor precisión el efecto del hongo entomopatógeno una vez iniciadas las aplicaciones.

Durante el periodo de estudio se observó un incremento gradual de la incidencia de broca en todos los tratamientos, particularmente hacia los meses finales del ciclo de evaluación (ver Figura 1). No obstante, la magnitud de este incremento fue considerablemente mayor en el tratamiento testigo, lo cual evidencia el efecto regulador de los métodos de control implementados.

El tratamiento con *Beauveria bassiana* y el control químico presentaron valores de incidencia muy similares al final del estudio, ambos cercanos al 5 %, mientras que el testigo alcanzó niveles superiores al 9 % (ver Tabla 2). Estos resultados sugieren que ambos métodos de control lograron limitar el crecimiento poblacional de la plaga, reduciendo significativamente la infestación en comparación con la ausencia de manejo.

La efectividad total de *Beauveria bassiana* durante el estudio alcanzó un nivel de parasitismo de 27.22 %. Aunque este valor es inferior al reportado en otras investigaciones, representa un nivel importante de control biológico en condiciones de campo. Valdés *et al.* (2016) señalan que el efecto regulador de *B. bassiana* no siempre está directamente relacionado con la densidad poblacional de la plaga, sino que depende principalmente de factores ambientales como la humedad relativa, la temperatura y los mecanismos de dispersión del hongo dentro del agroecosistema.

Asimismo, Cintrón y Grillo (2005) indican que el establecimiento del hongo en campo suele requerir múltiples aplicaciones, generalmente alrededor de ocho tratamientos iniciales con intervalos cortos, lo que permite que el microorganismo se adapte al ambiente y ejerza un control más sostenido a lo largo del tiempo. Desde esta perspectiva, la efectividad observada en el presente estudio podría incrementarse en ciclos posteriores del cultivo si se mantiene la estrategia de aplicación.

Tabla 2

Incidencia de broca en el área de estudio en las diferentes mediciones

Tratamientos	Incidencia (%)			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
<i>Beauveria bassiana</i>	0.74a	1.37a	2.45a	5.09b
Químico	0.64a	0.52a	2.05a	5.03b
Testigo	1.00a	1.90a	3.03a	9.31a

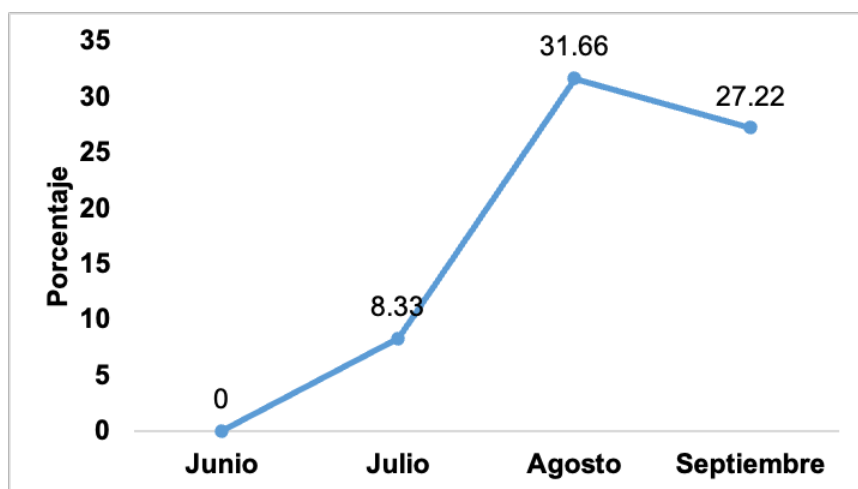
Notas: Promedios con letras iguales en la misma columna, son estadísticamente iguales

En investigaciones realizadas en Cuba, Vuelta *et al.* (2017) reportaron niveles de efectividad cercanos al 47 % tras evaluaciones prolongadas durante dos años, lo que sugiere que factores como la duración del programa de control, la concentración de esporas y la frecuencia de aplicación influyen significativamente en la eficiencia del entomopatógeno.

Además de su eficacia biológica, el uso de *B. bassiana* presenta ventajas ambientales importantes. Según Pérez (2009), el empleo de este agente biológico permite reducir la carga tóxica en los sistemas productivos, disminuye la dependencia de insecticidas sintéticos y favorece la producción de café libre de residuos químicos, lo cual adquiere especial relevancia en sistemas agrícolas orientados hacia la sostenibilidad.

Figura 1

Efectividad de Beauveria bassiana para el control de broca en el área de estudio según el periodo de evaluación



Severidad del daño de broca al final del estudio

Al finalizar el periodo de evaluación se observó un incremento general en los niveles de infestación en todos los tratamientos. De acuerdo con los criterios de clasificación establecidos por Trujillo *et al.* (2006), los valores finales registrados corresponden a una severidad alta, al superar el umbral del 5 % de incidencia (ver Tabla 3).

El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre los tratamientos en la última medición, siendo el testigo el que presentó la mayor incidencia de broca. En contraste, los tratamientos con control

químico y con *Beauveria bassiana* mostraron valores significativamente menores, lo cual confirma la efectividad de ambas estrategias de manejo.

Aunque el tratamiento químico presentó una incidencia ligeramente inferior en comparación con *B. bassiana*, la diferencia observada fue mínima y puede atribuirse en parte a las condiciones iniciales del experimento, donde el tratamiento biológico partía de una incidencia ligeramente mayor. Este comportamiento sugiere que el hongo entomopatógeno posee una capacidad comparable al control químico para reducir el daño causado por la broca bajo condiciones de campo.

Bustillo *et al.* (1998) señalan que la aplicación temprana de *Beauveria bassiana*, aproximadamente 120 días después de la floración, cuando el grano presenta una consistencia semilechosa y la infestación aún es baja, permite mantener los niveles de daño por debajo del 6 % durante el ciclo productivo. Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con estas observaciones, ya que los tratamientos con control lograron mantener la incidencia dentro de rangos aceptables para la producción cafetalera.

Tabla 3

Incidencia de broca en el área de estudio en las diferentes mediciones

Tratamientos	Incidencia (%)				Severidad final
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	
<i>Beauveria bassiana</i>	0.74a	1.37a	2.45a	5.09b	Alta
Químico	0.64a	0.52a	2.05a	5.03b	Alta
Testigo	1.00a	1.90a	3.03a	9.31a	Alta

Notas: Promedios con letras iguales en la misma columna, son estadísticamente iguales

P-valor: junio=0.87; julio=0.15, agosto=0.44; septiembre=0.02

CV: junio=152.42%; julio= 92.32%, agosto=52.10%, septiembre= 41.93%

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS: junio=1.48; julio=1.43, agosto=1.60; septiembre=3.34

Proyección de rendimiento en función de la incidencia de broca

El análisis de la proyección de rendimiento evidenció diferencias entre los tratamientos cuando se considera la pérdida de producción asociada al daño causado por la broca (ver Tabla 4). Aunque el rendimiento potencial del cultivo fue similar en todos los tratamientos, la incidencia final de la plaga determinó variaciones en las pérdidas estimadas.

El tratamiento químico registró el mayor rendimiento proyectado, seguido muy de cerca por el tratamiento con *Beauveria bassiana*. La diferencia entre ambos fue mínima, lo que indica que el control biológico puede ofrecer resultados productivos comparables a los obtenidos mediante insecticidas sintéticos. En contraste, el tratamiento testigo presentó la menor proyección de rendimiento, reflejando el impacto negativo del incremento poblacional de la plaga cuando no se implementan medidas de manejo.

Estos resultados confirman que la broca puede generar pérdidas económicas significativas si no se aplican estrategias de control oportunas. Barrios (1990) señala que esta plaga puede ocasionar reducciones importantes en la producción debido a la disminución del peso y la calidad del grano, llegando incluso a provocar pérdidas de hasta 40–60 % en casos de infestaciones severas.

La estimación de pérdidas utilizada en el estudio se fundamenta en los criterios del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA, 1981), el cual establece que por cada 1 % de incidencia de broca se pierde aproximadamente 0.3975 libras por quintal de café producido. Bajo este

enfoque, el tratamiento testigo presentó las mayores pérdidas estimadas, mientras que los tratamientos con control lograron reducir significativamente este impacto.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el uso de *Beauveria bassiana* representa una alternativa especialmente relevante, ya que permite obtener niveles de producción similares al control químico, pero con menores riesgos ambientales y sanitarios. Además, la posibilidad de reproducir el hongo de forma artesanal puede contribuir a reducir los costos de producción y favorecer la adopción de prácticas agroecológicas en sistemas cafetaleros.

Tabla 4

Proyección de rendimiento por tratamiento según el nivel de incidencia de broca

Tratamientos	Incidencia de broca al final del estudio (%)	Pérdidas de producción según la incidencia (qq/ha)	Proyección de rendimiento (qq uva/ha)	Proyección de rendimiento considerando la pérdida por afectación de broca (qq/ha)
<i>Beauveria bassiana</i>	5.09b	7.75b	382.97	375.22
Químico	5.03b	5.72c	382.97	375.32
Testigo	9.31a	13.22a	382.97	368.80

Notas: Promedios con letras iguales en la misma columna, son estadísticamente iguales

P-valor: 0.0001, CV: 0.0%, Test: DMS Alfa=0.05 DMS=0.00

Qq/ha: quintales por hectárea

V. CONCLUSIONES

- Los tratamientos evaluados para el manejo de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) lograron reducir la incidencia de la plaga en comparación con el tratamiento testigo, evidenciando la importancia de implementar estrategias de control para limitar el crecimiento poblacional del insecto en plantaciones de café robusta.
- El uso del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* mostró una efectividad de 27.22 % de parasitismo sobre la broca del café durante el periodo de evaluación, lo que demuestra su capacidad como agente de control biológico dentro de programas de manejo integrado de plagas.
- El tratamiento con *Beauveria bassiana* y control químico presentaron niveles de incidencia similares al final del estudio, cercanos al 5 %, mientras que el tratamiento testigo alcanzó valores superiores al 9 %, confirmando que la aplicación de medidas de control contribuye significativamente a disminuir el daño causado por la plaga.
- En términos de rendimiento proyectado, los tratamientos con control de la plaga presentaron menores pérdidas de producción en comparación con el testigo, lo que evidencia el impacto económico que puede generar la broca cuando no se aplican estrategias de manejo adecuadas.
- El uso de *Beauveria bassiana* representa una alternativa viable y ambientalmente sostenible para el manejo de la broca del café, ya que permite mantener la incidencia de la plaga dentro de niveles aceptables de producción, al tiempo que reduce la dependencia de insecticidas químicos y favorece sistemas de producción más sostenibles.

VI. REFERENCIAS

- Acosta, D. V. (2017). *Adaptación de dos variedades de café robusta (Coffea canephora) con fuentes diferentes de fertilizantes en el primer año del cultivo* [Monografía, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/11805/1/T-UCE-0004-24-2017.pdf>
- Ávila, O. A. (2010). *Control de broca del café (Hypothenemus hampei) utilizando once cepas del hongo Beauveria bassiana y el nematodo Heterorhabditis bacteriophora* [Proyecto de graduación, Zamorano, Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/003a8192-12a6-4e4a-a620-5e41907faab5/content>
- Barrios, O. (1990). *Pérdidas de café provocadas por la broca de fruto del café en Togo Hypothenemus hampei (Ferr)*. Taller Regional Sobre la Broca del Cafeto, San Salvador (El Salvador). PROMECAFE.
- Bio-Eco. (5 de mayo de 2018). *Ficha técnica del hongo entomopatógeno Beauveria bassiana*. <https://www.bioecoweb.com/producto/ba-eco/>
- Bustillo, E. A. (1998). El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 29(110), 55-68. <https://www.researchgate.net/publication/266467480>
- Castillo, B. M., y Romero, D. S. (2004). *Efecto de diferentes niveles de insumos y tipos de sombra sobre el comportamiento de las principales plagas del cultivo de café (Coffea arábica L.) Masatepe, Nicaragua 2003-2004* [Monografía, Universidad Nacional Agraria de Nicaragua]. <http://repositorio.una.edu.ni/1917/1/tnh10b456.pdf>
- Cintrón, B., y Grillo, H. (2005). Dinámica poblacional de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) durante la postcosecha del café en Topes de Collantes Jibacoa. *Centro Agrícola*, 36(2), 71-76 <https://biblat.unam.mx/hevila/Centroagricola/2009/vol36/no2/11.pdf>
- Chaput, C. (2000). *Buenas prácticas para la producción de café*.
- Fórum Cultura del Café – FORUMCAFÉ. (20 de marzo de 2017). *Origen del café en Nicaragua*. <https://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/nicaragua.pdf>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura – INTAGRI. (2017). *Beauveria bassiana en el Control Biológico de Patógenos*. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/beauveria-bassiana-en-el-control-biologico-de-patogenos>
- Koch, C. (2006). *La broca de café*. http://www.infoagro.net/sites/default/files/migrated_documents/attachment/3Broca_del_Cafe.pdf
- Lezaun, J. (2016). *Broca del café, el enemigo principal de los cafetales*. <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/broca-del-cafe>
- Martínez, E. T., y Tinoco, J. A. (2018). *Análisis productivo y comercial del café oro (Coffea arábica L.) en Nicaragua, 2010-2015* [Monografía, Universidad Nacional Agraria de Nicaragua]. <http://repositorio.una.edu.ni/3716/1/tnfo1s582.pdf>
- Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria – OIRSA. (1981). *Efecto del beneficiado del café en la mortalidad de la broca del fruto del café (Hypothenemus hampei, Ferrari, 1867)*.
- Pérez, R. (2009). *Efecto de la cepa autóctona LBb-11 de Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. sobre Hypothenemus hampei (Ferrari) en el municipio Fomento* [Tesis de maestría, Centro de Estudios para la Transformación Agraria Sostenible - CETAS]. <https://surl.li/srrgez>

- Point Chile S.A. (2018). *Ficha técnica del Clorpirifos*. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/resol._renov._mod._etiqueta_point_chile_s.a._Clorpirifos_48__ce_-_anexo_etiqueta_Clorpirifos_48__ce.pdf
- Torrez Avilez, M. L., y Castillo, M. J. (2005). *Evaluación de la incidencia natural de Beauveria bassiana (Bals) Vuill sobre Hypothenemus hampei (Ferrari) y Leucoptera coffeella (Guerin.Meneville) en el cultivo de café en dos zonas cafetaleras de Nicaragua* [Monografía, Universidad Nacional Agraria de Nicaragua]. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnh2ot694.pdf>
- Trujillo, H. I., Aristizábal, L. F., Bustillo, A. E., y Jiménez, Q. M. (2006). Evaluación de métodos para cuantificar poblaciones de broca de café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en fincas de caficultores experimentadores. *Revista Colombiana de Entomología*, 32(1), 39-44. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v32n1/v32n1a06.pdf>
- Úbeda, J., Martínez, L. M., y López, R. S. (2014). *Evaluación de tres métodos de manejo integrado de Hypothenemus hampei, sobre los índices de daño* [Monografía UNAN León]. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3487/1/228497.pdf>
- Vuelta, D. R., Rizo, M. M., y Basile, R. R. (2017). Evaluación del efecto del hongo *Beauveria bassiana*, trampas y el nematodo (*Heterorhabditis bacteriophora*) en el control de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en las Yaguas. *Ciencia en su PC*, (4), 53-67. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181353794002>