



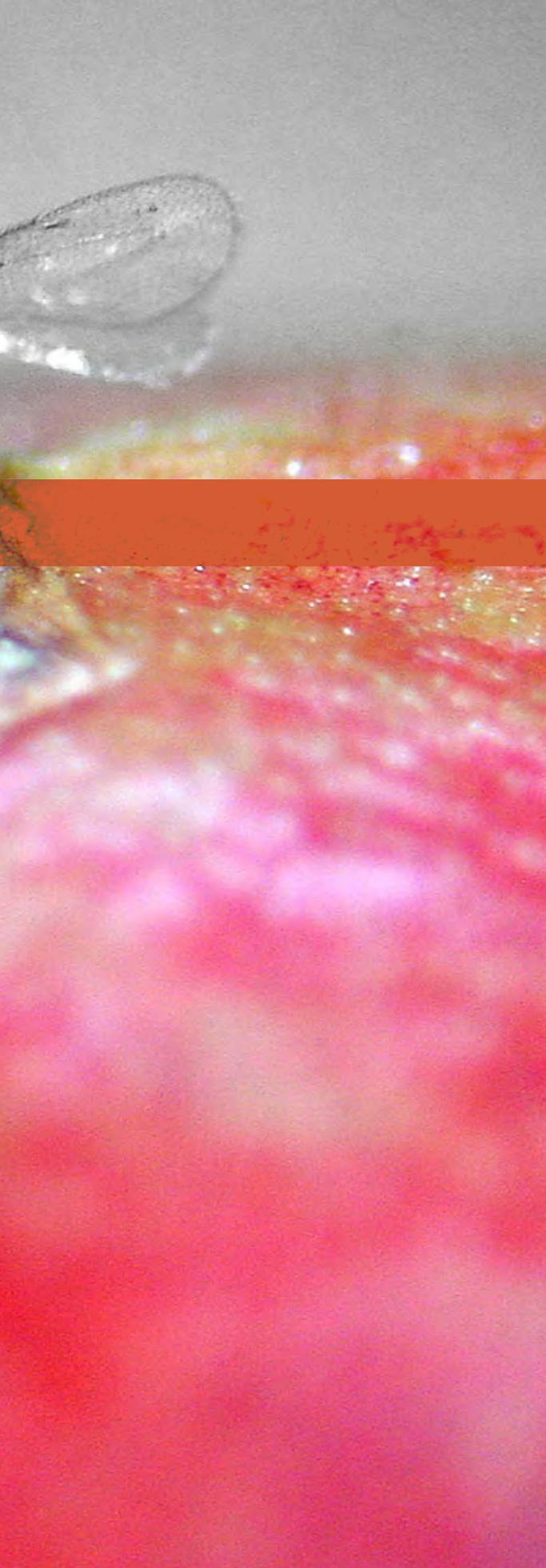
El uso de controladores naturales en estrategias de manejo integrado de plagas a gran escala

Pablo Benavides Machado*

*Investigador Científico III, Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café
<https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>

Como citar:

Benavides Machado, P. (2020). El uso de enemigos naturales en estrategias de manejo integrado de plagas a gran escala. En P. Benavides Machado & C. E. Góngora (Eds.), *El Control Natural de Insectos en el Ecosistema Cafetero Colombiano* (pp. 204-220). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0001_9



Definición de manejo integrado de plagas a gran escala

Complementando el concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP) en fincas, el Manejo Integrado a Gran Escala (AW-IPM por sus siglas en inglés *Area-Wide Integrated Pest Management*), se define como el manejo de la población total de una plaga dentro de un área limitada (Hendrichs et al., 2007). Se conoce también como la interacción de varias estrategias de control con el fin de atacar toda la población de un insecto plaga en un área geográfica delimitada (Klassen, 2005). El resultado será el control de la plaga por largos períodos de tiempo. Adicionalmente, contrario al control individual por lotes, ayuda a suprimir la plaga en cultivos abandonados o que se encuentran protegidos en hospedantes alternos (Klassen, 2005). El AW-IPM es mejor aceptado para el manejo de insectos móviles; en general, se ha usado para el control de plagas del ganado, vectores de enfermedades en humanos y en cultivos de alto valor económico que no toleran bajos niveles de infestación por alguna plaga (Hendrichs et al., 2007). De un programa AW-IPM puede esperarse supresión, contención, prevención y eventualmente erradicación (Vreysen et al., 2007).

El MIP se usa en fincas, de manera independiente, sin coordinación con los vecinos, incluso en regiones donde pequeños agricultores cultivan la misma especie botánica, es decir, áreas extensas del mismo cultivo que pertenecen a cientos de propietarios. A pequeña escala, el MIP requiere de medidas de control cada vez que el insecto alcanza ciertos límites de población, siendo insuficiente para contener plagas clave muy móviles, agresivas y limitantes de producción y calidad. En contraste, el AW-IPM toma áreas más extensas con la finalidad de suprimir o erradicar poblaciones (Hendrichs et al., 2007). Son sinónimos de AW-IPM el manejo de

poblaciones a nivel de paisaje, a gran escala, preventivo y totales; su significado traduce en Grandes Áreas. Los ejemplos del uso de esta estrategia AW-IPM se remontan a muchos años atrás, los ejemplos incluyen: 1. El control del piojo de las ratas *Xenopsylla cheopis* (Rothschild 1903) causante de la transmisión de fiebre bubónica en Europa; 2. El control de la polilla gitana Gypsy moth *Lymantria dispar* (L) entre 1890 y 1901 en Massachusetts; 3. El control que conllevó a la erradicación de especies de garrapatas por 37 años en el Sur de los Estados Unidos (Hendrichs et al., 2007).

La implementación de un manejo de plaga bajo el enfoque de “Area-wide” es a largo plazo, se aplica sobre un área geográfica definida y busca que la plaga se mantenga por debajo del nivel de daño económico. Sería implementado mejor en regiones rurales donde el número de agricultores sea pequeño, con baja heterogeneidad agroecológica y donde el manejo a gran escala de una plaga clave sea más efectivo y con ventajas sobre un manejo individual por finca, de manera descoordinada. El impacto económico juega un papel fundamental para que los agricultores se unan a un programa de control de plagas a gran escala (Hendrichs et al., 2007).

En Colombia este concepto puede aplicarse para el manejo de la broca del café, donde el uso masivo de parasitoides y controladores biológicos permitirían disminuir las poblaciones de la plaga en áreas extensas de mayor vulnerabilidad al insecto. En este capítulo se presenta una propuesta para la aplicación del manejo integrado de la broca del café a gran escala.

Requerimientos para establecer una estrategia de control en grandes áreas

El establecimiento de programas de manejo integrado de plagas a gran escala requiere de ciertos pasos sistemáticos para que sea exitoso. Inicialmente involucra el compromiso

de varios actores como los productores, los consumidores, las asociaciones, los entes públicos, los investigadores, la industria y los agentes de extensión, entre otros. Para lograr un acuerdo es indispensable que exista un estudio de factibilidad que contenga análisis de costos y beneficios, riesgos y formas de mitigarlos, necesidades de recursos e infraestructura y soporte técnico, que asegure el éxito del programa (Hendrichs et al., 2007).

Las actividades previas a un proyecto de AW-IPM deben considerar el conocimiento que proviene de resultados de ciencias básicas y aplicadas, de tal manera que se provean nuevas herramientas y tecnologías (Hendrichs et al., 2007). Para esto debe considerarse la selección de los tipos de control de plagas compatibles que puedan combinarse en áreas extensas, la identificación de nuevas especies de biocontroladores o la importación cría y liberación de enemigos naturales desde el centro de origen, el desarrollo de técnicas de cría de parasitoides y depredadores en confinamiento, el mejoramiento genético de especies de insectos el cual podría incluir transformación, el desarrollo y evaluación de técnicas de aspersión, así como de nuevos productos insecticidas, ya sean químicos, botánicos o biológicos.

Los programas AW-IPM requieren de estudios piloto que integren prácticas de control y permitan identificar los retos (Hendrichs et al., 2007). Es imperioso validar la tecnología antes de invertir en infraestructura.

En conclusión, se requeriría de la conformación de un grupo de trabajo que coordine la colaboración entre investigadores, extensionistas, líderes de la comunidad, líderes agrícolas, responsables de los asuntos medio ambientales, productores y la institucionalidad, para llevar a cabo pruebas piloto que provean los estudios de factibilidad técnica y económica. Sobre esta base podría establecerse un programa AW-IPM.

Los retos técnicos a enfrentar y los antecedentes para establecer un programa AW-IPM en Colombia serían:



Determinar la plaga clave

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) es la plaga más agresiva de la caficultura mundial. En Colombia, las condiciones climáticas de la zona cafetera aseguran la disponibilidad permanente de frutos para el desarrollo de la plaga (Bustillo, 2008). Son incalculables los daños que el insecto ha ocasionado a la caficultura colombiana desde su llegada al país en 1988, ya que afecta directamente el grano, disminuye la producción, la calidad y los ingresos de los caficultores (Benavides et al., 2012; Bustillo et al., 1998). A pesar de que en Colombia el insecto se mantiene en niveles tolerables, debido a la implementación de una estrategia de manejo integrado con énfasis en control cultural (Bustillo, 2007), el problema persiste, los costos del control aumentan y la presión de la broca hace que en ocasiones la actividad cafetera se convierta en un reto económico. Con respecto a los costos para controlar la broca en Colombia, Duque y Baker (2003) calculan que estos ascenderían a 16 millones de dólares anuales si se controla la broca a niveles de 3% de infestación. Si la producción nacional tuviera un daño de 10%, las pérdidas serían de U\$66 millones; pero si la broca no fuera controlada, los daños podrían estimarse en 25% de cerezas dañadas con pérdidas por U\$180 millones. Si se asume que el costo por controlar la broca y mantenerla a 5% es de U\$100 por hectárea, entonces el costo de controlarla en 500.000 hectáreas sería de U\$50 millones. Si a esto se le suman las pérdidas causadas por ese 5% de broca, las pérdidas serían de U\$75 millones por año.

Definir las áreas geográficas donde se establecerá el programa AW-IPM

La broca del café afecta en mayor intensidad la caficultura colombiana que tiene una temperatura media anual que supera los 21°C (Constantino, 2010). Se ha estimado que el 7% de la caficultura de Colombia es vulnerable al ataque de la broca (Ramírez et al., 2014). Un programa AW-IPM deberá concentrarse en estos lugares. Regionalmente, los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío

y Valle del Cauca han sido los más afectados por este insecto.

Obtener el estado del arte sobre la biología y la ecología para entender la plaga y los biocontroladores

Desde la llegada de la broca en 1988, Cenicafé inició esfuerzos de investigación para entender la biología y comportamiento de la broca del café (Benavides et al., 2013; Benavides et al., 2012; Bustillo, 2007; Bustillo et al., 1998). Se importaron, criaron y evaluaron en el laboratorio y el campo parasitoides de origen africano para el control clásico de esta plaga en Colombia (Benavides et al., 2012) y se han identificado los enemigos naturales nativos que podrían ser usados en programas de manejo integrado (Benavides et al., 2013; Cruz et al., 2006; Góngora, 2008; Vera-Montoya et al., 2008). En Colombia se liberaron tres especies de parasitoides de origen africano entre los años 1994 y 2000: 1.845 millones de *Cephalonomia stephanoderis*, la avispa de Costa de Marfil traída en 1989; 516 millones de *Prorops nasuta*, la avispa de Uganda que llegó en 1990; dos millones de *Phymastichus coffea*, la avispa de Togo la cual fue importada en 1996 (Maldonado & Benavides, 2007) y de la cual Colombia cuenta con la única colonia en el mundo (Barrera et al., 2018; Benavides et al., 2012) con una cría mantenida por Biocafé (<http://avispitas.blogspot.com>). Solo se registra a *P. nasuta* establecida en la caficultura colombiana (Maldonado & Benavides, 2007; Rivera et al., 2014). Adicionalmente, se encontró al hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* ocasionando control natural de la broca en las plantaciones de Colombia (Velez & Benavides, 1990), el cual ha sido usado para su manejo en el campo (Benavides et al., 2012; Cruz et al., 2006; Góngora, 2008; Jaramillo et al., 2015); así como los depredadores *Ahasverus advena* y *Cathartus quadricollis* (Laiton et al., 2018) que presentan potencial de uso en el campo (Follett et al., 2016). Estos controladores biológicos serían candidatos para ser usados en una estrategia de manejo integrado de la broca a gran escala en Colombia.

Una estrategia AW-IPM podría ser planteada a partir de los parasitoides africanos. *P. coffea* fue descubierta en Togo en 1987 (Borbón, 1989) y descrita por LaSalle (1990). Algunos aspectos sobre la biología de este parasitoide han sido descritos por Feldhege (1992) e Infante (1994). *P. coffea* parasita las hembras de broca cuando se encuentran penetrando el fruto de café, ovipositan dos o más huevos dentro del insecto y usualmente un macho y una hembra del parasitoide se desarrollan en el huésped. Después de ser paralizada y parasitada, la broca deja de ovipositar y muere después de 12 días (Feldhege, 1992; Infante et al., 1994).

C. stephanoderis y *P. nasuta* depredan adultos, huevos y larvas de primer instar de la broca, parasitando las pre-pupas y pupas (Benavides, 2008). En Colombia se ha estudiado la biología de estas avispas en el laboratorio y el campo (Benavides et al., 1994; Benavides, 2008; Jaramillo et al., 2006; Maldonado & Benavides, 2007; Rivera et al., 2014; Vergara et al., 2001a, 2001b).

Adicionalmente, el hongo *B. bassiana* podría ser usado cuando los adultos de la broca se encuentran colonizando los frutos verdes en el campo siguiendo las recomendaciones para el control químico (Góngora-Botero et al., 2009), debido a su acción sobre las brocas que están volando de los frutos del suelo y aquellas que se encuentran atacando los frutos de cosecha (Jaramillo et al., 2015). Los depredadores logran entrar por las perforaciones realizadas por la broca y disminuir la población al interior de los frutos de café (Laiton et al., 2018).

Conocer la dispersión de la plaga en el campo

Los momentos de mayor dispersión de la broca en cafetales de Colombia ocurren durante la renovación de los cafetales (Castaño et al., 2005). Se ha estimado que vuelan alrededor de 2,6 a 3,6 millones de adultos de broca por hectárea de café eliminado, estos adultos podrían volar por kilómetros si se considera la velocidad y la dirección de los vientos.

Otras actividades que mayor cantidad de adultos de broca dispersan son la recolección y el beneficio del café, durante el tiempo de cosecha (Castro et al., 1998; Moreno et al., 2001). En plantaciones establecidas, la broca se dispersa a máximo 65 m de distancia y el 90% de los insectos que vuelan se quedan en los frutos de los árboles localizados en los 40 m circundantes (Gil et al., 2015).

Desarrollar e integrar las estrategias de control para que sean compatibles

El manejo integrado de la broca en Colombia se basa en la implementación de estrategias de control cultural, químico y biológico de acuerdo a la fenología del cultivo y al comportamiento del insecto en el campo (Benavides et al., 2002; Benavides et al., 2013; Bustillo, 2007).

Asegurar que las estrategias de control puedan usarse a gran escala

El control biológico mediante la utilización de parasitoides, depredadores y entomopatógenos sería una alternativa para el control de esta plaga a gran escala. Un establecimiento permanente de *P. coffea* en el campo se considera difícil debido a la corta longevidad de los parasitoides adultos y la limitada disponibilidad temporal de hospedantes, ya que parasita específicamente adultos de broca que no han alcanzado el endospermo en las cerezas del café (Benavides et al., 2012). De esta manera, una estrategia de liberación inundativa de este parasitoide podría reemplazar las aspersiones de insecticidas químicos.

La condición necesaria para lograrlo sería la implementación de una metodología para la producción masiva de la broca y sus parasitoides sobre dietas artificiales, la cual se encuentra actualmente disponible (Giraldo & Parra, 2018; Portilla & Streett, 2008; Portilla, 1999a, 1999b; Portilla & Streett, 2006). A pesar de que existe la metodología para producir la broca sobre café pergamino húmedo (Bustillo et al., 1996;



Portilla & Bustillo, 1995), las dietas artificiales permiten disminuir los costos de producción a niveles que hacen posible hacerlo a escala industrial (Portilla & Streett, 2006). Mientras la metodología con grano en pergamino y cerezas de café permiten producir 1.000 avispas con 1,5 a 5,4 dólares, con dietas artificiales se lograría una reducción a 0,25 dólares (Portilla, 1999b). Modificaciones a la dieta anterior, incluso disminuirían el costo de producir broca hasta en 45% (Giraldo & Parra, 2018); adicionalmente, los parasitoides *P. nasuta* y *C. stephanoderis* pueden ser producidos sobre broca criada en dietas artificiales (Portilla & Streett, 2008; Portilla, 1999b; Portilla & Streett, 2006).

El hongo *B. bassiana* es producido por varios laboratorios y se recomienda como un insecticida biológico en el control de la broca del café en Colombia (Góngora-Botero et al., 2009) y los depredadores para el control de la broca, aunque eficaces en reducir poblaciones de la plaga en el laboratorio (Laiton et al., 2018), requieren de mayor investigación para poder ser incluidos en una estrategia de control a gran escala.

Desarrollar las estrategias para una efectiva implementación de AW-IPM

Esta estrategia se propone para Colombia donde existen los estudios previos de biología, ecología, comportamiento y establecimiento de la broca, conocimiento sobre los parasitoides africanos y el entomopatógeno *B. bassiana*. De plantearse una estrategia AW-IPM para otra región geográfica, se requeriría el conocimiento local del comportamiento de la plaga y sus controladores. Tal es el caso de Centroamérica, donde 30 años después de introducidas las mismas especies de parasitoides africanos, se encontró que *P. nasuta* y *P. coffea* no se establecieron en el campo, mientras que *C. stephanoderis* pudo registrarse hasta en el 68% de los cafetales de México, con parasitismos hasta del 26% en condiciones naturales (Barrera et al., 2018).

Diseño para el control de la broca del café en Colombia mediante el establecimiento de una estrategia de control a gran escala, con énfasis en enemigos naturales

El objetivo inicial de la introducción de parasitoides africanos en las Américas y las islas del Caribe hace 30 años, para el control de la broca del café, fue el de lograr el establecimiento de los mismos en las condiciones agroecológicas nuevas. Se esperaba su contribución como biocontroladores en una estrategia de control natural una vez se adaptaran en el campo. Estos parasitoides y la presencia del hongo entomopatógeno *B. bassiana* serían suficientes para mantener el balance ecológico y la broca bajo control, de forma similar que en su centro de origen. Sin embargo, el establecimiento de los parasitoides fue parcial en la Américas, reportándose *P. nasuta* adaptado en el campo en Colombia y *C. stephanoderis* en Mesoamérica. *P. coffea* no se recuperó después de las liberaciones. Ante este escenario, la manera más expedita para usar los controladores naturales efectivamente sería en una estrategia AW-IPM.

Para implementar un programa de manejo integrado de la broca del café en grandes áreas en Colombia se requeriría:

1. Recuperar del campo e incrementar colonias de los parasitoides africanos *P. nasuta* y *C. stephanoderis* y vigorizar *P. coffea*, mantenidas en cría en el laboratorio.
2. Producir la broca en dietas artificiales a pequeña escala y criar los parasitoides sobre estos insectos.

3. Liberar masivamente los parasitoides en áreas pequeñas para el control de la broca y evaluar el impacto de estas prácticas a manera de prueba piloto.
4. Establecer la factibilidad técnica y económica de la construcción y puesta en marcha de una bioplanta para la producción masiva de los parasitoides africanos para ser usados en el control de la broca en Colombia.

Recuperación e incremento de las colonias de los parasitoides africanos *Phymastichus coffea*, *Prorops nasuta* y *Cephalonomia stephanoderis*

El laboratorio Biocafé posee en Colombia colonias de los parasitoides *P. coffea*, *P. nasuta* y *C. stephanoderis*. A su vez, es posible recuperar de campo las poblaciones de *P. nasuta* (Maldonado & Benavides, 2007) y *C. stephanoderis* (Benavides et al., 1994; Quintero et al., 1998). Dado que es necesario aumentar y mantener el vigor genético de las colonias de parasitoides, deberán criarse de manera independiente las poblaciones de laboratorio y campo. Adicionalmente, se recomienda liberar y capturar de nuevo los parasitoides con el fin de mantener sus hábitos de búsqueda y lograr parasitación en condiciones naturales. El potencial de controlador natural de las avispas se obtiene mediante los porcentajes de parasitismo y la recuperación de descendencia en diferentes campos experimentales. Las recolecciones de campo tienen como finalidad introducir en las colonias mantenidas en el laboratorio un *pool* de genes diferentes, procedentes de poblaciones establecidas en el campo, para lo cual se visitan los lugares donde los individuos fueron liberados hace más tiempo (Benavides et al., 1994; Quintero et al., 1998). Estas muestras deberán mantenerse separadas, como poblaciones diferenciales en el laboratorio. Debe medirse la frecuencia de marcadores morfológicos de estas poblaciones y se compararse con materiales depositados en colecciones entomológicas, como el Museo

Entomológico Marcial Benavides MEMB, el cual contiene ejemplares de los parasitoides introducidos a Colombia.

Adicionalmente, es recomendable realizar estudios moleculares para determinar la variabilidad genética de las poblaciones de laboratorio y establecer estrategias de introducción de un nuevo *pool* de genes de colonias mantenidas en otros países o del lugar de origen de las especies. Finalmente, se producen los parasitoides sobre brocas obtenidas en dietas artificiales (Portilla & Streett, 2006) o café pergamino (Bustillo et al., 1996) para la posterior liberación y evaluación de desempeño biológico.

Producción a pequeña escala de la broca en dietas artificiales y cría de los parasitoides

Para llevar a cabo esta actividad debe criarse la broca en dieta artificial y establecer las condiciones para la producción de las tres especies de avispas parasitoides. Cenicafé inició estudios para el desarrollo de métodos de cría de broca del café y parasitoides desde 1989 (Benavides & Portilla, 1990; Bustillo et al., 1996; Orozco & Aristizábal, 1996; Portilla & Bustillo, 1995). Posteriormente se desarrolló una dieta artificial para producir la broca del café, de tal manera que pudieran criarse masivamente los parasitoides africanos (Portilla, 1999a, 1999b; Portilla & Streett, 2006). Estas dietas deben ser evaluadas periódicamente y modificadas para sustituir ingredientes de alto costo. Una vez criadas las brocas en las dietas, se obtienen los parámetros de la tabla de vida del insecto a temperatura óptima de 25°C, con el fin de conocer los momentos de producción máxima de presas (huevos, larvas de primer instar y brocas adultas) para las avispas adultas y de estados inmaduros de la broca, para que se desarrollen las larvas que realizan parasitación, para el caso de producción de los betílidos. Adicionalmente, deberá desarrollarse la producción de adultos de broca para la parasitación de los adultos de *P. coffea*. Luego, deben establecerse las



condiciones para la cría y producción de las avispas parasitoides sobre las brocas criadas en dieta artificial.

Para criar *P. coffea* se usa la dieta denominada MP (Portilla & Streett, 2008), la cual proporciona las condiciones necesarias para mantener las brocas adultas parasitadas durante el ciclo de vida de las avispas. Para *P. nasuta* y *C. stephanoderis* se requieren larvas y pre-pupas de la broca del café, para la cría de estas sobre los estados inmaduros de la broca. Con este procedimiento se registran los costos de cría de las brocas y sus parasitoides para construir la estructura que permita hacer un análisis económico y determinar el valor unitario de producción de los enemigos naturales.

Liberaciones masivas de parasitoides para el control de la broca del café

Con el fin de obtener los resultados esperados debe realizarse una prueba piloto, una aproximación a los conceptos de ecología de metapoblaciones (Hanski, 1999) y su aplicación en estrategias de control de plagas a gran escala (Gilioli & Baumgärtner, 2013).

Brevemente, esta prueba consiste en que se identifiquen regiones geográficas con áreas de alta dispersión de broca, como la renovación de cafetales, a partir de los cuales se dispersan millones de adultos, en períodos de 70 días (Castaño et al., 2005) y zonas adyacentes de baja dispersión donde ocurren procesos de alta colonización, como cafetales jóvenes que comienzan a formar los primeros frutos. Las liberaciones masivas de parasitoides en el campo, se realizarían así (Figura 37): en los cafetales de alta dispersión se libera *C. stephanoderis* un mes antes de la renovación, en una proporción de 1:1, es decir, un adulto de la avispa por un fruto infestado, o *P. nasuta* 1:3, con el fin de disminuir las poblaciones de la broca que posteriormente volarían hacia los cafetales vecinos. Posteriormente, se realiza la liberación de *P. coffea*, durante las siguientes semanas y durante el período crítico del fruto hasta la cosecha principal en los cafetales de baja dispersión, con el fin de controlar la broca al vuelo que se encuentra infestando los frutos. Estas liberaciones serían con una proporción de un parasitoide por cada cinco frutos que tengan brocas en posiciones de entrada. Finalmente, se liberan individuos de *P. nasuta* durante la maduración de los frutos de cosecha principal, con el fin de permitir el establecimiento de sus poblaciones para contribuir al control natural de la broca durante la cosecha principal. De

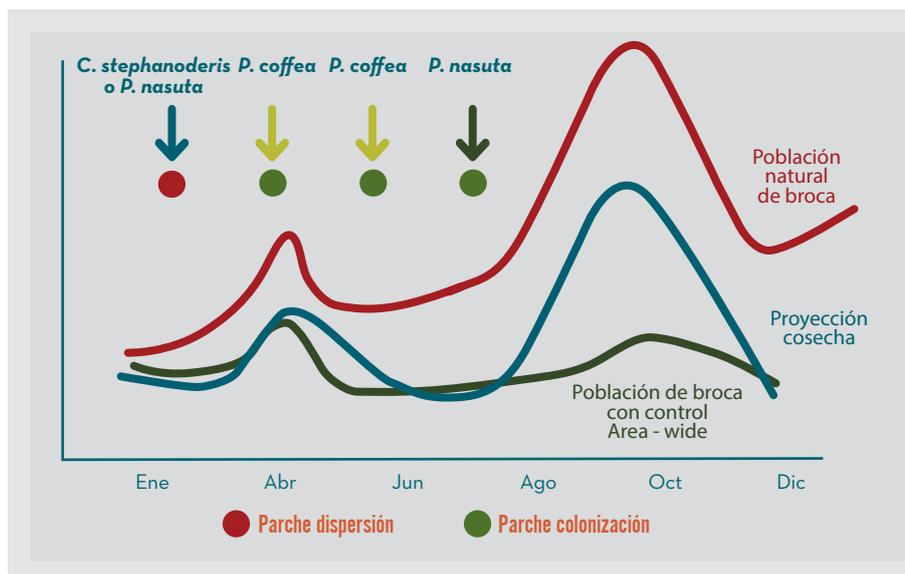


Figura 37. Estrategia de liberaciones masivas de parasitoides para el control de la broca del café a gran escala.



manera complementaria, se asperja el hongo *B. bassiana* en formulaciones comerciales, asegurando una concentración de 2×10^{10} esporas/L de agua, si la infestación por broca supera el 2% en el campo y si al menos el 50% de las brocas se encuentran en posición de entrada al fruto, durante el período crítico de ataque de la broca (120 días después de la floración principal) (Góngora-Botero et al., 2009). Deberán asegurarse altas humedades en el campo para usar este producto comercial.

En la prueba piloto se seleccionará una localidad en donde pueda demostrarse que esta estrategia funciona a menor escala, de tal manera que se determinen las condiciones para poder escalar a áreas geográficas mayores. La finalidad es poder predecir la eficiencia del programa y la factibilidad económica. El incremento en tamaños de áreas sería paulatino e iría desde una finca de al menos 20 hectáreas hasta el conjunto de estas en veredas, luego municipios y, finalmente, departamentos. Las liberaciones de parasitoides necesariamente requerirán una estimación de la cantidad de frutos infestados por la plaga en el campo y la posición de entrada del insecto al fruto.

Los pasos para establecer la prueba piloto serían los siguientes:

- ♦ Seleccionar una localidad de alta vulnerabilidad a la broca con una temperatura media anual mayor a 21°C (Ramírez et al., 2014) y escoger un lote de café mayor de siete años que será renovado (parche de dispersión). A partir de esta área, se identificarán cafetales de menos de 24 meses de sembrado (parche de colonización) a distancias no mayores de 200 m. Así quedaría definida el área a gran escala de la prueba piloto.
- ♦ En el parche de dispersión, dos semanas antes de la eliminación de las ramas en la renovación, se libera un adulto de *C. stephanoderis* por cada fruto infestado por la broca o un adulto de *P. nasuta* por cada tres frutos infestados. Estas proporciones se basan en resultados de investigaciones previas en las que se registró menor eficiencia de *C. stephanoderis* en condiciones de campo (Quintero et al., 1998). Para estimar el número de individuos de parasitoides a liberar, en 60 árboles seleccionados de manera sistemática, se contabiliza el número de ramas con frutos y el total de frutos por rama y aquellos frutos infestados en una rama productiva. Con esta información se estima el parámetro del total de frutos infestados en el lote, teniendo como referencia el límite superior del intervalo de dicha estimación, se obtiene la estimación de avispa a liberar dividiendo en tres o uno, de acuerdo a la especie del parasitoide.
- ♦ Dos semanas después de la renovación, se libera *P. coffea* en el parche de colonización, en una cantidad de una avispa por cada cinco frutos con broca en posición de entrada. Para estimar la cantidad de avispa a liberar, se cuantifican los frutos con broca perforando, en un procedimiento similar al descrito anteriormente, contabilizando frutos con broca recién infestando en una rama productiva por árbol seleccionado y el total de ramas con frutos. Este procedimiento se realizaría cada 20 días hasta la cosecha principal.
- ♦ Si en el parche de colonización, una vez terminada la cosecha de mitaca, ya se encuentra la cosecha principal en período crítico de ataque de la broca (más de 120 días después de la floración principal), la infestación por broca supera el 2% y más del 50% de los adultos están en posición de entrada al fruto (entrando al fruto y en el canal de entrada), se aplicará el hongo *B. bassiana* en una concentración de 2×10^{10} esporas/L de agua, de una formulación comercial con prueba de calidad que garantice germinación a las 24 horas y pureza mayor a 90%.
- ♦ Si en el parche de colonización, una vez terminada la cosecha mitaca y faltando más de dos meses para la cosecha

principal, la infestación por broca supera el 2% y la broca se encuentra en más del 50% al interior de las almendras, se liberará *P. nasuta* en proporción de una avispa por cada tres granos perforados por broca. Para estimar el número a liberar, se estima la cantidad de frutos infestados como se describió previamente.

- ♦ En el momento de iniciar la liberación de avispas en el parche de dispersión, se inicia con la evaluación de infestación en el parche de colonización a través de un muestreo aleatorio seleccionando 60 árboles cada mes, contabilizando los frutos totales e infestados en la rama más productiva.
- ♦ Con el fin de confirmar el alcance de la estrategia de manejo integrado a gran escala, en esta prueba piloto, se hará el mismo procedimiento y evaluación descrito para el parche de colonización en otra localidad cercana, pero sin liberación de parasitoides.

Estudio de factibilidad técnica para el establecimiento de una estrategia de manejo integrado de la broca del café a gran escala en Colombia

El propósito final de un programa AW-IPM será la producción y liberación masiva de enemigos naturales para disminuir las poblaciones de la broca, en regiones geográficas con cafetales vulnerables y así contener los efectos negativos en la producción y la calidad del café. Conocer el número total de parasitoides por región geográfica y el costo unitario de producción de estas avispas será clave para el éxito de la estrategia. Para esto, deberá considerarse el costo de la construcción y puesta en marcha de una bioplinta, donde pueda producirse la broca de manera masiva y sobre esta los parasitoides africanos. El estudio de factibilidad técnica aborda este objetivo y se realiza con la información de los resultados

de la producción de los insectos en el laboratorio y su desempeño en el campo, para realizar una evaluación *ex-ante* donde se realizará la proyección de actividades, costos y logros esperados.

Los retos adicionales que deben presumirse para lograr el objetivo de establecer un programa AW-IPM son:

- ♦ Obtener el compromiso de todos los actores, públicos o privados, que apoyen, participen y financien la estrategia. Deberán considerarse las convocatorias de Colciencias y Ministerio de Medio Ambiente y Agricultura y Desarrollo Rural, que cofinancien proyectos de desarrollo tecnológico.
- ♦ Adelantar los estudios de factibilidad técnica y financiera.
- ♦ Identificar los posibles riesgos y la forma de mitigarlos.
- ♦ Desarrollar un plan de negocios para el programa. Este plan es fundamental para la participación en convocatorias públicas.
- ♦ Establecer una organización efectiva con personal de tiempo completo, que coordine e implemente el programa. Podría considerarse el establecimiento de empresas agrícolas en el sector rural, que puedan acceder a los recursos públicos y presten el servicio a sus comunidades.
- ♦ Implementar un plan de entrenamiento. Los investigadores deberán mantener un programa de capacitación para la cría y producción masiva de los controladores naturales.
- ♦ Establecer una línea de comunicación entre los actores.
- ♦ Establecer un sistema de evaluación del programa.
- ♦ Obtener soporte de investigación permanente al programa.

Ejemplos actuales de AW-IPM

Las enfermedades en humanos transmitidas por mosquitos del género *Aedes* se ha incrementado de manera notoria en los últimos 50 años. El virus del dengue infecta alrededor de 400 millones de personas cada año (Bhatt et al., 2013). El método más novedoso para controlar los mosquitos que transmiten enfermedades en humanos contempla la cría y liberación de un alto número de machos, que no permitan producir descendencia viable cuando se aparean con las hembras silvestres. Esto se ha logrado mediante la técnica del macho estéril o la del insecto incompatible. Adicionalmente, estrategias más recientes incluyen la liberación de insectos conteniendo la bacteria endosimbionte *Wolbachia pipientis*, la cual bloquea la transmisión de virus, como zika o dengue. El sistema funciona a través de la incompatibilidad citoplasmática que ocasionan los machos infectados con la bacteria en la población de hembras silvestres, de tal manera que estas últimas quedan estériles (Flores & O'Neill, 2018). Esta técnica de mosquitos infectados con *Wolbachia* está siendo usada en estrategias a gran escala en Brasil, Colombia, Indonesia, Panamá y Australia, en donde se cubren áreas geográficas conteniendo alrededor de dos millones de habitantes (Flores & O'Neill, 2018).

Otro ejemplo del uso de estrategias AW-IPM incluye la liberación de mosquitos Oxitech (Flores & O'Neill, 2018). Son mosquitos modificados genéticamente, que sobreviven únicamente cuando se alimentan sobre dietas conteniendo el antibiótico tetraciclina y mueren en ausencia de este ingrediente en su vida libre, en el campo; sin embargo, pueden cruzarse antes de su muerte con hembras silvestres y transmitir a su descendencia esta limitación. La descendencia, en ausencia de la tetraciclina, termina en muerte del último estado larval. Estos mosquitos han sido liberados en Brasil e Islas Caimán, donde

se reporta reducción de 80% y 95% de la población de mosquitos, comparado con áreas sin liberaciones.

En 1999, el Servicio de Investigaciones de Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-ARS por sus siglas en inglés), inició un programa AW-IPM en Hawái para la supresión de las moscas de las frutas del melón *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), la mosca del mediterráneo *Ceratitis capitata* (Wiedemann) y la mosca oriental de las frutas *B. dorsalis* (Hendel) (Mau et al., 2007). El objetivo fue reducir las poblaciones de las plagas por debajo del nivel de daño económico y disminuir las aplicaciones de insecticidas organofosforados. Las pruebas piloto se llevaron a cabo en áreas de menos de 5.000 hectáreas en las islas de Hawái, Maui y Oahu. Las estrategias de control que fueron exitosas combinaron el control cultural, la aplicación de cebos con spinosad y las capturas de insectos en trampas atrayentes. Los beneficios económicos se midieron con un retorno de uno a seis, es decir, los beneficios obtenidos fueron seis veces el costo del control.

En otro programa se establecieron áreas libres y de baja prevalencia de moscas de las frutas en siete países de Centroamérica (Reyes et al., 2007). Este programa requirió de la participación de cinco ministerios de agricultura y dos instituciones donantes. Permitted la exportación de tomate y pimentón desde áreas de baja prevalencia de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica, y de papaya de un área libre de plaga en Guatemala sin necesidad de cuarentena. Lastimosamente el programa no continuó debido a que las alianzas entre las organizaciones internacionales y los donantes fue débil, faltó coordinación entre los productores y los gobiernos locales en los países participantes, el personal capacitado de los institutos de fitosanidad que acompañaban el programa disminuyó y la financiación de los sectores públicos y privados para extender el programa a nuevas y mayores áreas fue insuficiente.



Consideraciones finales

El manejo integrado a gran escala de la broca del café podría ser llevado a cabo en Colombia. La adopción de este programa puede ser un proceso gradual, que inicie a nivel de campo con comunidades, de tal manera que, si existen condiciones sociales, políticas y económicas favorables, se movería a áreas geográficas extensas. El objetivo del programa AW-IPM, a pesar de que podría ser posible la erradicación, en el caso de la broca en Colombia, tendría una finalidad de supresión con efectos a mediano plazo. De esta manera, el programa debería ser de largo alcance, dado que la liberación de parasitoides tendría que realizarse de manera permanente por períodos mayores a los cinco años. Ejemplos del impacto que esta estrategia puede llegar a tener en áreas geográficas muy extensas en esfuerzos sostenidos, son la erradicación de la malaria en 37 países de África mediante un programa de 15 años que lideró la Organización Mundial de la Salud desde 1955, la implementación de un control biológico clásico con la introducción del parasitoide *Epidinocarsis lopezi* DeSantis desde Paraguay hasta 38 países de África que mantiene la cochinilla de la yuca bajo control (Hendrichs et al., 2007) y la erradicación de *Cochliomya hominivorax* (Coquerel) que inició en Florida (Estados Unidos) en 1957 y alcanzó Panamá en 2001 (Klassen & Curtis, 2005).

La broca es la plaga más limitante de la producción y calidad del café. A pesar de

que se importaron desde África parasitoides para el control biológico, se estandarizaron los métodos de cría y se confirmó su impacto en el laboratorio y el campo, aún no se producen masivamente para su liberación en estrategias que disminuyan el impacto de la broca. Con el objetivo de escalar la producción masiva industrial de parasitoides africanos sobre broca criada en dieta artificial, para el control del insecto en grandes áreas en Colombia, se tendrían que llevar a cabo las siguientes actividades: 1. Recuperación e incremento de las colonias de los parasitoides africanos *P. coffea*, *P. nasuta* y *C. stephanoderis*; 2. Producción de la broca en dietas artificiales y cría de los parasitoides; 3. Liberaciones masivas de parasitoides en áreas confinadas para el control de la broca del café y evaluación de impacto; 4. Estudio de factibilidad técnica para la construcción y puesta en marcha de una bioplanta para la producción masiva de los parasitoides africanos para el control de la broca. Actualmente, se tienen las colonias de los tres parasitoides africanos en el laboratorio y las metodologías de cría de los mismos, y se tendrían en el mediano plazo los resultados de la prueba piloto que soporte el estudio de factibilidad de una bioplanta, para poner en marcha una producción masiva y liberación de parasitoides en Colombia. Esta propuesta de desarrollo tecnológico requeriría del concurso de varias instituciones nacionales e internacionales con fuentes de financiación públicas y privadas. El hongo entomopatógeno *B. bassiana* podría ser incorporado rápidamente en esta estrategia AW-IPM, dado que se encuentran disponibles cepas comerciales de alta virulencia.

Literatura citada

Barrera, J. F., Campos, O., Trejo, A., & Hernández, A. (2018). 30 años contribuyendo con la caficultura mesoamericana mediante la introducción de parasitoides para el control biológico de la broca del café. *Boletín Promecafé*, 155, 9.

Benavides G., M., & Portilla R., M. (1990). Uso del café pergamino para la cría de *Hypothenemus hampei* y de su parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* en Colombia. *Revista Cenicafe*, 41(4), 114-116. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4164>

Benavides Machado, P., Bustillo-Parley, A. E., & Montoya R., E. C. (1994). Avances sobre el uso del parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* *Betrem* (Hymenoptera: Bethyridae) para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Revista Colombiana de Entomología*, 20(4), 247-253.

Benavides Machado, P., Bustillo-Parley, A. E., Montoya R., E. C., Cárdenas M., R., & Mejía M., C. G. (2002). Participación del control cultural, químico y biológico en el manejo de la broca del café. *Revista Colombiana de Entomología*, 28(2), 161-165.

Benavides Machado, P. (2010). ¿Cómo se dispersa la broca a partir de cafetales zoqueados infestados? *Brocarta*, 38, 1-2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc038.pdf>

Benavides Machado, P., Gil Palacio, Z. N., Constantino, L. M., Villegas García, C., & Giraldo Jaramillo, M. (2013). Plagas del café. Broca, minador, cochinillas harinosas y monalón. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 215-260). Cenicafe.

Benavides Machado, P. (2008). Los parasitoides en un programa de control biológico. En A. E. Bustillo Parley (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 114-125). Cenicafe.

Benavides Machado, P., Góngora, C. E., & Bustillo-Parley, A. E. (2012). IPM Program to Control Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*, with Emphasis on Highly Pathogenic Mixed Strains of *Beauveria bassiana*, to Overcome Insecticide Resistance in Colombia. En F. Perveen (Ed.), *Insecticides - Advances in Integrated Pest Management*. <https://doi.org/10.5772/28740>

Bhatt, S., Gething, P. W., Brady, O. J., Messina, J. P., Farlow, A. W., Moyes, C. L., Drake, J. M., Brownstein, J. S., Hoen, A. G., Sankoh, O., Myers, M. F., George, D. B., Jaenisch, T., Wint, G. R. W., Simmons, C. P., Scott, T. W., Farrar, J. J., & Hay, S. I. (2013). The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446), 504-507. <https://doi.org/10.1038/nature12060>

Borbón, M. O. (1989). *Bio-écologie d'un ravageur des baies de caféier *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae) et de ses parasitoides au Togo*. University of Toulouse.

Bustillo-Parley, A. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafe*, 32, 1-40. <http://hdl.handle.net/10778/579>

Bustillo-Parley, A. E., Cardenas, R., Villalba, D. A., Benavides Machado, P., Orozco, J., & Posada, F. J. (1998). *Manejo integrado de la broca del café: *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia*. Cenicafe. <http://hdl.handle.net/10778/848>



Bustillo-Parley, A. E. (2008). Aspectos sobre la biología de la broca del café *Hypothenemus hampei* en Colombia En A. E. Bustillo Parley (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 388-418). Cenicafé.

Bustillo Pardey, A. E., Orozco Hoyos, J., Benavides Machado, P., & Portilla Reina, M. (1996). Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 47(4), 215-230. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4165>

Castaño-Sanint, A., Benavides Machado, P., & Baker, P. S. (2005). Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. *Revista Cenicafé*, 56(2), 142-150. <http://hdl.handle.net/10778/147>

Castro Gallego, L., Benavides Machado, P., & Bustillo Pardey, A. E. (1998). Dispersión y mortalidad de *Hypothenemus hampei*, durante la recolección y beneficio del café. *Manejo Integrado de Plagas (CATIE)*, 50, 19-28.

Constantino, L. M. (2010). La broca del café... un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y la altitud. *Brocarta*, 39, 1-2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc039.pdf>

Cruz, L. P., Gaitán, A. L., & Góngora, C. E. (2006). Exploiting the genetic diversity of *Beauveria bassiana* for improving the biological control of the coffee berry borer through the use of strain mixtures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71(6), 918-926. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0218-0>

Duque, H., & Baker, P. (2003). *Devouring profit the socio-economics of coffee berry borer IPM*. CABI-Cenicafé.

Feldhege, M. R. (1992). Rearing techniques and aspects of biology of *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae) a recently described endoparasitoid of the coffee berry borer: *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *Café Cacao Thé*, 36(1), 45-54.

Flores, H. A., & O'Neill, S. L. (2018). Controlling vector-borne diseases by releasing modified mosquitoes. *Nature Reviews Microbiology*, 16(8), 508-518. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0025-0>

Follett, P. A., Kawabata, A., Nelson, R., Asmus, G., Burt, J., Goschke, K., ... Geib, S. (2016). Predation by flat bark beetles (Coleoptera: Silvanidae and Laemophloeidae) on coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae) in Hawaii coffee. *Biological Control*, 101, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.07.002>

Gil-Palacio, Z., Benavides Machado, P., Souza, O. D., Acevedo, F. E., & Lima, E. (2015). Molecular markers as a method to evaluate the movement of *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Journal of Insect Science*, 15(1). <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev058>

Gilioli, G., & Baumgärtner, J. (2013). Metapopulation modelling and area-wide pest management strategies evaluation. An application to the Pine processionary moth. *Ecological Modelling*, 260, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.03.020>

Giraldo-Jaramillo, M., & Parra, J. R. P. (2018). Artificial diet adjustments for brazilian strain of *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: curculionidae). *Coffee Science*, 13(1), 132-135. <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v13i1.1404>

Góngora, C. E. (2008). Los hongos entomopatógenos en el control de insectos. In A. E. Bustillo Parley. (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana* (pp. 133–149). Cenicafé.



Góngora, C. E., Marín-Marín, P., & Benavides Machado, P. (2009). Claves para el éxito del hongo *Beauveria bassiana* como controlador biológico de la broca del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 384, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/346>

Hanski, I. (1999). *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press.

Hendrichs, J., Kenmore, P., Robinson, A. S., & Vreysen, M. J. B. (2007). Area-Wide Integrated Pest Management (AW-IPM): Principles, Practice and Prospects. En M. J. B. Vreysen, A. S. Robinson, & J. Hendrichs (Eds.), *Area-Wide Control of Insect Pests* (pp. 3-33). Springer Netherlands.

Infante, F., Murphy, S. T., Barrera Gaitán, J. F., Gómez, J., & Rosa Reyes, W. de la. (1994). Cría de *Phymastichus coffea* parasitoide de la broca del café y algunas notas sobre su historia de vida. *Southwestern Entomologist Scientific Note*, 19(3), 313-315.

Jaramillo, J., Borgemeister, C., & Setamou, M. (2006). Field superparasitism by *Phymastichus coffea*, a parasitoid of adult coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 119(3), 231-237. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00413.x>

Jaramillo, J. L., Montoya, E. C., Benavides Machado, P., & Góngora B., C. E. (2015). *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* mix to control the coffee berry borer in soil fruits. *Revista Colombiana de Entomología*, 41(1), 95-104.

Klassen, W. (2005). Area-Wide Integrated Pest Management and the Sterile Insect Technique. En V. A. Dyck, J. Hendrichs, & A. S. Robinson (Eds.), *Sterile Insect technique. principles and practice in area-wide integrated pest management*. (pp. 39-68). Springer Netherlands.

Klassen, W., & Curtis, C. F. (2005). History of the Sterile Insect Technique. En V. A. Dyck, J. Hendrichs, & A. S. Robinson (Eds.), *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management* (pp. 3-36). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-4051-2_1

Laiton, L. A., Constantino, L. M., & Benavides Machado, 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>

Maldonado, C. E., & Benavides Machado, P. (2007). Evaluación del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* controladores de *Hypothenemus hampei*, en Colombia. *Revista Cenicafé*, 58(4), 333-339. <http://hdl.handle.net/10778/145>

Mau, R. F. L., Jang, E. B., & Vargas, R. I. (2007). The Hawaii Area-Wide Fruit Fly Pest Management Programme: Influence of Partnerships and a Good Education Programme. En M. J. B. Vreysen, A. S. Robinson, & J. Hendrichs (Eds.), *Area-Wide Control of Insect Pests* (pp. 671-683). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6059-5_62

Moreno-Valencia, D. P., Bustillo Pardey, A. E., Benavides Machado, P., & Montoya-Restrepo, E. C. (2001). Escape y mortalidad de *Hypothenemus hampei* en los procesos de recolección y beneficio del café en Colombia. *Revista Cenicafé*, 52(2), 111-116. <http://hdl.handle.net/10778/776>

Orozco-Hoyos, J., & Aristizábal, L. F. (1996). Parasitoides de origen africano para el control de la broca del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 223, 1-8. <http://hdl.handle.net/10778/1046>



Portilla, M., & Streett, D. (2008). Producción masiva automatizada de la Broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) y de sus parasitoides sobre dietas artificiales. *Sistemas Agroecológicos y Modelos Biomatemáticos*, 1(1), 9-24.

Portilla R., M. (1999a). Desarrollo y evaluación de una dieta artificial para la cría masiva de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Revista Cenicafé*, 50(1), 24-38. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4166>

Portilla R., M. (1999b). Mass rearing technique for *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) on *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) developed using Cenibroca artificial diet. *Revista Colombiana de Entomología*, 25, 57-66.

Portilla R., M., & Bustillo-Parley, A. E. (1995). Nuevas investigaciones en la cría masiva de *Hypothenemus hampei* y de sus parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*. *Revista Colombiana de Entomología*, 21(1), 25-33.

Portilla, M., & Streett, D. A. (2006). Nuevas técnicas de producción masiva automatizada de *Hypothenemus hampei* sobre la dieta artificial Cenibroca modificada. *Revista Cenicafé*, 57(1), 37-50. <http://hdl.handle.net/10778/146>

Quintero H., C., Bustillo-Parley, A. E., Benavides Machado, P., & Chaves, C. B. (1998). Evidencias del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* (Hymenoptera : Bethyilidae) en cafetales del departamento de Nariño, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 24(3-4), 141-147.

Ramírez-Builes, V. H., Gaitán, A. L., Benavides Machado, P., Constantino, L. M., Gil-Palacio, Z., Sadeghian, S., & González-Osorio, H. (2014). Recomendaciones para la reducción del riesgo en la caficultura de Colombia ante un evento climático de El Niño. *Avances Técnicos Cenicafé*, 445, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/475>

Reyes, J., Carro, X., Hernandez, J., Méndez, W., Campo, C., Esquivel, H., Salgado, E., & Enkerlin, W. R (2007). A Multi-Institutional Approach to Create Fruit Fly-Low Prevalence and Fly-Free Areas in Central America. En M. J. B. Vreysen, A. S. Robinson, & J. Hendrichs (Eds.), *Area-Wide Control of Insect Pests* (pp. 627-640). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6059-5_58

Rivera-España, P. A., Montoya-Restrepo, E. C., & Benavides Machado, P. (2010). Biología del parasitoides *Prorops nasuta* (Hymenoptera : Bethyilidae) en el campo y su tolerancia a insecticidas. *Revista Cenicafé*, 61(2), 99-107. <http://hdl.handle.net/10778/474>

Vélez Arango, P. E., & Benavides Gómez, M. (1990). Registro e identificación de *Beauveria bassiana* en *Hypothenemus hampei* en Ancuya, Departamento de Nariño, Colombia. *Revista Cenicafé*, 41(2), 50-57. <http://hdl.handle.net/10778/4167>

Vera-Montoya, L., Gil-Palacio, Z., & Benavides Machado, P. (2007). Identificación de enemigos naturales de *Hypothenemus hampei* en la zona cafetera central colombiana. *Revista Cenicafé*, 58(3), 185-195. <http://hdl.handle.net/10778/144>

Vergara-Olaya, J. D., Orozco-Hoyos, J., Bustillo-Pardey, A. E., & Chaves-Cordoba, B. (2001a). Biología de *Phymastichus coffea* en condiciones de campo. *Revista Cenicafé*, 52(2), 97-103. <http://hdl.handle.net/10778/774>



Vergara-Olaya, J. D., Orozco-Hoyos, J., Bustillo-Pardey, A. E., & Chaves-Cordoba, B. (2001b). Dispersión de *Phymastichus coffea* en un lote de café infestado de *Hypothenemus hampei*. *Revista Cenicafé*, 52(2), 104-110. <http://hdl.handle.net/10778/775>

Vreysen, M. J. B., Gerardo-Abaya, J., & Cayol, J. P. (2007). Lessons from Area-Wide Integrated Pest Management (AW-IPM) Programmes with an SIT Component: an FAO//IAEA Perspective. En M. J. B. Vreysen, A. S. Robinson, & J. Hendrichs (Eds.), *Area-Wide Control of Insect Pests* (pp. 723-744). Springer Netherlands.

Como citar:

Benavides Machado, P. (2020). El uso de enemigos naturales en estrategias de manejo integrado de plagas a gran escala. En P. Benavides Machado & C. E. Góngora (Eds.), *El Control Natural de Insectos en el Ecosistema Cafetero Colombiano* (pp. 204–220). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0001_9

