

Capacidad depredadora de las hormigas *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* en campo con una solución atrayente

Predatory capacity of the ants *Solenopsis picea* and *Crematogaster crinosa* on the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* in the field with an attractant solution

 LUIS MIGUEL CONSTANTINO-CHUAIRE¹
 PABLO BENAVIDES-MACHADO^{1*}  SELENE ESCOBAR-RAMÍREZ²
 JAMES MONTOYA-LERMA³  INGE ARMBRECHT³

¹ Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, Manizales (Caldas), Colombia. luismiguel.constantino@cafedecolombia.com, pablo.benavides@cafedecolombia.com

² Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. sescobar@usfq.edu.ec

³ Universidad del Valle, Cali, Colombia. james.montoya@correounivalle.edu.co; inge.armbrecht@correounivalle.edu.co

* Autor de correspondencia

Luis Miguel Constantino-Chuaire, Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, Sede Planalto, km. 4 vía Chinchiná-Manizales, Manizales (Caldas) - Colombia, luismiguel.constantino@cafedecolombia.com

Citación sugerida

CONSTANTINO-CHUAIRE L. M.; BENAVIDES-MACHADO P.; ESCOBAR-RAMÍREZ, S.; MONTOYA-LERMA J.; ARMBRECHT, I. 2022. Capacidad depredadora de las hormigas *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* en campo con una solución atrayente. Revista Colombiana de Entomología 48 (2): e11353. <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i2.11353>

Recibido: 06-Jun-2021

Aceptado: 09-Abril-2022

Publicado: 28-Jul-2022

Revista Colombiana de Entomología

ISSN (Print): 0120-0488

ISSN (On Line): 2665-4385

<https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co>

Open access



BY-NC-SA 4.0
creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Publishers: Sociedad Colombiana de Entomología
SOCOLEN (Bogotá, D. C., Colombia)

<https://www.socolen.org.co>

Universidad del Valle (Cali, Colombia)

<https://www.univalle.edu.co>

© 2021 Sociedad Colombiana de Entomología -
SOCOLEN y Universidad del Valle - Univalle

Resumen: Las hormigas presentes en los cafetales podrían estar ejerciendo un control natural de la broca del café (BDC), como es el caso de *Hypothenemus hampei* al depredar a las poblaciones de esta plaga, que quedan en frutos abandonados al final de cada cosecha. El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad depredadora de dos especies de hormigas (*Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa*) sobre la broca del café con un atrayente en experimentos de campo. Para cada especie, se establecieron diez unidades experimentales (UE) con diez granos de café infestados con broca. Los granos infestados fueron colocados dentro de una malla de anejo y colgados en árboles de café con un nido de hormigas. Para atraer las hormigas hacia los granos brocados estos fueron asperjados con una solución atrayente. Como testigo absoluto se usaron los mismos tratamientos con exclusión de hormigas y como testigo relativo granos brocados sin atrayente. La tasa de depredación de *S. picea* después de 24 h fue de 78,3%, seguida por *C. crinosa* con 34,3 %. El cebo atrayente incrementó en un 22 % la atracción de hormigas y depredación de estados biológicos de broca en cada UE, frente al tratamiento no asperjado. Los resultados muestran que las especies de hormigas evaluadas redujeron las poblaciones residuales de *H. hampei*; *S. picea* más que *C. crinosa*.

Palabras clave: *Coffea arabica*, hormigas, broca del café, control biológico.

Abstract: The ants present in coffee plantations could be exerting a natural control of the Coffee Berry Borer (CBB), *Hypothenemus hampei* by preying on the populations of this pest, in fruits abandoned at the end of each harvest. The objective of this research was to evaluate the predatory capacity of two species of ants (*Solenopsis picea* and *Crematogaster crinosa*) on the CBB with an attractant in field experiments. For each species, ten Experimental Units (EU) containing ten coffee beans infested with CBB were established. The infested grains were placed inside a plastic mesh and hung in trees with that had an ant nest. To attract the ants to the coffee berries, the berries were sprayed with an attractant solution. The same treatments were used with exclusion of ants as absolute control and infested berries without attractant as relative control. The predation rate of *S. picea* after 24 h was 78.3%, followed by *C. crinosa* with 34.3%. The attractant bait increased an average of 22% the attraction of ants and predation of biological stages of CBB in each EU, compared to the non-sprayed treatment. The results show that the evaluated ant species reduced the residual populations of *H. hampei*; *S. picea* more than *C. crinosa*.

Keywords: *Coffea arabica*, ants, coffee berry borer, biological control.

Introducción

La broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) es la principal plaga del cultivo de café en el mundo, al causar pérdidas anuales que superan los USD \$500 millones en producción global (Vega *et al.* 2015). Los daños directos provocados por este insecto ocasionan pérdidas de calidad y peso en el grano que, aunado a la caída prematura de los frutos en formación, ocasiona

considerables pérdidas económicas a los productores (Bustillo 2006; Benavides *et al.* 2013). En Colombia, el control de la broca se ha enfocado dentro de una estrategia denominada manejo integrado de la broca del café (MIB), debido a que el uso continuado e indiscriminado de insecticidas químicos como única medida de control no es recomendable porque una vez el insecto está en el interior del fruto los insecticidas son ineficaces (Bustillo 2007). Además de los problemas de contaminación ambiental asociados a los insecticidas químicos, éstos también afectan la fauna benéfica que regula las plagas en el cafetal, y generan desequilibrios ecológicos y resurgencia de plagas secundarias. Igualmente, existe el riesgo del desarrollo de resistencia a los insecticidas en los insectos plaga, creando problemas para su control (Bustillo 2007).

La actividad denominada RE-RE, como parte del MIB, es una estrategia cultural que ha brindado resultados favorables al cortar el ciclo de vida de la broca por la reducción de la disponibilidad de alimento y de refugio, consiste en la recolección oportuna y el repase de los frutos de café dejados después de las cosechas (Benavides *et al.* 2013; Constantino *et al.* 2017). Sin embargo, debido a la actual escasez en mano de obra en Colombia, esta práctica no se lleva a cabo en muchas fincas y, en consecuencia, los frutos se convierten en reservorio y sitios de reproducción de la broca del café que generan riesgos de infestaciones para la cosecha siguiente.

En este sentido es importante mencionar los reportes sobre los depredadores de estados inmaduros y adultos de la broca del café en los frutos del árbol y del suelo por parte de especies que pertenecen a las familias Silvanidae (Coleoptera), Anthocoridae (Hemiptera) y Formicidae (Hymenoptera). Tres especies de coleópteros de la familia Silvanidae, *Monanus* sp., *Cathartus quadricollis* (Guérin-Méneville, 1844) y *Ahasverus advena* (Waltl, 1834) han sido registradas dentro de las galerías y túneles en granos infestados de broca (Bustillo *et al.* 2002; Vera *et al.* 2007; Laiton *et al.* 2018).

En Colombia, se tienen reportes de al menos diez especies de hormigas que depredan estados inmaduros de la broca ya sea dentro de frutos brocados, y en los orificios de entrada (Bustillo *et al.* 2002; Gallego y Armbrrecht 2005; Philpott y Armbrrecht 2006; Vélez *et al.* 2006; Armbrrecht y Gallego 2007; Vera *et al.* 2007; Benavides *et al.* 2008; Vázquez *et al.* 2012) o durante el secado de café pergamino (Vélez *et al.* 2006, 2001; Armbrrecht y Gallego 2007). No obstante, son pocos los estudios que se han hecho para cuantificar su potencial depredador sobre la broca del café. En muchos casos los beneficios por los servicios de control de plagas que prestan las hormigas en los cafetales son desconocidos por los caficultores (Gonthier *et al.* 2013) o, a menudo, las perciben como plagas debido a la asociación que algunas especies tienen con insectos chupadores dañinos (Styrsky y Eubanks 2007).

Algunos estudios han permitido evaluar la capacidad depredadora de las hormigas sobre los estados biológicos de la broca del café (EBB) utilizando diversos métodos (Offenberg 2015). Por ejemplo, Morris y Perfecto (2016) obtuvieron una depredación del 82% por *Wasmannia auropunctata* (Roger, 1863) y del 47% con *Solenopsis picea* Emery, 1896, en condiciones de laboratorio en pruebas de depredación directa sobre estados biológicos de broca extraídos de frutos de café, después de cinco horas de exposición. Igualmente, observaron a las dos especies de hormigas penetrando frutos brocados de café por los mismos orificios de entrada de la broca, pero sin cuantificar el número de estados biológicos removidos. Por su parte, Jiménez-Carmona *et al.* (2019) observaron

depredación del 100% por *W. auropunctata* en granos brocados en condiciones de laboratorio. Otros estudios, como el de Gonthier *et al.* (2013), han reportado que las hormigas previenen la infestación de los frutos por la broca, debido a que al liberar adultos de esta plaga en ramas de café con un nido de hormigas y comparar frente a una rama sin hormigas (método de exclusión) encontraron una disminución del 50 % de frutos de café perforados por la broca del café en ramas con hormigas. En Costa Rica, Varón *et al.* (2004) registraron un alto porcentaje de depredación por parte de las hormigas generalistas *Solenopsis geminata* (Fabricius, 1804), *Pheidole radoszkowskii* Mayr, 1884, y *Crematogaster torosa* Mayr, 1870 en laboratorio, pero no tanto en el campo. Gallego y Armbrrecht (2005) determinaron la actividad depredadora de hormigas sobre la broca del café en dos niveles de sombra donde las unidades experimentales fueron bolsas de malla con café pergamino seco brocado con y sin exclusión de las hormigas hacia adentro. Las autoras encontraron una disminución significativa en el número de adultos de broca, debido al ingreso de las hormigas a los granos de café pergamino que se encontraban infestados, frente al testigo sin hormigas. Por otra parte, la capacidad depredadora de un grupo de hormigas involucradas espontáneamente en el control de la broca durante el proceso de secado solar en marquesinas fue evaluado por Vélez *et al.* (2006), quienes encontraron que un 6,8 y 7,3% de la depredación de los estados vivos iniciales y de éstos el 97% correspondió a estados adultos de la broca que abandonaron los granos durante el secado de café.

Todo lo anterior sugiere que las hormigas desempeñan un papel importante como reguladoras naturales de la broca del café en campo y que pueden ser tenidas en cuenta para desarrollar un MIB bajo una estrategia agroecológica amigable con el ambiente (Gallego y Armbrrecht 2005; Escobar *et al.* 2019). Sin embargo, el verdadero potencial depredador de las hormigas sobre las poblaciones de broca en condiciones de campo en los cafetales no se ha podido cuantificar exactamente, dado que la mayoría de estudios se han realizado en condiciones controladas de laboratorio (Vera *et al.* 2007; Morris y Perfecto 2016; Jiménez-Carmona *et al.* 2019), y los pocos estudios de campo se han realizado con poblaciones de hormigas sin especificar las especies (Varón *et al.* 2004; Gallego y Armbrrecht 2005; Gonthier *et al.* 2013). Este último aspecto es importante para adelantar estrategias de control biológico con hormigas en cafetales dado que algunas especies causan picaduras a los recolectores de café, por lo cual es necesario buscar alternativas con aquellas especies que interactúen de mejor manera con las personas, pero que sean eficientes depredadoras. Por esta razón, para el presente estudio se seleccionaron las especies *S. picea* y *C. crinosa*, dada su abundancia y facilidad de encuentro en los cafetales en la zona central de Colombia y porque no causan picaduras a los recolectores. Con base en estos antecedentes, se planteó la presente investigación cuyo objetivo fue cuantificar el potencial depredador de estas dos especies de hormigas hacia la broca del café en cultivos de café a libre exposición solar.

Materiales y métodos

Zona de estudio y localización. El estudio se realizó, durante la cosecha principal de 2017, en la estación experimental del Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé en La Trinidad (Líbano, Tolima, 04°54'N; 75°02'O), región cafetera colombiana, a una altitud de 1446 m, 20°C de temperatura

media. Se seleccionó una parcela productiva (segundo ciclo de cosecha principal) de *Coffea arabica* var. Castillo de 4 años de edad, a libre exposición solar, de 1 ha de extensión y con una densidad de siembra de 7.000 árboles/ha.

Evaluación de la capacidad depredadora de *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* con solución atrayente y sin atrayente

En la parcela se revisaron árboles de café productivos de cuatro años de edad con nidos activos de las hormigas *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* en la parte aérea y en la hojarasca de la base del árbol. Una vez identificados los nidos y las especies de hormigas presentes en cada árbol (Fernández *et al.* 2019), se marcaron los árboles con una cinta plástica amarilla, especificando la especie de hormiga presente. La UE estuvo conformada por un árbol de café con un nido activo de cada una de las especies de hormigas seleccionadas (*S. picea* o *C. crinosa*). En cada UE se sujetó con alambre en la parte media del tallo central una malla de anjeo de nailon, grapada en forma de canasta, destapada en su parte superior para permitir la entrada de las hormigas. Cada canasta contenía diez granos de café pergamino brocados (Fig. 1A). Se utilizó café pergamino brocado de 47% de humedad, con 20 días de infestación artificial con broca que presentaba tres orificios de entrada, que contenían en su interior, en promedio, 22 ± 3 estados biológicos de broca (huevos, larvas, pupas y adultos), provenientes del laboratorio de insumos biológicos Biocafé (Chinchiná, Caldas). Para estimar el número de estados biológicos de la broca presente en el interior de los granos de café, se tomó una muestra de 100 granos brocados, para contabilizar el promedio de estados biológicos de broca vivos por grano.

Para atraer las hormigas hacia los tratamientos con granos de café pergamino brocados se utilizó una solución atrayente preparada a base de 150 g de salchicha de pollo licuada en 500 ml de agua, filtrada al vacío para eliminar residuos.

Por cada UE se tuvo un tratamiento con granos brocados con atrayente (variable de respuesta), un testigo relativo con granos brocados, pero sin atrayente, y un testigo absoluto con granos brocados con exclusión de hormigas. Por cada tratamiento se tuvo igual número de repeticiones ($n = 10$) (Fig. 1). En total se tuvieron seis tratamientos: T1: granos de café

pergamino brocados asperjados con solución atrayente y un nido de *S. picea*. T2: granos de café pergamino brocados sin solución atrayente y un nido de *S. picea*. T3: granos de café pergamino brocados asperjados con solución atrayente y un nido de *C. crinosa*. T4: granos de café pergamino brocados sin solución atrayente y un nido de *C. crinosa*. T5: testigo absoluto (granos de café pergamino brocados con exclusión de hormigas). T6: testigo relativo (granos de café pergamino brocados pero sin solución atrayente).

Para evitar que las hormigas subieran a los cafetos y garantizar la exclusión en los testigos, se seleccionaron árboles de café libres de nidos de hormigas y se impregnó su base y ramas con el pegante Biotrapa® (Hortitec Colombia SA Cota, Cundinamarca). Además, se podaron las puntas de las ramas para evitar el acceso y paso de hormigas entre la vegetación.

Una vez concluido el tiempo de exposición de 24 horas de los granos de café a las hormigas (Fig. 1B), estos se recogieron manualmente de cada UE y se introdujeron en bolsas plásticas individuales y rotuladas con el nombre del tratamiento y especie de hormiga, dentro de una nevera de poliestireno provista de gel refrigerante para ser transportados al laboratorio de Cenicafé. Para contabilizar el número de estados de broca retirados por las hormigas, los granos de café brocados se disectaron con un bisturí para registrar el total de estados biológicos de broca presentes y los retirados por las hormigas, comparado frente al testigo.

Evaluación de la capacidad depredadora de *Solenopsis picea* con cebo atrayente asperjado sobre frutos de café cereza brocado

A diferencia del experimento anterior se usaron frutos de café cereza brocados naturalmente presentes en ramas productivas. Para este experimento se seleccionó una parcela productiva de café de 4 años de edad con una densidad de 7.000 árboles por hectárea y se evaluó solo la especie *S. picea*, por su abundancia y facilidad de encuentro en el cafetal. El objetivo de esta evaluación fue determinar si *S. picea* era capaz de penetrar y retirar en campo estados de broca de los frutos de café cereza brocados. Para esto se seleccionaron 10 árboles productivos con nidos activos de *S. picea*. De los árboles marcados se seleccionaron dos ramas de la parte media con



Figura 1. Diseño experimental con unidades de trabajo conformadas por una malla con granos de café pergamino brocados. A. Malla sujeta de un cafeto conteniendo 10 granos de café brocados. B-C. Dos acercamientos de *Solenopsis picea* retirando y depredando larvas de broca de los granos de café. Ver enlace de los videos: <https://youtu.be/YKffnT9B6Kg>; https://youtu.be/2rEk_g7bngE

un promedio de 50 frutos maduros con un nivel de infestación de broca del 12 %. El porcentaje de infestación de broca se determinó contando el total de frutos en cada rama y el total de frutos brocados. Las ramas seleccionadas fueron marcadas con cinta plástica de color amarillo y fueron asperjadas con la solución atrayente descrita anteriormente (unidad experimental). Por cada unidad experimental se tuvieron 10 repeticiones (tamaño de muestra) con igual número de testigos sin aspersión del atrayente. Se utilizó una bomba de espalda de 20 litros marca Royal Condor con presión previa retenida con una boquilla TX3 de baja descarga, aplicando un volumen de 10 ml de la solución, sobre los frutos brocados. Después de 3 horas de aplicados los tratamientos, se verificó la presencia de *S. picea* sobre los frutos de café en cada rama y se realizó una observación visual directa del número de estados de broca retirados durante 10 minutos (variable de respuesta). En este experimento no se disecaron los frutos para contar estados de broca, ya que, por tratarse de una infestación natural, las edades y tiempos de infestación en los frutos fueron diferentes.

Análisis de datos

Mediante un análisis de varianza (ANOVA) al 5%, se compararon los datos de la estimación del promedio y del coeficiente de variación por tratamiento para cada especie. De igual forma, se compararon los tratamientos frente al testigo absoluto con una prueba de Dunnett. Se utilizó el programa SAS 2007, para realizar el análisis estadístico de los datos.

Resultados y discusión

Capacidad depredadora de las hormigas *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* en café pergamino en campo sin atrayente

Se registraron diferencias significativas entre los testigos y los tratamientos con *S. picea* y *C. crinosa* en cuanto al número de estados de broca vivos al interior de los granos brocados. *Solenopsis picea* fue la especie más eficaz en remover, depredar y disminuir significativamente los estados de biológicos de broca al interior de granos de café pergamino con valores promedio de $54,1 \pm 17,4$ EBB vivos con el depredador en comparación con el testigo con $214,4 \pm 36,5$ EBB vivos

($n = 10$; $F = 22,4$; $g.l. = 1$; $P < 0,0001$) (Fig. 2). El promedio de depredación de *S. picea* alcanzó un 78,3% más frente al testigo con exclusión de hormigas en los bioensayos de campo. *Solenopsis picea* tuvo mayor preferencia para depredar los estados inmaduros, y menor preferencia hacia los adultos de broca (Fig. 2), como si lo pueden hacer otras especies de mayor tamaño corporal pertenecientes a los géneros *Crematogaster*, *Pheidole* y *Azteca*, entre otras, en el canal de penetración de la broca del café (Armbrecht y Gallego 2007).

El porcentaje de depredación de 78,3% registrado en este estudio es superior al reportado por Morris y Perfecto (2016) de 47% para *S. picea* en laboratorio, además de que estos autores no pudieron determinar la tasa de depredación de *S. picea* en campo debido a que no tenían la información del número de estados de broca al interior de los frutos brocados, ni conocían la edad de infestación de broca en los frutos provenientes de campo.

Gallego y Armbrecht (2005) determinaron un 55% de depredación de *S. picea* de acuerdo con los promedios iniciales de los estados adultos de la broca que se encontraban dentro de los granos pergamino. Igualmente, el valor del porcentaje de depredación de broca registrado en este estudio es superior a los porcentajes de depredación de broca causados por *C. quadricollis* y *A. advena* (Coleoptera: Silvanidae), de 63,2 % y 42,3 %, respectivamente, reportados por Laiton *et al.* (2018).

El promedio de obreras de *S. picea* dentro de los granos brocados fue de $12,8 \pm 9,8$ individuos, lo que indica que esta especie, además de penetrar los granos de café por los orificios y galerías de entrada que la broca construye en las almenaras de café, depreda los diferentes estadios de la broca del café (Fig. 1C). En promedio, el número de hormigas obreras en actividad depredadora de broca en las UE osciló entre 350 y $500 \pm 45,5$ individuos contabilizados en 10 minutos de observación visual directa.

En todos los ensayos se evidenció mayor depredación de *S. picea* hacia los estados inmaduros de la broca y, en menor proporción, hacia los adultos (Fig. 2). Esta preferencia obedece a la textura blanda en huevos, larvas y pupas que los hace más palatables, a diferencia de los adultos, que tienen el cuerpo fuertemente quitinizado y recubierto de setas (Baker 1999). Las hormigas son capaces de ingresar por las galerías

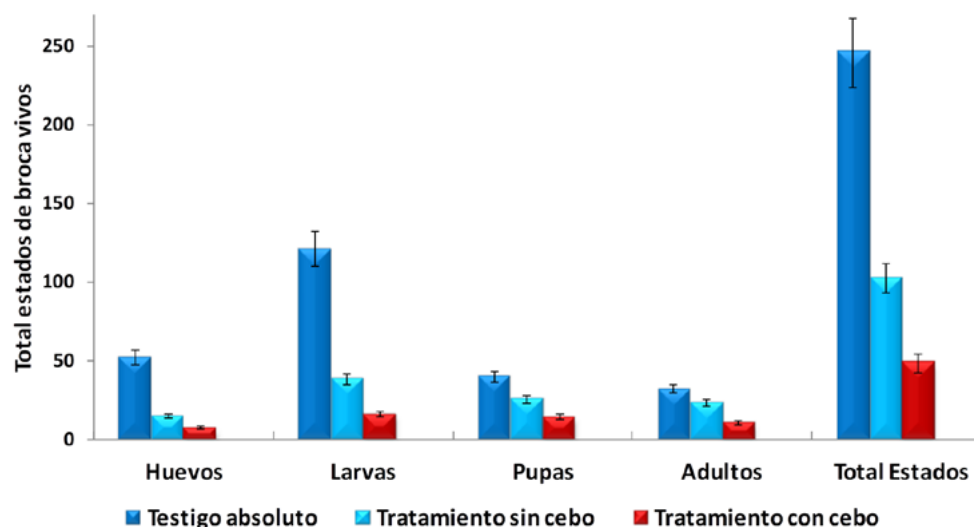


Figura 2. Promedios \pm error estándar del número total de estados de broca vivos después de 24 h de expuestos los granos de café brocados a *Solenopsis picea* en el estrato arbóreo ($n = 10$)

de los granos brocados, y retirar los estados biológicos de broca fuera de este y transportarlos hasta la colonia para depredarlos (ver los enlaces de video Fig. 1).

Entre las características que presenta *S. picea* para ser considerada como potencial agente controlador de la BDC está su buena capacidad de búsqueda de estados inmaduros en los granos brocados. Durante el estudio se pudo observar individuos de *S. picea* penetrar los orificios de entrada de la broca del café y remover sus presas (videos, Fig. 1). Por otra parte, por su comportamiento gregario, llegan en gran cantidad de individuos para invadir los granos y su reducido tamaño (longitud de $1,56 \pm 0,24$ mm y un diámetro cefálico de $0,75 \pm 0,06$ mm) también representan ventajas que permiten a esta especie depredar los estados inmaduros de la broca sin mayor dificultad.

Por su parte, *Crematogaster crinosa* también mostró diferencias significativas entre tratamientos ($n = 10$; $F = 26,4$; $g.l.=1$; $P < 0,0001$) con valores promedio de $250,4 \pm 36,5$ EBB vivos en ausencia del depredador (testigo) y $164,1 \pm 38,4$ EBB vivos en el tratamiento en presencia del depredador (Fig. 3).

Asimismo, *C. crinosa* consumió estados biológicos de broca en los granos de café brocados, reduciendo estos a un 34,3 % con respecto al testigo. No se hallaron adultos de esta especie de hormiga dentro de los granos brocados. Esto revela que las obreras tienen dificultad para penetrar los granos en campo debido a su mayor tamaño corporal (2,5-3,3 mm), pero es capaz de depredar los estados biológicos de la broca que se encuentran en el canal de penetración, es decir cerca de la superficie del grano, a la entrada de las galerías. *Crematogaster crinosa* es una especie menos frecuente, con colonias de pocos individuos que anidan en los arbustos de café (observ. pers.). En promedio, el número de obreras por UE que se acercaron para depredar la broca osciló entre 50 a $80 \pm 15,3$ individuos contabilizados en 10 minutos de observación, mucho menor que *S. picea*.

Capacidad depredadora de las hormigas *Solenopsis picea* y *Crematogaster crinosa* en café pergamino en campo con atrayente

Los porcentajes de atracción y depredación de *S. picea* sobre broca (EBB) al interior de los granos de café pergamino seco

tratados con un atrayente, fueron significativamente mayores que el testigo sin atrayente y en comparación al testigo absoluto. El mayor porcentaje de individuos fue atraído con el cebo (Fig. 5) causando un porcentaje de 80,1 % en la depredación de broca respecto al tratamiento sin atrayente ($n = 10$; $F = 221,2$; $g.l.= 1$; $P < 0,0001$). Esto significa un incremento en la tasa de depredación de *S. picea* sobre los EBB de un 22 % más respecto al tratamiento no asperjado (testigo relativo) (Fig. 5). *Solenopsis picea* logró remover y consumir la mayor cantidad de estados biológicos de broca de las almendras de café, con valores promedio de $48,5 \pm 23,1$ EBB vivos en el tratamiento con cebo respecto al testigo relativo sin atrayente con valores promedio de $102,6 \pm 16,3$ EBB. Para el testigo absoluto con exclusión de hormigas los valores promedio fueron de $245,9 \pm 21,4$ EBB (Figs. 4 y 5).

Solenopsis picea consumió diferentes estados biológicos de broca alcanzando disminución de 80,2 % dentro de los granos de café tratados y de 58,2% en granos no tratados respecto al testigo absoluto después de 24 horas de exposición de estos a las hormigas (Fig. 5).

Con respecto a *C. crinosa* los porcentajes de atracción y depredación de esta especie de hormiga sobre los estados biológicos de broca (EBB) al interior de los granos de café pergamino, fueron significativamente mayores que el control relativo sin atrayente en comparación al testigo absoluto. El mayor porcentaje de individuos fue atraído con el cebo (Fig. 6) causando un porcentaje de 48,5 % de depredación de broca respecto al tratamiento sin atrayente con un 37,1% ($n = 10$; $F = 221,2$; $g.l.= 1$; $P < 0,0001$). Esto significa un incremento en la tasa de depredación de *S. picea* sobre los EBB de 11,4 % más respecto al tratamiento no asperjado (testigo relativo) (Fig. 6). *Crematogaster crinosa* no penetró las almendras de café brocadas, pero sí logró remover y consumir los estados biológicos de broca que se encontraban en el canal de penetración de las almendras de café, con valores promedio de $116,8 \pm 18,2$ EBB vivos en el tratamiento con cebo respecto al testigo relativo sin atrayente con valores promedio de $142,8 \pm 15,2$ EBB. Para el testigo absoluto con exclusión de hormigas los valores promedio fueron de $227,1 \pm 23,2$ EBB al abrir y contabilizar los estados de broca presentes en los granos evaluados después de 24 horas de exposición de estos a las hormigas (Fig. 6).

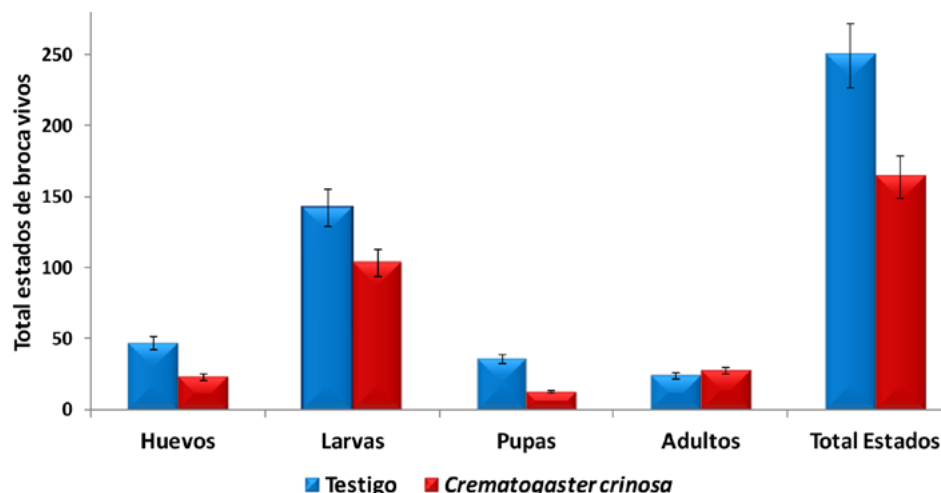


Figura 3. Promedios \pm error estándar del número total de estados de broca vivos después de 24 h de expuestos los granos de café brocados a *Crematogaster crinosa* en el estrato arbóreo ($n = 10$).

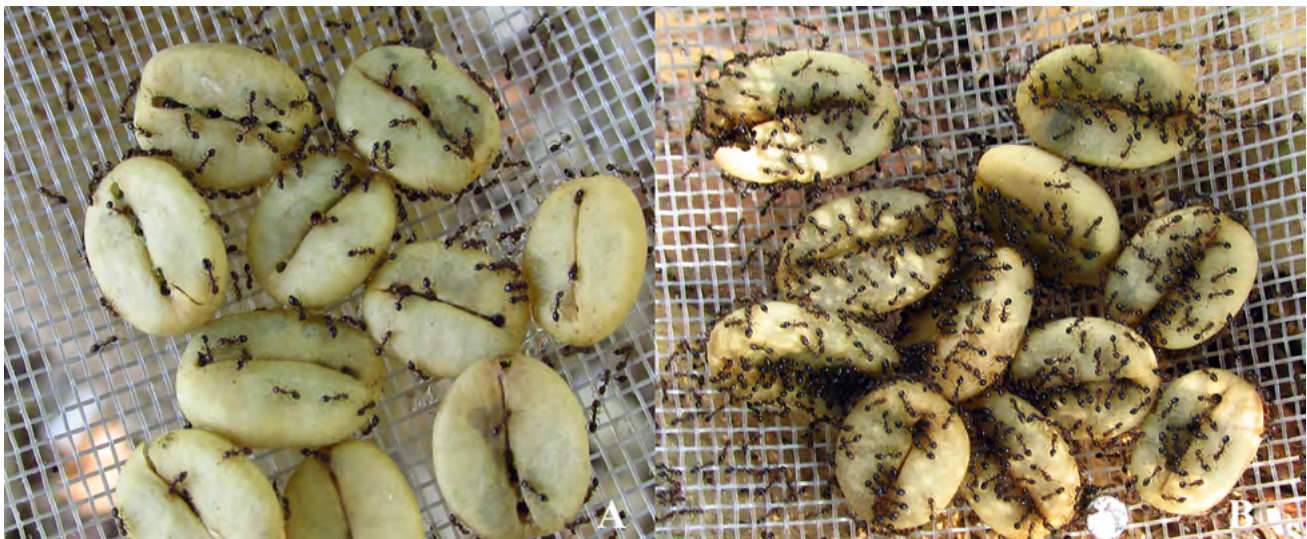


Figura 4. Eficacia de un cebo atrayente para el incremento de la depredación de broca por *Solenopsis picea* en granos de café pergamino brocados. **A.** Granos no tratados (testigo relativo). **B.** Granos asperjados con proteína (tratamiento).

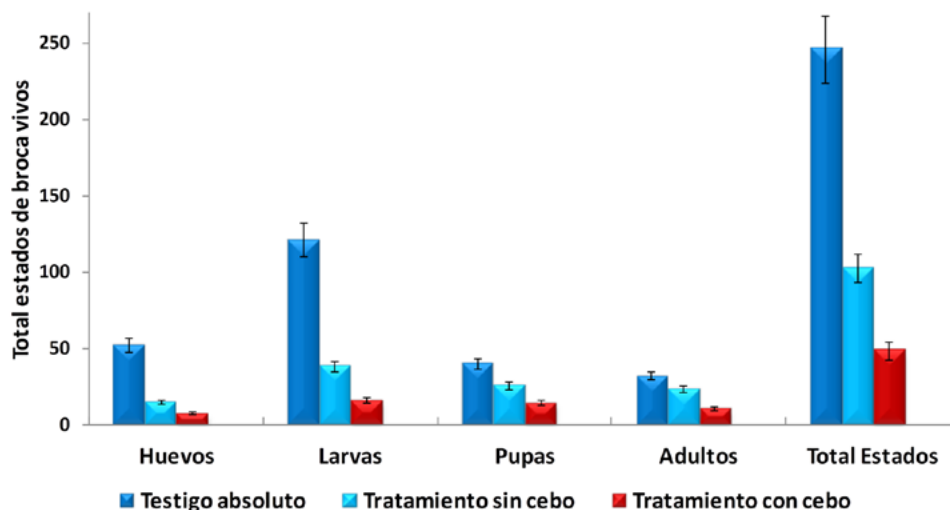


Figura 5. Promedios \pm error estándar en el incremento de depredación de estados de broca por *Solenopsis picea* en granos de café brocados asperjados con cebo y sin cebo con respecto al testigo absoluto después de 24 h de expuestos los granos a las hormigas (n = 10).

El efecto de atracción del cebo sobre las hormigas perduró por 24 horas, aproximadamente, tiempo en el cual se evaporó el atrayente, pero fue lo suficiente para que las hormigas retiraran los estados biológicos de broca del interior de los granos. En ocasiones se observó que cuando los adultos de la broca bloqueaban la entrada del orificio, las hormigas encontraron otras aberturas para, finalmente, acceder y penetrar las galerías para retirar los estados biológicos de broca. La capacidad de búsqueda de *C. crinosa* fue menor que la de *S. picea* al realizar varios e insistentes intentos de entrada a los granos brocados.

Capacidad depredadora de *Solenopsis picea* sobre frutos de café cereza asperjados con solución atrayente en árboles de café

El número de estados biológicos de broca retirados por *S. picea* por fruto de café brocado sobre ramas de café asperjadas con el atrayente fue de $9,2 \pm 1,3$ EEB en promedio durante 10 minutos de observación directa, el cual fue mayor significativamente en comparación al testigo sin aspersión (n =

10; F = 124,2; g.l. = 2; P < 0,0001) (Fig. 7A). Esta evaluación permitió comprobar que, bajo condiciones de campo, al igual que ocurrió con la evaluación con granos de café pergamino brocados en campo, *S. picea* también penetra las cerezas de café brocadas y depreda estados inmaduros de broca. No obstante, fue imposible cuantificar el número total de individuos retirados dentro de los frutos de café cereza en este bioensayo, puesto que estos frutos ya se encontraban brocados de forma natural y se desconocía el tiempo de infestación de broca y el número de estados inmaduros de broca en su interior, a diferencia del experimento con grano café pergamino brocado artificialmente infestado donde sí se conocía el tiempo de infestación y el número de EEB. Este experimento permitió de nuevo verificar el efecto atrayente del cebo que podría utilizarse para atraer las hormigas hacia los frutos brocados, manipulando el comportamiento de las obreras cuando se detectan focos de infestación de broca en los lotes de café (Fig. 7).

Además de las ventajas enunciadas para *S. picea* y *C. crinosa* se tiene que, a diferencia de otras especies de hormigas, no pican a los recolectores, son dóciles y de fácil manejo por

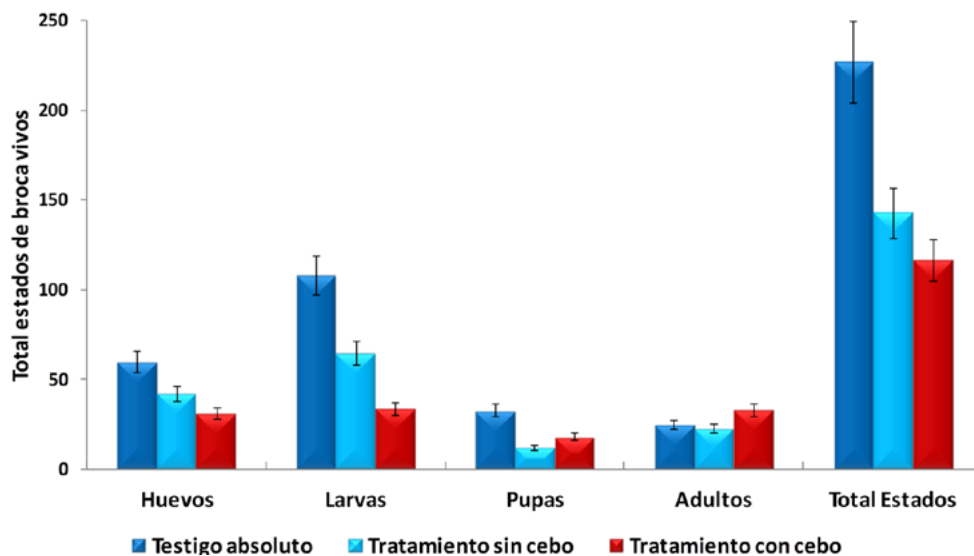


Figura 6. Promedios \pm error estándar en el incremento de la depredación de estados de broca por *Crematogaster crinosa* en granos de café brocados asperjados con cebo y sin cebo con respecto al testigo absoluto después de 24 h de expuestos los granos a las hormigas ($n = 10$).



Figura 7. A. *Solenopsis picea* transportando larvas de broca en frutos de café cereza en ramas asperjadas con atrayente. B. Docilidad de *Solenopsis picea* sobre la mano de un caficultor, especie inofensiva carente de aguijón que no pica a los recolectores de café y con potencial para su uso en control biológico de la broca del café. Enlace de los videos: <https://youtu.be/Q1itOz0lCM0>; https://youtu.be/Q_A0N12n2RY

lo que tienen potencial para su uso en cafetales para el control biológico de la broca del café (Figs. 7A y 7B, y videos). No obstante, *S. picea* es la especie que se perfila como mejor agente de control biológico. Herrera-Rangel y Armbrrecht (2007) y Armbrrecht y Gallego (2007) encontraron que el ciclo de vida de esta especie de huevo a adulto tarda aproximadamente dos meses, lo que indica una alta estabilidad de las colonias en los agroecosistemas, y un potencial de fidelidad ecológica a los territorios donde se ubican sus colonias. Dada su historia natural, esta especie podría jugar un papel importante en la función ecológica de control biológico, aunque la función depredadora de las hormigas aún no sea muy valorada por los caficultores.

Una manera de dirigir el forrajeo de las hormigas es utilizando un atrayente, idea que es uno de los mayores aportes de este estudio. Los resultados del presente estudio corroboran el potencial de las hormigas realizados en otros sistemas agro-

ecológicos (Armbrrecht y Perfecto, 2003; Gallego y Armbrrecht 2005; Philpott y Armbrrecht 2006; Armbrrecht y Gallego 2007; Vera *et al.* 2007; Gonthier *et al.* 2013; Morris y Perfecto, 2016; Escobar *et al.* 2019).

Se debe reiterar que es necesario y fundamental mantener nichos ecológicos en el cafetal (hojarasca, ramas y troncos descompuestos) para el refugio de las hormigas, de manera que se evite al máximo la aplicación de insecticidas y la siembra de árboles de sombrío en los cafetales, en sitios donde las condiciones climáticas lo requieran con la conservación de plantas nectaríferas en las calles y en los bordes del cafetal que proporcionen alimento a la fauna benéfica (Gallego y Armbrrecht 2005; Larsen y Philpott 2010). Una alternativa para que las hormigas permanezcan en cultivos a libre exposición solar, es el uso de trozos de ramas huecas o tallos de bambú o tubos de PVC cerrados en los extremos con orificios de entrada en los lados para que las hormigas encuentren

refugio (Escobar *et al.* 2019) y aniden formando colonias satélite en los cafetos, que se puedan reubicar y trasladar luego de un cafetal a otro. Estas alternativas deben ubicarse en el auto sombrío de las ramas de los árboles de café, en el tercio medio del árbol, junto al tallo principal, protegidos de los rayos solares para evitar el calentamiento de los dispositivos.

Esta estrategia de oferta de nicho ecológico, implementada dentro del método control biológico por conservación para el manejo de la broca del café y complementada con el manejo agroecológico del cafetal es fundamental para garantizar el establecimiento de hormigas depredadoras en cafetales a libre exposición solar.

Conclusiones

Aunque las dos especies de hormigas estudiadas (*C. crinosa* y *S. picea*) depredan la broca del café, *S. picea* fue la especie de hormiga más eficaz de las dos especies en depredar los estados de la broca en campo, con tasas de depredación de hasta el 78,3% y 80,2% más respecto al testigo.

La solución atrayente asperjada sobre los frutos de café brocados permitió cuantificar la capacidad depredadora de la hormiga *S. picea* sobre los estados biológicos de la broca del café en condiciones de campo. En Heredia, Costa Rica, Varón *et al.* (2004) mediante pruebas de escogencia en el laboratorio y el campo, determinaron la capacidad depredadora de *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii* y *Crematogaster torosa* sobre los estados biológicos de la broca del café. En condiciones de laboratorio, las tres especies depredaron en al menos un estado de *H. hampei*, a veces con niveles de hasta 100%. No obstante, esto no ocurrió en el campo, quizás debido a que, por sus hábitos alimentarios generalistas, las hormigas no fueron atraídas por los granos infestados con broca. En cambio, el atrayente evaluado en campo, en este estudio, fue eficaz para atraer a las hormigas hacia los granos infestados con broca al aumentar hasta un 80,2% el potencial depredador de *S. picea*, es decir un incremento de 22% en comparación al testigo no asperjado. El atrayente estimula la capacidad de búsqueda y depredación de las hormigas hacia la broca del café y representa el mayor aporte de este estudio. Esto abre la posibilidad para incluir a *S. picea* en un programa de manejo integrado de la broca del café, complementado con otras medidas de control cultural como es la recolección oportuna y el repase de frutos sobremaduros y secos que se quedan después de las cosechas tanto en el árbol como en el suelo y el mantenimiento de nichos ecológicos para estimular el establecimiento y permanencia de las hormigas depredadoras de broca en los lotes de café. Los resultados de este estudio refuerzan la importancia de identificar y cuantificar la tasa de depredación de aquellas especies de hormigas que ejercen depredación en campo, sobre una plaga como la broca del café.

Literatura citada

ARMBRECHT, I.; PERFECTO, I. 2003. Litter-twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. *Agriculture Ecosystems and Environment* 97 (1-3): 107-115. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00128-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00128-2)

ARMBRECHT, I.; GALLEGO, M. C. 2007. Testing ant predation on the coffee berry borer in shaded and sun coffee plantations in Colombia. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 124: (3) 261-267. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2007.00574.x>

BAKER, P. S. 1999. La broca del café en Colombia; Informe final del proyecto MIP para el café DFID –Cenicafé –CABI Bioscience (CNTR 93/1536A). Chinchiná (Colombia, DFID, 154 p. ISBN 958-96554-2-4.

BENAVIDES, P.; VERA, L.; GIL, Z. N. 2008. Depredadores en el control biológico. Capítulo 8. pp. 126-132. En: Bustillo, A.E. (Ed.) *Los insectos y su manejo en la caficultura Colombiana*. Cenicafé, Blanecolor Ltda, Manizales. 466 p.

BENAVIDES, P.; GIL, Z. N.; CONSTANTINO, L. M.; VILLEGAS, C.; GIRALDO, M. 2013. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei*. Tomo 2. pp. 216-224. En: *Manual del Cafetero Colombiano. Investigación y Tecnología para la Sostenibilidad de la Caficultura*. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Legis, Bogotá. 352 p.

BUSTILLO, A. E. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 32 (2): 101-116. <https://doi.org/10.25100/socolen.v32i2.9376>

BUSTILLO, A. E. 2007. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín técnico* No. 24. 2ª edición. Chinchiná, Cenicafé. 40 p. <https://biblioteca.cenicafecol.org/bitstream/10778/5791/024.pdf>

BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2002. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. *Neotropical Entomology* 31 (4): 635-639. <https://www.scielo.br/j/nea/V4YdFLyRvhBCrFnbmVdJSJ/?lang=en>

CONSTANTINO, L. M.; OLIVEROS, C. E.; BENAVIDES, P.; SERNA, C. A.; RAMÍREZ, C. A.; MEDINA, R. D.; ARCILA, A. 2017. Dispositivo recolector de frutos de café del suelo para el manejo integrado de la broca. *Cenicafé* 68 (1): 22-37. <http://hdl.handle.net/10778/813>

ESCOBAR, S. R.; GRASS, I.; ARMBRECHT, I.; TSCHARNTKE, T. 2019. Biological control of the coffee berry borer: Main natural enemies, control success, and landscape influence. *Biological Control* 136: 103992. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.05.011>

FERNÁNDEZ, F.; GUERRERO, R. J.; DELSINNE, T. 2019. Hormigas de Colombia. Universidad Nacional, Bogotá. 1200 p.

GALLEGO, M. C.; ARMBRECHT, I. 2005. Depredación por hormigas sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Curculionidae: Scolytinae) en cafetales cultivados bajo dos niveles de sombra en Colombia. *Manejo integrado de Plagas y Agroecología* 76: 32-40. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6018>

GONTHIER, D. J.; ENNIS, K.; PHILPOTT, S. M.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. 2013. Ants defend coffee from berry borer colonization. *Biocontrol* 58 (6): 815-820. <https://doi.org/10.1007/s10526-013-9541-z>

HERRERA-RANGEL, J.; ARMBRECHT, I. 2007. Ciclo de vida y potencial reproductivo de la hormiga depredadora de broca *Solenopsis cf. picea* (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Colombiana de Entomología* 33 (1): 64-69. <https://doi.org/10.25100/socolen.v33i1.9317>

JIMÉNEZ-CARMONA, E.; ARMBRECHT, I.; QUINTERO, R.; MONTOYA, J.; CONSTANTINO, L. M. 2019. Detección molecular de depredación de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) por *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 17 (1): 82-88. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/1208>

LAITON, L. A.; CONSTANTINO, L. M.; BENAVIDES, P. 2018. Capacidad depredadora de *Cathartus quadricollis* y *Ahasverus advena* (Coleoptera: Silvanidae) sobre *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) en laboratorio. *Revista Colombiana de Entomología* 44 (2): 200-205. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i2.7319>

LARSEN, A.; PHILPOTT, S. M. 2010. Twig-nesting ants: the hidden predators of the coffee berry borer in Chiapas, Mexico.

- Biotropica 42 (3): 342-347. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00603.x>
- MORRIS, J.; PERFECTO, I. 2016. Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 233 (3): 224-228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.018> doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.018>
- OFFENBERG, J. 2015. Review: Ants as tools in sustainable agriculture. *Journal of Applied Ecology* 52 (5): 1197-1205. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12496>
- PHILPOTT, S.; ARMBRECHT, I. 2006. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. *Ecological Entomology* 31 (4): 369-377. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x>
- SAS INSTITUTE. 2007. SAS User's Guide. Statistics. Version 9.1. Cary: SAS Institute.
- STYRSKY, J. D.; EUBANKS, M. D. 2007. Ecological consequences of interactions between ants and honeydew-producing insects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274 (1607): 151-164. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3701>
- VARÓN, E.; HANSON, P.; BORBÓN, O.; CARBALLO, M.; HILJE, L. 2004. Potencial de hormigas como depredadoras de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 73: 42-50. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6683>
- VÁZQUEZ, L.; ALFONSO, J.; RAMOS, Y.; MARTINEZ, A.; MORENO, D.; MATIENZO, Y. 2012. Relaciones de *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) con el suelo del cafetal como base para su manejo agroecológico. *Agroecología* 7 (1): 81-90. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/171041>
- VEGA, F. E.; INFANTE, F.; JOHNSON, A. J. 2015. The genus *Hypothenemus*, with emphasis on *H. hampei*, the coffee berry borer. pp. 427-494. En: Vega, F. E., Hofstetter, R. W. (Eds). Chapter 11. *Bark beetles: Biology and ecology of native and invasive species*, Academic Press, Londres. 650 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417156-5.00011-3>
- VERA, L.; GIL, Z. N.; BENAVIDES, P. 2007. Identificación de enemigos naturales de *Hypothenemus hampei* en la zona cafetera central colombiana. *Cenicafé* 58 (3): 185-195. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc058\(03\)185-195.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc058(03)185-195.pdf)
- VÉLEZ, M.; BUSTILLO, A. E.; POSADA, F. J. 2001. Hormigas de la zona central cafetera y perspectivas de su uso en el control de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *Resúmenes XXVIII Congreso* (ed. Sociedad Colombiana de Entomología), Pereira, Colombia. <http://www.scielo.org.co/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S0120-0488200700010001100027&lng=en&pid=S0120-04882007000100011>
- VÉLEZ, M.; BUSTILLO, A. E.; POSADA, F. J. 2006. Depredación de *Hypothenemus hampei* por hormigas durante el secado solar del café. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 77: 62-69. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6017>

Origen y financiación

Recursos propios. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia-FNC y Cenicafé.

Contribución de los autores

El primer autor escribió la propuesta y el manuscrito y realizó las evaluaciones y análisis de datos. El segundo autor coordinó la investigación y desarrollo del trabajo. La tercera autora apoyó en las evaluaciones de campo y en la identificación de las especies. El cuarto y quinto autor participaron en la elaboración del convenio y propuesta de trabajo entre UV y Cenicafé. Todos los autores revisaron y aportaron al manuscrito final.

Conflictos de interés

Los autores que participaron en esta publicación hicieron contribuciones significativas al manuscrito; todos los autores están de acuerdo y expresan que no hay conflictos de intereses en este estudio.