

EL PAPEL DEL CONTROL BIOLÓGICO EN EL MANEJO INTEGRADO DE LA BROCA DEL CAFÉ, *HYPOTHENEMUS HAMPEI* (FERRARI) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE)

por

Alex Enrique Bustillo Pardey¹

Resumen

Bustillo Pardey, A. E.: El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **29** (110): 55-68, 2005. ISSN: 0370-3908.

La broca del café es el insecto plaga más importante de la caficultura debido a las pérdidas que ocasiona. En Colombia a través de la investigación se ha desarrollado un programa de manejo integrado con el fin de asegurar la biodiversidad y estabilidad ecológica de la zona cafetera, basado en procedimientos de control biológico de esta plaga. Para cumplir esta meta se logró la introducción de agentes de control biológico a la zona cafetera basados en parasitoides (*Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea*) y el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*. Estos organismos han sido probados en cafetales en el control de la broca y luego reproducidos masivamente en forma comercial para que el cafetero colombiano los pueda utilizar en sus cafetales, logrando así manejar racionalmente su cultivo y seguir produciendo café para exportación.

Palabras clave: control biológico, broca del cafeto, *Cephalonomia*, *Prorops*, *Beauveria*.

Abstract

The coffee bean borer is the most important insect pest attacking coffee crops causing great losses to the coffee farmers. In Colombia, it has been possible to develop an Integrated Pest Management program which assures the biodiversity and ecological stability of the coffee region, based on biological control procedures against this borer. To achieve this goal biological control agents were introduced to the coffee regions, based on parasitoids (*Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* and *Phymastichus coffea*) and the entomopathogen fungus, *Beauveria bassiana*. These organisms had been tested in coffee plantations to control the coffee bean borer and then mass produced commercially so the Colombian coffee growers can use them in their crops, and in this way making a rational management that allows them to continue producing coffee for exportation.

Key words: biological control, coffee borer, *Cephalonomia*, *Prorops*, *Beauveria*.

¹ Investigador Principal I, Disciplina de Entomología, Cenicafé, Chinchiná, Colombia, e-mail: Alex.bustillo@cafedecolombia.com

1. Introducción

La broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), es el insecto plaga más importante entre los que afectan la caficultura en todo el mundo. Este insecto fue introducido del África al continente americano a comienzos del siglo pasado y llegó sin los enemigos nativos que regulan sus poblaciones en África (Cenicafé, 1990). Los enemigos más importantes son cuatro parasitoides y el hongo *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin (**Barrera et al.** 1987, **Moore & Prior**, 1988). Las especies de la familia Bethyilidae: *Prorops nasuta* Waterston y *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, se han colonizado en laboratorio en Inglaterra, México, Ecuador y Colombia (**Abraham et al.** 1990, **Barrera et al.** 1990; **Benavides & Portilla**, 1990; **Cisneros & Tandazo** 1990; **Delgado & Sotomayor**, 1990). En Colombia estos betílidos se introdujeron al principio de la década de los 90 y se desarrollaron procesos de producción masiva y liberación en cafetales colombianos (**Bustillo et al.** 1998). En 1996 también se introdujo a Colombia, *Phymastichus coffea* La Salle, previa colonización en Togo y cuarentena en Inglaterra. A partir de esa época se han desarrollado estudios para su producción masiva y liberación en cafetales colombianos (**Orozco & Aristizábal**, 1996, **Vergara**, 1998). Este parasitoide durante 1999 fue enviado de Colombia a Guatemala, Ecuador y la India a través de convenios internacionales para establecer colonias en esos países. Estudios recientes de exploración en Uganda han permitido localizar poblaciones de *Heterospilus coffeicola* Schneideknecht en cafetales, y estudiarlas en laboratorio para propósitos de colonización e introducción al continente americano. En cuanto a *B. bassiana* los avances en la investigación son notables y el hongo a través de procesos sencillos de producción se ha distribuido en toda la zona cafetera colombiana infestada con *H. hampei* (**Bustillo et al.** 1998).

En este documento se hace una revisión de los avances investigativos y desarrollos logrados en el control biológico con parasitoides y hongos entomopatógenos para el control de la broca del café y su transferencia a los cafeteros a través del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Estos resultados han hecho posible que se le dé al caficultor colombiano una información para que a través del enfoque del manejo integrado de la broca puedan reducir sus poblaciones a niveles que no le causen daño económico. Por otra parte estos insumos biológicos son de gran valor en el desarrollo de cafés especiales que se puedan comercializar como orgánicos (**Bustillo**, 2002).

2. Estudios con parasitoides

2.1. Antecedentes sobre parasitoides de la broca en el mundo

Los intentos de control biológico de la broca en otros países utilizando parasitoides son muy escasos, *H. coffeicola* se introdujo al Brasil desde Uganda (**Piza & Fonseca**, 1935) en frutos infestados, sin embargo no se sabe nada sobre su establecimiento. *P. nasuta* también se introdujo al Brasil desde Uganda en 1929 y después del desarrollo de una metodología sencilla de cría (**Hempel**, 1934) se liberó en el estado de Sao Paulo en 1930. A pesar de ser considerada exitosa su introducción al Brasil, el programa de control biológico con *P. nasuta* se abandonó en la década de los 40 con el surgimiento de los insecticidas organoclorados en el mercado. Sin embargo, a pesar del uso continuo de insecticidas para el control de la broca, en 1978 se recuperó *P. nasuta* en el Brasil, en cafetales de la zona de Mata, Minas Gerais, observándose niveles de parasitismo entre el 27 y 33,2%. En cafetales de Piracicaba en Sao Paulo, se recuperó en 1975 sobreviviendo a sequías severas y a la helada de ese año, que mató la mayor parte de los cafetales (**Yokohama et al.** 1978). *P. nasuta* también fue llevado a Sri Lanka en 1928 y al Perú desde el Brasil en 1982, pero se desconoce si se estableció en esos lugares (Cenicafé 1990).

En 1987 *P. nasuta* se introdujo al Ecuador y en 1988 a México e Indonesia desde Kenya a través de una cuarentena establecida en Inglaterra (**Barrera et al.** 1990b; Cenicafé 1990; **Moore & Prior**, 1988). En el Ecuador se reprodujo en laboratorio y las liberaciones hechas en el campo han resultado en su establecimiento. **Cisneros & Tandazo** (1990) registran niveles iniciales de parasitismo del 25 al 28% en lugares con infestaciones de 74-78% de broca. Las colonias de laboratorio se perdieron, pero lograron establecerse de nuevo en 1990 mediante colecciones de campo. En México no se pudo mantener la colonia de laboratorio, ni se han hecho liberaciones en el campo con este parasitoide (**Barrera et al.** 1990 b); actualmente planean reintroducirlo.

En cuanto a *C. stephanoderis* a pesar de su descubrimiento en 1960 por **Ticheler** (1963) en Costa de Marfil, sólo hasta hace poco se consideró utilizarlo en programas de control biológico. Colonias de este insecto mantenidas bajo cuarentena en Inglaterra y obtenidas en Kenya por el IIBC, sirvieron para introducirlo a México y Ecuador en 1988 (**Moore & Prior** 1988); Indonesia, Jamaica y Nueva Caledonia en 1989. A finales de 1990 se registró su movilización desde México a varios países centroame-

ricanos (Guatemala, Honduras, El Salvador) en donde se organizaron laboratorios para su cría (**Barrera et al.**, 1990c).

En Costa de Marfil, **Ticheler** (1963) registró un parasitismo natural en la broca por *C. stephanoderis*, en árboles no cosechados, de 27% en cerezas rojas y 50% en las negras, mientras que **Koch** (1973) encontró reducciones en las poblaciones de *H. hampei* del 20 al 30% en épocas de cosecha, pero en el período entre cosechas la reducción fue sólo de un 5%.

En el Ecuador se ha recuperado *C. stephanoderis* de los lugares de liberación. Los niveles de parasitismo obtenidos en la época de postcosecha son relativamente altos; en la provincia Pichincha del 72%, en Manabi variaron entre 12 y 43%, en los Ríos 40% y en Pichilingue entre 48 y 52% (**Junac**, 1991).

En México se ha liberado en pequeñas cantidades en varios sitios registrándose su establecimiento después de seis meses, los niveles de parasitismo variaron de 20 hasta 80% en los sitios de liberación. Sin embargo, éstos se redujeron considerablemente después de la cosecha debido a la escasez de frutos de café (**Barrera et al.**, 1990 b).

El parasitoide de adultos de la broca, *Phymastichus coffea* La Salle, fue descubierto en Togo en 1987 y posteriormente en Kenya (**Borbón**, 1989; **La Salle**, 1990). En Togo se registran mortalidades en adultos de broca del 29,6% por esta especie. Por su hábito de ataque a la broca constituye un buen prospecto de control biológico.

2.2. Estudios en Colombia con parasitoides

En Colombia el objetivo inicial del programa con parasitoides fue la introducción de las diferentes especies en las zonas cafeteras infestadas por la broca a manera de un control biológico clásico y un objetivo posterior fue determinar si los parasitoides pueden jugar un papel importante en un esquema de manejo integrado.

La biología y el comportamiento de *C. stephanoderis* y *P. nasuta* son muy parecidas. La hembra del parasitoide penetra el fruto atacado por la broca, paraliza la hembra adulta de la broca que cuida la colonia, luego se alimenta de los huevos y larvas de primer instar de la broca y deposita sus huevos sobre larvas de segundo instar y prepupas de la broca. El ciclo de vida de ambas especies es muy similar y lo completan en aproximadamente 22 días a 24°C en cuartos oscuros. La eficiencia del parasitismo de *C. stephanoderis* sobre la broca se incrementa a medida que se le ofrece un grano afectado con mayor número de estados inmaduros de la broca. Cuando el grano infectado

alcanzó 24 días se obtuvieron en promedio 10,5 individuos de *C. stephanoderis* por grano. En cuanto a *P. nasuta*, ésta es más exigente en el estado de la broca por parasitar prefiriendo casi exclusivamente larvas de segundo instar, lo cual se refleja en las producciones menores en laboratorio, comparada con *C. stephanoderis*. La emergencia de los parasitoides se logra proporcionando temperaturas más altas a las del cuarto de cría y luminosidad (**Bustillo et al.**, 1996)

2.3. Desarrollo de un método de cría masiva

El éxito en la cría masiva de *H. hampei* y de su parasitoide *C. stephanoderis* está principalmente en el control de las condiciones de humedad y temperatura en cada proceso, condiciones de asepsia diarias en el laboratorio, obtención diaria de suficientes adultos vigorosos de broca y un suministro permanente de grano pergamino proveniente de frutos cerezas sanos y bien maduros. La administración y planeación de las actividades son también de gran importancia. El control de las humedades y temperaturas se logra con el uso de deshumificadores y calentadores debidamente monitoreados con higrotermógrafos. Toda la información de los lotes de producción debe ser debidamente registrada para poder analizar cualquier problema. (**Bustillo et al.**, 1996).

La producción de parasitoides se inicia con el establecimiento de una cría masiva de broca, para lo cual se utilizan frutos de café totalmente maduros y con broca. Una vez se reciben en el laboratorio se extienden sobre bandejas de madera con fondo en malla metálica y con la ayuda de ventiladores se reduce su humedad a los niveles deseados. Este proceso puede tomar 20 días, a la vez que se seca el fruto se permite el desarrollo de los estados inmaduros de la broca. Al cabo de 8 días ó al momento del ingreso del material, es conveniente hacer una desinfección con fungicidas como tiabendazol 0,3% ó benomil 0,2%; si se observan ácaros, éstos se pueden controlar con propargite al 0,3% ó tetradifon al 0,3%. Una vez este material está seco y las brocas alcanzan el estado adulto, se traslada a armarios de madera de 1,8 m de alto; 0,6 m de ancho y 0,4 m de largo, cuyo frente está compuesto de una lámina de acrílico transparente con su parte basal en forma de cono a la cual se adhiere una caja plástica para recolectar las brocas en emergencia. La parte posterior del armario está cubierta por una tela de color negro que permite aireación a los frutos secos. En el interior del armario se colocan bandejas de madera sobre las cuales se coloca el fruto cereza infestado y seco listo para la emergencia de las brocas adultas. Para inducir la emergencia de la broca diariamente se remoja el material. Esta emergencia también se puede lograr en cuartos grandes ence-

rrados con una malla y dejando el grano infestado libre en las bandejas para que la broca vuele libremente y se pueda recolectar en las paredes de la tela con un recolector de rodillo hecho de PVC. El material de frutos infestados de campo se debe mantener a una humedad cercana al 85% y 22°C de temperatura para almacenarlo por largos períodos (p.e., 3-4 meses), si los niveles de infestación de este material son bajos se pueden incrementar “rebrocándolo” con el sobrante diario de las emergencias. (Bustillo *et al.*, 1996).

Para la cría de la broca se utiliza café pergamino seco de agua el cual se adquiere en cantidad suficiente para las necesidades de una semana. El café se puede mantener en buena forma almacenándolo en tanques con agua la cual se cambia frecuentemente para mantenerla limpia. Este grano pergamino se seca a la sombra con ayuda de ventiladores por aproximadamente un día hasta alcanzar una humedad del 45%. Las brocas recolectadas diariamente de los cuartos de emergencia, se utilizan para infestar este grano pergamino en una proporción de 3 brocas/grano, los cuales se mantienen en bandejas metálicas rectangulares (90 cm de largo x 30 cm de ancho x 6 cm de alto) con 16 orificios laterales de 2,5 cm de diámetro en sus lados para permitir aireación. En estas bandejas se colocan 4.000 granos pergamino que se infestan con broca, las bandejas se dejan una encima de otra en un cuarto oscuro a una temperatura de 24°C y humedad de 80%. Al cabo de 12 días se realiza una limpieza del material, para ello el grano se deposita sobre bandejas con fondo de malla y con una brocha se barre el aserrín, una alternativa que minimiza los contaminantes es el uso de aspiradoras para esta limpieza. (Bustillo *et al.*, 1996)

El grano afectado con broca se coloca de nuevo en las bandejas metálicas (4.000 granos por bandeja) y se lleva a otro cuarto para continuar el desarrollo de los estados inmaduros (23-25°C, 80% H.R.). Al cabo de 20 - 22 días después de infectado cuando aparecen las primeras pupas se limpia nuevamente el aserrín producido por la broca, se retiran los granos no infestados y los contaminados por hongo. A través de disecciones del grano se establece el número de estados inmaduros de la broca, que no debe ser inferior a 30 estados, algunos laboratorios tienen promedios entre 50 y 60 estados. La humedad del grano se determina diariamente a través de este proceso con el fin de hacer los ajustes necesarios para mantenerla en el óptimo, o sea que al principio del proceso esté en 45% y al momento de ser parasitados alrededor del 30% (Bustillo *et al.*, 1996).

Los granos previamente seleccionados, que tengan más de dos perforaciones, se utilizan para parasitismo colocándolos en frascos de conserva en proporción de 200

granos infestados por 400 adultos de la avispa por frasco; a estos recipientes se les facilita la ventilación a través de la tapa utilizando una tela fina de organdí que impida el escape de las avispidas. Una alternativa que permite el almacenamiento de mayor cantidad de material en el mismo espacio es el uso de cajas rectangulares con orificios circulares en sus lados, en las cuales se pueden depositar 333 granos afectados con broca con 600 avispidas para una proporción de 1:1,8. Estos recipientes se mantienen en un cuarto oscuro a 25°C y 70% H.R. Al cabo de 8 días se hace una revisión para detectar y detener posibles ataques de hongos y ácaros. A los 12 días de parasitación se revisa de nuevo el material y se estima el porcentaje de parasitismo y el número de estados de la avispa por grano. Al final de los 25 días todo el material se transporta a otro cuarto de emergencia cuya temperatura es ligeramente más alta (27°C) y con una humedad relativa del 70%. Este material se acomoda en cajones de madera con bandejas en su interior en cantidades de 20.000 a 25.000 granos y que tienen en su base porrones de vidrio o plástico transparente iluminadas con luz fluorescente para atraer las avispidas que inician su emergencia. De estos porrones se recolectan diariamente las avispidas con la ayuda de un aspirador eléctrico y se dispensan en recipientes pequeños en cantidades exactas (previamente taradas por volumen) para luego utilizarlas en el proceso de parasitación. (Bustillo *et al.*, 1996)

Dependiendo de la eficiencia del proceso cerca de un 75% del grano infestado con broca y parasitado se utiliza para liberaciones en el campo y el resto se deja para ser reciclado.

2.4. Liberación de parasitoides en el campo

2.4.1. *Cephalonomia stephanoderis*.

Se demostró que el parasitoide se establece en todos los lugares donde se libera. El parasitismo ocasionado por *C. stephanoderis* es dependiente de las densidades de *H. hampei* y aumenta cuando la altura sobre el nivel del mar es menor (mayor temperatura). Es así como a 1.630 m.s.n.m y una temperatura media de 19,9°C, se encontraron niveles máximos de parasitismo del 29% y a 1.080 m con 23,4°C, éstos alcanzaron hasta un 65%. Lo anterior es explicable porque en sitios más cálidos el desarrollo de la broca es más rápido y alcanza mayores poblaciones que quedan, como en este caso, a disposición del parasitoide para su reproducción (Benavides *et al.*, 1994).

Se observó que además de su acción parasítica la avispa ejerce una acción depredadora bastante eficiente sobre los adultos de broca (93,8%) que permanecían en el

interior de los frutos, sugiriendo así una acción total sobre la población de todos los estados de la broca, en la cual se estimó una mortalidad del 94,8%. En ningún caso en los frutos infestados por broca y parasitados se encontraron huevos y larvas de primer instar que, de acuerdo con lo que se conoce de su comportamiento, son consumidas por el adulto de la avispa. (Aristizábal *et al.*, 1998; Benavides *et al.*, 1994).

En cuanto al seguimiento del efecto del parasitoide sobre las poblaciones de broca en un período de tres años es importante resaltar que aún 939 días después de las liberaciones las avispias siguen realizando un efecto de parasitismo sobre la broca en los lotes iniciales. El parasitismo es dependiente de la densidad del huésped o sea que fluctúa de acuerdo con la abundancia o escasez de la broca. Estos resultados muestran claramente que *C. stephanoderis* se puede establecer bajo las condiciones de los ecosistemas cafeteros colombianos, sin embargo su acción sola no es suficiente para reducir las poblaciones de broca a niveles que no causen daño económico (p. e., < 5%). (Benavides *et al.*, 1994).

El parasitoide *C. stephanoderis* se recuperó de cafetales distantes a los sitios de liberación poco tiempo después de su liberación hasta sitios a 4,2 km de distancia. (Benavides *et al.*, 1994). Se concluye que esta especie se adapta a las condiciones ecológicas de la caficultura colombiana y permite adelantar un programa de introducción en todo el país. Evaluaciones hechas en estas áreas después de cuatro años muestran la presencia tanto de *C. stephanoderis* como de *P. nasuta* en los cafetales (Quintero *et al.*, 1998).

Estudios realizados por Aristizábal *et al.* (1997) y Salazar (1998) muestran que *C. stephanoderis* es muy promisorio para el control de la broca aún cuando las poblaciones de esta sean inferiores al 5%. Se encontró que el parasitoide tiene buena capacidad de búsqueda y es capaz de permanecer en sitios donde la broca esté concentrada ("focos"), haciendo que la estrategia de liberaciones de estos parasitoides en estos sitios sea viable para reducir sus poblaciones. Además se comprobó una gran actividad de predación de este parasitoide sobre los adultos de broca que inician su daño en los frutos (Aristizábal *et al.* 1998). A través de un programa de producción masiva de esta especie auspiciado por la Federación Nacional de Cafeteros se logró entre 1995 y 2000 liberar cerca de 1.500 millones de individuos de *C. stephanoderis* en gran parte de la zona cafetera colombiana.

2.4.2. *Prorops nasuta*

Entre 1990 y 1993 se introdujeron a Colombia, directamente de Kenya, Ecuador y Brasil colonias de este in-

secto. La mayor parte de la descendencia de los insectos liberados en Colombia pertenecen a la colonia de Brasil, con excepción del material liberado en Nariño que correspondió a las crías del Ecuador. La cría de este parasitoide ha mostrado ser más difícil ya que es más exigente en la selección del estado apropiado de la broca para su parasitación. Sin embargo, es posible obtener una producción masiva para realizar introducciones en cafetales. Hasta la fecha se han liberado cerca de 500 millones de *P. nasuta* en cafetales colombianos. Los estudios han mostrado que también se establece en las distintas zonas cafeteras en donde se libera, en cafetales en Nariño cerca a Sandoná su recuperación de frutos con broca es frecuente después de tres años de realizar las primeras liberaciones (Portilla & Bustillo, 1995; Quintero *et al.*, 1998). A pesar de las pequeñas cantidades liberadas en esta zona de Nariño, el parasitoide se ha recuperado registrándose un parasitismo que varió entre 1,5 a 3,8% en zonas ubicadas entre 1.380 y 1.750 m.s.n.m. Se encontró un máximo de 36 capullos del parasitoide en un fruto afectado.

P. nasuta posee una alta capacidad de predación, lo que complementa su acción parasítica (Bacca, 1999). La reducción de estados biológicos de broca con respecto al testigo fue de 75,9; 63,9 y 79,5 % a los 5, 10 y 15 días respectivamente, después de la liberación de *P. nasuta*. El porcentaje de parasitismo fue estadísticamente igual para los tres tiempos de evaluación con valores de 60,2; 67,0 y 46,4%, respectivamente.

2.4.3. *Phymastichus coffea*

Este parasitoide de adultos de la broca del café fue colonizado en Togo, e introducido a Colombia en 1996 después de cuarentena en Inglaterra y estudios sobre selectividad a otros insectos (López- Vaamonde *et al.*, 1997). Los estudios con *P. coffea*, han permitido conocer más sobre su comportamiento y eficiencia en condiciones de campo y en laboratorio con lo cual se han podido ajustar parámetros para su producción masiva. Entre los años 1998 y 2003 se han producido y liberado en cafetales cerca de 300 millones de adultos de *P. coffea*. Este programa se inició en 1999, una vez cumplidos con todos los requisitos exigidos por el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario).

Los estudios sobre densidad de adultos por recipiente en cuanto a producción y la relación avispias hembra – macho, muestran que las mayores producciones se alcanzan con las relaciones más altas de hembras. Sin embargo, la mayor productividad se consigue con las menores relaciones de hembras por recipiente. (Orozco, 1999).

En cuanto a los machos, no se presenta una diferencia significativa entre el número de machos por hembra pero si

entre estos y los tratamientos donde no se liberan machos, los cuales presentan la menor eficiencia. En relación con la emergencia final, en todos los experimentos se encontró una alta mortalidad de machos que no emergen entre 60 y 80 %. Este factor está disminuyendo considerablemente el rendimiento final del parasitoide en laboratorio (Orozco, 1999).

La mayor eficiencia alcanzada en la emergencia de adultos, se presentó con las menores relaciones de avispas hembras por recipiente, igualmente fue con las mortalidades de machos. En promedio, se producen 6 – 7 avispas por hembra, para la relación 10 adultos hembra/recipiente, y 3 – 4 cuando se liberan 150 adultos/recipiente. En cuanto al número de granos por recipiente, 50 y 100 granos por caja galletera, están mostrando los mejores resultados. (Orozco, 1999).

Los problemas más limitantes en la cría de *P. coffea*, han sido: la alta mortalidad de adultos de broca, durante los primeros ocho días después de la parasitación, en promedio 30%, y la mortalidad de machos en estado de pupa o adulto dentro del hospedero y la contaminación tanto de broca como del parasitoide (Orozco, 1999).

2.4.3.1. Ciclo de vida de *Phymastichus coffea* parasitoide de adultos de la broca del café en condiciones de campo. *Phymastichus coffea* es un endoparasitoide de origen africano de adultos de *Hypothenemus hampei* introducido a Colombia en 1996. El estudio sobre su biología se realizó en un cafetal en Supía, Caldas, a 1320 m; temperatura promedio de 22°C y 75% HR. Se observó que los adultos de *P. coffea* vivieron en promedio 2,5 días. El huevo tuvo una duración de 5 días; larvas L1, 5 días; L2, 6 días; L3, 12 días y las pupas 15 días. El ciclo de vida desde huevo hasta la aparición de los primeros adultos fue de 43 días y el estado adulto tomó 3 días. En las condiciones climáticas donde se realizó el estudio, *P. coffea* mostró una buena adaptación y capacidad de parasitismo (Vergara, 1998).

2.4.3.2. Dispersión de *Phymastichus coffea* en un lote de café. La actividad se desarrolló en un lote de café variedad Colombia en Sevilla, Valle a 1540 m, con una temperatura promedio de 20°C y 70% HR. La presencia del parasitoide fue evidente en el 91.1% de los sitios de muestreo. El promedio de parasitismo en el área del experimento fue 46.7%. La mayor concentración de las avispas se encontró entre los 0 y 23 m a partir del punto de liberación con parasitismos entre 15.4 y 94.7%, sin embargo entre 23 y 60 m se presentó un promedio de parasitismo de 31.3%, lo cual indica una buena actividad del parasitoide para buscar su huésped (Vergara, 1998).

2.4.3.3. Determinación de los tiempos de penetración de la broca a los frutos maduros de café en relación con el ataque de *Phymastichus coffea*. En este estudio se pretendía establecer cuando se presentaba la broca y en que proporción en las posiciones A, B, C y D, a partir de una infestación inicial homogénea, con el fin de determinar el tiempo más apropiado de liberación de *P. coffea*. Los resultados de esta actividad, muestran que en frutos de 120 días de edad, los mayores porcentajes de brocas en posición A, se registraron a las 12 horas después de la infestación; la posición B, 3 días después de la infestación (DDI); la posición C, 8 DDI y la posición D, a partir de los 17 DDI. (Echeverry, 1999).

2.4.3.4. Evaluación del parasitismo de *Phymastichus coffea* sobre broca en diferentes posiciones de penetración en frutos de café. El objetivo fue determinar si *P. coffea* es capaz de atacar a la broca cuando ésta se encuentra en cualquier parte del fruto de café. Los tratamientos consistieron en liberaciones del parasitoide, cuando la broca se encontraba en las posiciones A, B, C y D. Los resultados, mostraron que *P. coffea* puede parasitar los adultos de broca en todas las posiciones de penetración. Los porcentajes de parasitismo registrados fueron 80.01%, 75.95%, 56.16% y 34.32% para las posiciones A, B, C y D respectivamente, es decir disminuyeron a medida que la broca penetra el fruto (Echeverry, 1999).

2.4.3.5. Superparasitismo de *P. coffea* usando tres relaciones diferentes de parasitoide y broca. Los objetivos de este experimento fueron los de comprobar el comportamiento de superparasitismo de *P. coffea* en tres relaciones de parasitoide: broca y definir la influencia del superparasitismo en el desarrollo de *P. coffea*. Se evaluaron tres tratamientos consistentes en diferentes relaciones parasitoide: broca (1:5, 1:1 y 5:1); se hicieron tres evaluaciones, cinco, 15 y 25 días después de la liberación (DDL). Los resultados, mostraron que *P. coffea* presenta superparasitismo en todas las relaciones evaluadas, pero fue menor cuando la relación parasitoide: broca fue mayor en favor de las brocas. Sin embargo, los porcentajes disminuyeron a través del tiempo, debido a la presencia de mecanismos de supresión fisiológica, que regulan la población del parasitoide en la broca. Lo anterior, permitió concluir, que a pesar de que el parasitoide presenta el comportamiento de superparasitismo, este comportamiento no tiene ninguna influencia en cuanto al porcentaje de parasitismo, y mortalidad de la broca como efecto de la acción del parasitoide. (Echeverry, 1999).

2.5. Producción de parasitoides por particulares

Una vez desarrollados los métodos de producción masiva para la producción de parasitoides, se transfirió

esta tecnología a la industria privada para que proporcionara cantidades suficientes y así poder desarrollar un programa agresivo de introducción en las diferentes zonas cafeteras invadidas por la broca. Inicialmente los laboratorios presentaron muchos problemas de adopción de la tecnología y desarrollo de habilidades en el manejo de estos insectos. Los problemas más comunes fueron las pérdidas de las colonias debido a ácaros y hongos, los que se originan normalmente por infraestructuras inadecuadas, pobres condiciones de asepsia, mala regulación de las condiciones ambientales en cuanto a temperaturas y humedades. Sin embargo con el tiempo y la experiencia han mejorado los parámetros de producción como son los niveles de infestación por broca, parasitismo y número de avispidas por grano con broca.

La Federación Nacional de Cafeteros mantuvo contratos de producción anuales desde 1995 hasta el año 2000 con un promedio de 10 laboratorios particulares para la producción de parasitoides. Los laboratorios que mostraron un alto nivel de organización, adopción de las recomendaciones de Cenicafé, seguimiento de los procesos, control de calidad fueron los más eficientes. Desde 1994 hasta 2003 se han producido y liberado en Colombia cerca de 1500 millones de *C. stephanoderis*, 500 millones de *P. nasuta* y 300 millones de *P. coffea* en fincas infestadas con broca en la mayoría de los departamentos cafeteros afectados por este insecto.

El uso de los parasitoides se ha enfocado a través de dos estrategias: 1) la introducción de las especies *C. stephanoderis*, *P. nasuta* y *P. coffea* en la zona cafetera colombiana infestada con broca y 2) el uso de estos parasitoides en un programa de manejo integrado, en el cual se puedan reducir las poblaciones de broca a niveles inferiores al 5%. Se considera que la primera estrategia, la introducción de las avispidas por una sola vez en los predios afectados, debe ser una campaña patrocinada por la Federación Nacional de Cafeteros. La segunda estrategia correspondería a una situación de recomendación técnica del uso de avispidas en un programa de manejo integrado, en el cual el cafetero adquiere este insumo directamente de los productores particulares.

La liberación de los parasitoides se ha llevado a cabo con la coordinación del Servicio de Extensión. Los parasitoides producidos por los laboratorios se reciben en Cenicafé donde se les hace un control de calidad que determina: 1) número de granos parasitados; 2) número de parasitoides por grano; 3) contaminación por ácaros y hongos. Con lo anterior se certifica la producción y se estima el número de parasitoides para ser liberados.

En cada finca seleccionada para realizar las liberaciones se escogen como sitios de liberación los lotes problema. Estos por lo general corresponden a lotes de café mal tenidos, cafetales viejos en donde la recolección es mal hecha, o sitios donde la broca se concentra formando lo que normalmente se conoce como "focos".

La liberación se hace utilizando pequeños costalillos de tela organdí que permiten la salida de las avispidas pero no de la broca en la eventualidad de que no todo el material se encuentre parasitado. Cada costalillo contiene 300 granos pergamino afectados con broca y parasitados los cuales se cubren con un plástico para protegerlos de las lluvias y se cuelgan de las ramas de los árboles con la ayuda de un alambre. Este material se lleva al campo cuando están próximas a emerger las avispidas y se localiza en un árbol cerca a los frutos maduros y con broca.

Con posterioridad a las liberaciones se instruye a los cafeteros sobre la recolección al cabo de 45-60 días de cerezas con broca y parasitadas, las cuales se introducen en jaulas de exclusión para que emerjan las avispidas y se redistribuyan en el resto del cafetal.

3. Estudios con hongos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos para el control de la broca del café son un arma fundamental en el desarrollo de un programa de manejo integrado que tenga por finalidad la preservación del medio ambiente y la racionalidad en el uso de insecticidas químicos. *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin puede jugar un papel muy importante en el control de *Hypothenemus hampei* bajo las condiciones de los ecosistemas cafeteros colombianos. Estos agroecosistemas son permanentes y debido al sombrío o autosombrío del café hay bastante protección de la radiación solar y la humedad relativa alcanza niveles óptimos para estos hongos durante ciertos momentos del día.

Estas consideraciones han hecho que se emprenda un vasto programa de investigación que comprende desde la obtención de aislamientos hasta la producción masiva y evaluación de su eficacia bajo diferentes condiciones ecológicas de campo para su inclusión dentro de un programa de manejo integrado de la broca (Bustillo, 1998).

3.1. Investigaciones en Colombia

Beauveria bassiana (Bb) aparece infectando la broca en forma natural en casi todas las regiones de Colombia donde la broca hace su aparición. Hasta el momento se cuenta con un cepario de más de 100 aislamientos de *B. bassiana* provenientes de diferentes localidades y condi-

ciones agroecológicas. Este material está siendo sometido a caracterización para conocer la relación existente entre cepas, sus fuentes de variación en cuanto a patogenicidad, producción de esporas, y adaptación o tolerancia a factores abióticos. Del total de aislamientos 18 son internacionales suministrados por institutos como IIBC (Instituto Internacional de Control Biológico) y de países vecinos como Brasil, Ecuador y Guatemala y aproximadamente la mitad han mostrado actividad contra la broca.

Se desarrolló una técnica de bioensayo para seleccionar los aislamientos más patogénicos (**González et al.**, 1993). El ciclo de vida de Bb sobre la broca bajo condiciones de laboratorio, se completa en promedio en 8,2 días desde la inoculación del insecto con el hongo hasta el desprendimiento de las esporas. Estos resultados pueden variar de acuerdo con el aislamiento que se use y las condiciones de temperatura del laboratorio. Se ha demostrado también la importancia de pasar el hongo Bb a través de insectos para reactivar su patogenicidad. Cuando se cultiva el hongo en medios artificiales por tres o más generaciones su patogenicidad se reduce considerablemente, y el tiempo promedio para causar mortalidad en la mitad de la población se incrementa, en comparación con el hongo activado sobre broca (**González et al.**, 1993).

En estas evaluaciones se determinó la virulencia de los aislamientos contra la broca. El Bb 9212 y Bb9205 matan la broca más rápido, en un tiempo promedio de mortalidad de $2,63 \pm 0,79$ y $4,16 \pm 1,14$ días, respectivamente, comparados con otros 10 aislamientos en el que el Bb 9023 demoró $5,80 \pm 0,81$ días.

Se estudió la producción promedio de esporas por broca muertas y se encontró que el aislamiento Bb9114 llega a producir hasta $8,8 \times 10^6$ esporas (e) por adulto de broca (**González**, 1994). Esto equivale a una aplicación $4,4 \times 10^{10}$ e/ha en la cual en cada árbol de una hectárea de 5.000 se encuentre una broca en promedio atacada y esporulada con el hongo. Estos resultados son importantes porque indican la oportunidad de seleccionar aislamientos que al producir un alto número de esporas en el campo van a producir una infección secundaria manteniendo el inóculo necesario para infectar nuevamente la población de broca.

Dos enfoques se han investigado para la producción de Bb, a nivel industrial y a nivel artesanal. A nivel industrial (**Morales et al.**, 1991), la producción de Bb se inicia con cultivos puros obtenidos de broca en platos de Petri en medio SDA; luego este inóculo se utiliza para el crecimiento del hongo en frascos que contienen un medio líquido nutritivo aséptico, bajo condiciones de

fermentación y agitación a 110 r.p.m. durante 72 horas. Este cultivo produce blastosporas que sirven para inocular bandejas con un sustrato líquido químicamente definido para la producción de esporas aéreas. Después de 15-20 días (dependiendo de la temperatura) el hongo está listo para ser cosechado, homogeneizado, formulado y secado en forma de polvo. Esta tecnología ha sido transferida a productores particulares para que se encarguen de la producción industrial del hongo. En la actualidad existen cinco compañías en Colombia con licencia del ICA, que suministran hongo formulado para el control de la broca.

También se estudió una metodología para producir el hongo por caficultores en su finca (**Antía et al.**, 1992). La metodología es muy sencilla: el sustrato usado es arroz y agua que se introduce en botellas desechables de vidrio, las cuales se taponan con algodón absorbente y se someten a un proceso de esterilización al «baño de María». La producción de esporas en estas botellas es de 4×10^{11} esporas/100 g de sustrato a 25°C y después de un tiempo de desarrollo de 24 días.

Una vez el hongo completa su desarrollo está listo para ser usado por el agricultor. La producción de una botella es suficiente para asperjar 100 árboles a una dosis de 5×10^8 esporas/árbol. Durante los tres últimos años Cenicafé y el Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia han entrenado en esta técnica más de 20.000 agricultores, muchos de los cuales están produciendo el hongo eficientemente.

Cenicafé tuvo a disposición del gremio cafetero una Unidad de Producción Masiva del hongo *B. bassiana*, producido en forma artesanal en la cual se capacitaron grupos de cafeteros e interesados en la metodología. Además se suministró gratuitamente el hongo denominado Cepa Cenicafé para su reproducción.

La producción artesanal ha tenido un rápido desarrollo por lo simplificado y barato del sistema que permite al cafetero la producción del hongo en la finca y disponer así de este insumo en el momento que lo necesite (**Posada & Bustillo**, 1994).

Con base en registros de Cenicafé, durante 1992 se utilizaron cinco toneladas de hongo a una concentración de 1×10^8 esporas/gramo con fines experimentales. Para 1993 la producción de hongo Bb fue de 60 toneladas para el control de la broca del café (**Posada**, 1993), para 1994 se estimó en 100 toneladas (**Bustillo**, 1995), en 1995 fue de 200 ton y de 300 en 1996. La producción artesanal se incrementó con varios laboratorios auspiciados por los

Comités Departamentales y/o las Cooperativas Cafeteras en varios departamentos.

Se desarrolló un sistema de pruebas de calidad de las formulaciones para asegurar a los cafeteros que el bioinsecticida que estaban comprando si reunía los estándares de calidad (Vélez *et al.*, 1997). Este protocolo sirvió de base para la reglamentación de la producción de entomopatógenos en el país por parte del ICA.

Las formulaciones de *B. bassiana* se han evaluado bajo condiciones de campo y en todos los casos el hongo se ha establecido en las poblaciones de broca. Bb sólo es efectivo cuando la broca entra en contacto con las esporas, al tratar de penetrar la cereza. Si el insecto ya entró a la cereza es difícil que el hongo lo pueda afectar.

El efecto del hongo *B. bassiana* en campo es evidente, se presenta y actúa como un enemigo natural permanente. Las epizootias cuando ocurren permiten apreciar el efecto del hongo notoriamente. Estas no se generalizan por la variabilidad agroecológica de la zona cafetera y por ser de ocurrencia esporádica no permiten esperar a que el hongo por sí solo mantenga el cultivo libre de broca.

3.2. Estudios preliminares de campo

En el primer estudio se logró una infección de Bb en la broca del 48,1% en promedio después de las tres aspersiones. En otro estudio se estableció el efecto del hongo sobre la broca durante un periodo de 119 días de evaluaciones después de realizar seis aspersiones. La infección por Bb se incrementó hasta alcanzar un promedio de 69,0% de infección. Las condiciones de húmedas en la zona de Ansermanuevo fueron más bajas que en Garzón, lo cual podría explicar en parte la diferencia de los resultados. En términos generales estos estudios mostraron que se podía inducir una infección por Bb y que los niveles se incrementan a medida que se hacen más aspersiones (Bustillo *et al.*, 1991).

3.3. Epizootiología

En el lote en estudio que fue colonizado por la broca a mediados de 1990 se pudo observar que en la medida en que se dispersó la broca espacial y temporalmente, asimismo se fue diseminando el hongo *B. bassiana*, el cual mostró una alta incidencia hacia finales del año. El seguimiento que se hizo muestra, como una proporción apreciable de la población de frutos infestados con broca fue infectada por el hongo alcanzando niveles a veces superiores al 75%. Es posible que estas evaluaciones visuales del hongo subestimen su acción ya que muchos indivi-

duos mueren pero el hongo no esporula sobre su cuerpo debido a condiciones adversas de humedad ambiente. (Bustillo *et al.*, 1991).

La tendencia de las poblaciones indicó que Bb tiene buena capacidad de dispersión, se establece en los cafetales, es capaz de ejercer un control sobre las poblaciones de broca el cual es variable y depende tanto de condiciones de densidad de la plaga, como de las ambientales de humedad y radiación (Vélez & Montoya, 1993). Una conclusión preliminar e importante de este estudio es que a pesar de las altas infecciones del hongo los niveles de infestación, a pesar de que se redujeron considerablemente, son aún bastante altos para evitar que la broca ocasione daño económico, por tanto se requiere complementarlo con otras medidas de control dentro de un esquema MIB.

3.4. Evaluación de concentraciones y equipos de aspersión en el control de la broca en condiciones de campo

En los resultados se encontraron mortalidades altas causadas por *B. bassiana* sobre la población de broca expuesta al cabo de 35 días de la aspersión. En el análisis de varianza no se encontró interacción entre equipo por dosis, ni entre dosis, ni entre equipos, es decir no se detectaron diferencias estadísticas entre los equipos y las dosis evaluadas. Los niveles de infección más altos (90,6%) se alcanzaron con el equipo Motax a la dosis de 1×10^{11} esporas / árbol; en términos generales la infección por el hongo se incrementó en la medida en que se incrementó la dosis. La presencia en el testigo de una alta mortalidad por el hongo a pesar de haberse empleado las mangas entomológicas indica que pudo ocurrir contaminación en la aplicación de los tratamientos. (Flórez *et al.*, 1997)

3.5. Efecto de *Beauveria bassiana* Bb 9205 en el control de la broca del café en cafetales

Con el fin de dilucidar interrogantes sobre el comportamiento patogénico de Bb9205 sobre poblaciones de broca en campo, se adelantaron varios estudios cuyos resultados se presentan a continuación:

3.6. Efecto de los niveles de infestación de broca

Al asperjar Bb a razón de $2,1 \times 10^8$ esporas/árbol en cafetos con niveles entre 0-2, 3-5, 8-12, 15-20 y 25-30% de infestación se obtuvo un control que fluctuó entre el 19 y 30%, siendo estadísticamente iguales, por lo tanto, el efecto patogénico inmediato de Bb en los cafetales es independiente del porcentaje de infestación de broca. (Arcila & Bustillo, 1997).

3.7. Efecto del sombrío

Al asperjar Bb en árboles ubicados bajo sombra, semisombra y libre exposición, en donde las ramas infestadas recibían 12, 56 y 79% de Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA), considerando como 100% la RFA en un espacio descubierto, se obtuvo respectivamente una mortalidad media de 80, 64 y 50%, estadísticamente ($P=0,05$) no hubo diferencia entre los dos primeros y entre el segundo y el tercero, advirtiendo que la primera condición fue artificial por cuanto se eliminaron ramas para permitir una radiación directa la mayor parte del día. Los datos muestran una tendencia a incrementarse la eficacia del hongo cuando se incrementa la sombra; esta posiblemente no fue más evidente debido al autosombrío que normalmente tiene el café en altas densidades. (Arcila & Bustillo, 1997).

3.8. Efecto de la posición de la rama en el árbol

Al asperjar Bb 9205 sobre los estratos superior, medio e inferior del árbol, se obtuvo una mortalidad media de 32, 73 y 84% respectivamente; aunque estadísticamente ($p=0,05$) son iguales se observa un incremento en la mortalidad en las ramas bajas. Mediciones previas de RFA mostraron que los dos tercios superiores reciben significativamente más RFA que el inferior. Al comparar la mortalidad entre la parte interna y externa de la rama no se encontraron diferencias significativas. Los anteriores resultados sugieren que aplicando Bb técnicamente en mezcla con aceites emulsionables y agua la influencia de la sombra en los cafetales no es significativa para el control de la broca. (Arcila & Bustillo, 1997).

3.9. Residualidad de Bb

La permanencia del hongo en el cafetal, se evaluó infestando con broca las ramas del árbol el mismo día, 2, 4, 8 y 15 días después de la aspersión de Bb. El control obtenido fue de 74, 24, 21, 20 y 19% para cada caso; solo en los dos primeros tiempos hubo efecto de la aspersión; en los demás, se debió al control natural. (Arcila & Bustillo, 1997).

3.10. Efecto de diferentes dosis

La evaluación de cuatro dosis comprendidas entre 1×10^8 y 5×10^9 esporas/árbol de Bb 9205 permitió encontrar que a partir de 5×10^9 , se obtiene un incremento significativo de la mortalidad. (Arcila & Bustillo, 1997).

3.11. Efecto de la adaptación de la cepa a condiciones de campo

Un aislamiento de Bb 9205 mantenido en laboratorio por cinco años y reactivado sobre broca periódicamente

se confrontó, con uno del mismo origen pero obtenido de un cafetal después de dos años de haber sido introducido. Los resultados de control de calidad en laboratorio mostraron una mortalidad del 100% para los dos aislamientos. Sin embargo, cuando fueron comparados bajo condiciones de campo se encontró una mortalidad sobre broca del 51% para el mantenido en laboratorio y 64% para el de campo. Lo anterior prueba la hipótesis de que el hongo en los cafetales al estar expuesto a las condiciones ambientales sufre una selección natural hacia poblaciones más tolerantes a estas condiciones, por lo tanto es apropiado tener en cuenta este factor en procesos de selección de entomopatógenos. (Arcila & Bustillo, 1997).

3.12. Efecto de Bb en poblaciones de broca en el suelo

Una de las causas de reinfestación en los cafetales cuando terminan las cosechas se atribuye a la población remanente de *H. hampei* que permanece en el suelo como consecuencia de la caída de frutos infestados. *B. bassiana*, es el principal factor de mortalidad natural de la broca presente en todas las regiones cafeteras colombianas infestadas por este insecto; por su parte *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, se considera un entomopatógeno de insectos del suelo que puede tener acción sobre la broca.

Se evaluó a través del tiempo el efecto sobre la broca que emerge de frutos caídos, de aspersiones al suelo de *B. bassiana* y *M. anisopliae*. La investigación se desarrolló en la Subestación Experimental Maracay de Cenicafé localizada cerca de Armenia, en donde se seleccionaron dos lotes de café variedad Colombia de tercera cosecha con un área de 5000 m², durante la cosecha principal (entre septiembre y diciembre de 1996). Se evaluaron los dos hongos en lotes de café diferentes y en cada uno se establecieron 9 tratamientos con 10 repeticiones bajo un diseño completamente aleatorio. La parcela se formó con 9 árboles, a los que se les dejó sólo frutos verdes sanos en estado óptimo de ataque por broca, cubriendo el árbol central con una jaula de malla fina. Las esporas de los hongos utilizados se suspendieron en aceite emulsionable y agua usando una dosis de 1×10^9 c/árbol. En la base del árbol que sirvió como unidad experimental se depositaron 350 frutos infestados con broca, asperjando los hongos el mismo día y 2, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días después. La aspersión se dirigió al plato de cada árbol. Al cabo de 30 días se evaluó la infección por los hongos en los adultos presentes en frutos perforados en la parte aérea del árbol. (Bernal *et al.*, 1999; Bustillo *et al.*, 1999).

Los resultados mostraron que se puede simular una emergencia de brocas colocando frutos con broca en el

plato de los árboles para evaluar tratamientos contra la broca en el suelo. Los niveles más altos de infección por los hongos sobre la broca en las ramas de los árboles, se produjeron los cinco primeros días después de la infestación en el suelo; estos fueron cercanos al 30% para *B. bassiana* y del 11% para *M. anisopliae*; sin embargo la infección disminuyó posteriormente para ambos hongos, alcanzando de nuevo un pico hacia los 25 días de 24,3% para *B. bassiana* y de 7,7 para *M. anisopliae*. Lo anterior se puede explicar por la formación de propágulos que ocurre cuando se aplican entomopatógenos al suelo, debido probablemente a la acumulación de esporas infectivas sobre insectos atacados que reinfectan nuevos insectos para asegurar la perpetuación del microorganismo. (Bernal *et al.*, 1999; Bustillo *et al.*, 1999)

En relación con la recuperación de los hongos del suelo, se encontró concordancia con los resultados de infección en los frutos del árbol. Las dos especies se recuperaron aún después de dos meses y la fluctuación en las cantidades de unidades formadoras de colonia, se puede deber a la influencia de las lluvias y a la reproducción del hongo en el suelo (Bernal *et al.*, 1999; Bustillo *et al.*, 1999)

Los anteriores resultados muestran las bondades de *B. bassiana* en la regulación de la broca que emerge del suelo y permite concluir que su efecto es superior al de *M. anisopliae*; sin embargo, esta eficiencia se podría mejorar con otro tipo de formulaciones del hongo, p. e. una formulación granulada, que permita una mayor permanencia en el suelo para evitar la lixiviación causada por las lluvias.

Los resultados de campo de los experimentos para el control de la broca con *B. bassiana* realizados tanto en Colombia como en otros países (Sponagel, 1994; Lacayo *et al.*, 1994) muestran resultados muy variables, lo cual se puede atribuir a diferentes causas como: la calidad del bioinsecticida, equipos apropiados de aspersión, calibración de estos equipos y de los operarios, topografía de las fincas, la dinámica de la plaga y el momento oportuno de las aspersiones para dirigir las al estado susceptible de la plaga al hongo. Además de estos factores, las condiciones ambientales son muy importantes especialmente la humedad y la radiación solar. Esta última reduce la viabilidad de las esporas de Bb en el campo a medida que se incrementa el tiempo de la exposición solar (Vélez & Montoya, 1993).

Igualmente se desprende la idea de que se requiere emplear dosis altas, lo que plantea la necesidad de contar con formulaciones que se puedan asperjar con los equipos convencionales y con la tecnología de tamaño controlado de gota que básicamente usa equipos de volumen

bajo y ultra bajo sin que se presenten problemas de taponamiento. En Colombia para la aplicación a bajo volumen en café se desarrolló el equipo Motax en Cenicafé con la cooperación de la compañía Inglesa "Micron".

Castro (1995) en evaluaciones de campo del equipo Motax que produce gotas menores de 100 μm^2 , obtuvo cubrimientos entre 79 y 179 gotas / cm^2 utilizando tarjetas de papel kromacote colocadas alrededor de los frutos en las ramas. En esta investigación también se determinó el volumen de aplicación por hectárea entre 56 y 69 litros y el rendimiento de aplicación por día fue de 7142 (1 x 1,4 m)

Estos resultados son muy importantes no sólo para mejorar la eficiencia física y biológica de las aspersiones sino para reducir los costos de las mismas al realizarse las labores en menor tiempo y con menor consumo de agua que con los equipos convencionales. Sin embargo con 50 o 70 l/ha las formulaciones que emplean altas proporciones de inerte con respecto a las esporas, el problema de bloqueo de las mangueras y las boquillas es mayor que en los equipos convencionales. Igualmente se han detectado problemas empleando esporas lavadas de arroz cuando se quiere emplear altas dosis, porque al lavar el arroz, incluso utilizando filtros finos, pasa fécula que posteriormente se hidrata y se sedimenta causando igualmente bloqueo del equipo.

Las investigaciones en control biológico con hongos contra la broca del café son recientes y plantean un gran reto. Además de las muchas limitantes señaladas como responsables de la variabilidad de los resultados hay que agregar el hábito de ataque de la broca que la deja poco tiempo expuesta y su tamaño tan pequeño que hace difícil hacer blanco en ella. En el área de la tecnología de aspersiones y en el desarrollo de formulaciones más estables aún hay mucho camino por recorrer.

4. Conclusiones

El programa de introducción, desarrollo de métodos de producción masiva y evaluación de la eficacia en el uso de los parasitoides *Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea*, ha sido exitoso. Se logró demostrar como se puede desarrollar un agente de control biológico para ser utilizado en un programa de manejo integrado. Colombia es el primer país en lograr estos avances, que a largo plazo beneficiarán nuestra industria cafetera y permitirán un medio ambiente ecológicamente más sano. Hasta la fecha se han liberado cerca de 1500 millones de *C. stephanoderis*, 500 millones de *P. nasuta* y cerca de 300 millones de *P. coffea* en cafetales infestados con broca con el concurso de la industria pri-

vada, mostrándose así las bondades de estas asociaciones para poner en práctica los desarrollos de la investigación. Estos tres parasitoides se han establecido en todos los sitios donde se han liberado y se espera que jueguen un papel importante como reguladores naturales de las poblaciones de broca especialmente en aquellos sitios donde se encuentre concentrada la broca, es decir en los "focos".

Los estudios con entomopatógenos han sido muy fructíferos. Se lograron desarrollar a la vez el método de producción artesanal y el industrial del hongo *Beauveria bassiana* lo cual permitió adelantar evaluaciones sobre su eficacia en campo y colocar el hongo a disponibilidad del agricultor quien puede producirlo en su finca. Actualmente el hongo se ha utilizado en casi toda la zona cafetera infestada con broca, convirtiéndose *B. bassiana* en un factor de mortalidad natural; durante 1995 se estimó que en promedio el 45% de la población total de broca fue infestada por este hongo. El programa de introducción del hongo en la zona cafetera ha empleado desde 1992 hasta el presente más de 1000 ton de *B. bassiana* de una concentración promedio de 3×10^8 esporas/gramo. Los resultados de estas investigaciones han despertado el interés por realizar trabajos similares en otros cultivos y con otros hongos, aprovechando los conocimientos y experiencias derivadas de estos trabajos y de la experiencia obtenida por la industria privada.

5. Bibliografía

- Abraham, Y. J.; Moore, D.; Godwin G. 1990. Rearing and aspects of biology of *Cephalonomia stephanoderis* and *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyilidae) parasitoids of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bull. Ent. Res. 30:121-128.
- Antia, O. P.; Posada, F. J.; Bustillo, A. E.; González, M. T. 1992. Producción en finca del hongo *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café. Cenicafé, Avances técnicos No. 182, 12 p.
- Arcila, A.; Bustillo, A. E. 1997. Estudios básicos sobre *Beauveria bassiana* en cafetales de Colombia. Informe no publicado disciplina de Entomología. Cenicafé, Chinchiná, 22 p.
- Aristizábal, L. F.; Baker, P. S.; Orozco, J.; Chaves, B. 1997. Parasitismo de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem sobre una población de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) con niveles bajos de infestación en campo. Rev. Colombiana Ent., 23 (3-4): 157-164.
- ; Bustillo, A. E.; Baker, P. S.; Orozco, J.; Chaves, B. 1998. Efecto depredador del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) sobre los estados inmaduros de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) en condiciones de campo. Rev. Colombiana de Ent., 24 (1-2): 35-42.
- Bacca, R. T. 1999. Efecto del parasitoide *Prorops nasuta* Waterston (Hymenoptera: Bethyilidae) sobre poblaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Santafé de Bogotá, D.E. (Colombia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. 1999. 186 p. 76 Refs. (Maestría en Ciencias Agrarias).
- Barrera, J. F.; Baker, P. S.; Schwarz, A.; Valenzuela, J. E. 1987. Control biológico de la broca del café mediante parasitoides: Problemas y perspectivas IICA, X Seminario sobre caficultura Latinoamericana, Nov. 12-13, 1987. Tapachula, México, Promecafé, p. 187-199.
- ; Infante, F.; Castillo, A.; De La Rosa, W.; Gómez, J. 1990a. Cría y manejo de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*, parasitoides de la broca del café. Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Medellín, Miscelánea No. 18, p. 76-86.
- ; Moore, D.; Abraham, Y. J.; Murphy, S. T.; Prior, C. 1990b. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Mexico and possibilities for further action. Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases, 1990, p. 391-396.
- ; E. Carrillo; R. Muñoz; M. Vega. 1990c. Proyecto mesoamericano de control biológico de la broca del café con parasitoides. En: IV Taller Regional sobre la broca del fruto del cafeto, San Salvador, El Salvador, 9 -12 octubre 1990. Resúmenes.
- Benavides, M.; Portilla, M. 1990. Uso del café pergamino para la cría de la broca del café, *Hypothenemus hampei* y de su parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* Betrem en Colombia. Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Miscelánea No. 18, p. 87-90.
- Benavides, P.; Bustillo, A. E.; Montoya, E. C. 1994. Avances sobre el uso del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. Revista Colombiana de Entomología, 20 (4): 247-253.
- Bernal, M. G.; Bustillo, A. E.; Chaves, B.; Benavides, P. 1999. Efecto de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre poblaciones de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) que emergen de frutos en el suelo. Revista Colombiana de Entomología, 25 (1-2): 11-16.
- Borbón, O. 1989. Bioecologie d' un ravageur des bajes de cafeier *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) et des ses parasitoides au togo. These du doctorat de L'Universite Paul-Sabatier de Toulouse Cedex, France. 185 p.
- Bustillo, A. E. 1995. El uso del hongo *Beauveria bassiana* como un componente en un programa de manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. XXII Congreso de Socolen, Memorias, Santafé de Bogotá, julio 26-28, 1995. p. 79-85.
- . 1998. Control of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, by fungal pesticides in Colombia. In: Proc. Internac. Workshop, 9 - 13 december 1996, Berlin, Germany. Biotechnology for crop protection - its potential for developing countries. Zentralstelle für Ernährung und Landwirtschaft (ZEL) - Feldafing/Zschortau, p. 219-229.
- . 2002. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Federacafé, Cenicafé, Chinchiná, Colombia. Boletín Técnico No. 24, 40 p.

- _____; **Castillo, H.; Villalba, D., Morales, E.; Vélez, P.** 1991. Evaluaciones de campo con el hongo *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* en Colombia. ASIC, 14e. Colloque, San Francisco, Estados Unidos, 1991. p. 679-686.
- _____; **Orozco, J.; Benavides, P.; Portilla, M.** 1996. Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en Colombia. *Cenicafé* (Colombia), **47** (4): 215-230.
- _____; **Cárdenas, R.; Villalba, D.; Benavides, P.; Orozco, J.; Posada, F. J.** 1998. Manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. *Chinchiná*, *Cenicafé*, 134 p.
- _____; **Bernal, M. G.; Chaves, B.; Benavides, P.** 1999. Dynamics of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* infecting *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) populations emerging from fallen coffee berries. *Florida Entomologist* **82** (4): 491-498.
- Castro, P. E.** 1994. Evaluación del rendimiento de aplicación del equipo de aspersión a bajo volumen "Motax", con el hongo *Beauveria bassiana* para el manejo de la broca del café (*Hypothenemus hampei*). Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, Tesis Ingeniero Agrónomo, Manizales (Colombia), 80 p.
- Cenicafé.** 1990. Manual de capacitación en control biológico. Ed. H. F. Ospina, *Cenicafé* - CAB - ODA, Chinchiná, Colombia, 174 p.
- Cisneros, P.; Tandazo, A.** 1990. Evidencias sobre el establecimiento del parasitoide *Prorops nasuta* W. en el suroriente de Ecuador. Sociedad Colombiana de Entomología, SOCOLEN, Medellín, Miscelánea No. 18, p. 50-57.
- Delgado, D.; Sotomayor, I.** 1990. Algunos resultados sobre la cría, adaptación y colonización de los entomógenos *Prorops nasuta* Waters. y *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, en la regulación de poblaciones de *H. hampei* en el Ecuador. Sociedad Colombiana de Entomología, Socolen, Medellín, Miscelánea No. 18, p. 58-95.
- Echeverry A., O. A.** 1999. Determinación del impacto de *Phymastichus coffea* La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) sobre poblaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), en la zona cafetera. Palmira (Valle del Cauca). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 1999. 113 p. 64 Refs. (Tesis Ingeniero Agrónomo).
- Flórez, E.; Bustillo, A. E.; Montoya, E. C.** 1997. Evaluación de equipos de aspersión para el control de *Hypothenemus hampei* con el hongo *Beauveria bassiana*. *Revista Cenicafé* **48** (2): 92- 98.
- González, M. T.; Posada, F. J.; Bustillo, A. E.** 1993. Desarrollo de un bioensayo para evaluar la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre *Hypothenemus hampei*. *Revista Cenicafé* **44** (3): 93-102.
- González G., M. T.** 1994. Evaluación de la patogenicidad de diferentes aislamientos de *Beauveria bassiana* de la colección de entomopatógenos. *Disciplina de Entomología, Cenicafé, Chinchiná* (Colombia). Informe anual de labores, octubre de 1993 - septiembre de 1994. 15 p.
- Hempel, A.** 1934. A *Prorops nasuta* Waterston no Brasil. *Arquivos do Instituto Biologico*, 5: 197-212.
- Junac** 1991. Informe final de la XXII Reunión del Comité Técnico Andino de la roya y la broca del café. Junta del Acuerdo de Cartagena. Manta, Ecuador, julio 7-14, 1991. s.p.
- Koch, V. J. M.** 1973. Abondance de *Hypothenemus hampei* (Ferr.), scolyte des graines de café, en fonction de sa plante - hôte et de son parasite *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, en Côte d'Ivoire. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen, Nederland* 73-16, 84 p.
- La Salle, J.** 1990. A new genus and species of Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae) parasitic on the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *Bull. Ent. Res.*, 80: 7-10.
- Lacayo, L.; Barrios, M.; Jiménez, C.; Sandino, V.** 1994. El uso de hongos entomopatógenos para el manejo de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Nicaragua. Ministerio de agricultura y ganadería. Managua (Nicaragua), MAG, P.V. Proyecto CATIE - INTA / MIP (NORAD - ASDI).
- López-Vaamonde, C.; Baker, P. S.; Cock, M. J. W.; Orozco, J.** 1997. Dossier on *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae, Tetrastichinae), a potential biological control agent for *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), in Colombia. CABI, IIBC, Ascot, UK & Cenicafé, Chinchiná, Colombia. 23 p.
- Moore, D.; Prior, C.** 1988. Present status of biological control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. In: *Proceedings of Brighton Crop Protection Conference. Pests and diseases*, 3: 1119-1123.
- Morales, E.; Cruz, F.; Ocampo, A.; Rivera, G.; Morales, B.** 1991. Una aplicación de la biotecnología para el control de la broca del café. In: *Colloque Scientifique International sur le café*, 14. San Francisco, 14-19 Juillet 1991, Paris, ASIC. p. 521-526.
- Orozco, J.; Aristizábal, L. F.** 1996. Parasitoides de origen africano para el control de la broca del café. *Avances Técnicos de Cenicafé* No. 223. Chinchiná, enero de 1996.
- Orozco, J.** 1999. Estudios de producción masiva de *Phymastichus coffea*. Informe de labores disciplina de Entomología, Cenicafé, Chinchiná. 15 p.
- Piza Jr, S. de; Fonseca; J. P. da.** 1935. *Heterospilus coffeicola* Schm. parasito da "broca do cafe" *Stephanoderes hampei* Ferr. *Arquivos do Instituto Biologico* (Brasil) 8: 179-199.
- Posada, F. J.** 1993. Control biológico de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) con hongos. In: *Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN)*, 20. Cali (Colombia). Julio 13 - 16 de 1993 *Memorias*, Cali (Colombia), p. 137-151.
- _____; **Bustillo, A. E.** 1994. El hongo *Beauveria bassiana* y su impacto en la caficultura Colombiana. *Agricultura Tropical* (Colombia), **31** (3): 97-106..
- Quintero, C., Bustillo A. E., Benavides, P., Chaves, B.** 1998. Evidencias del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*, en cafetales del departamento de Nariño,

- Colombia. Revista. Colombiana de Entomología, **24** (3-4): 141-147.
- Salazar, H. M.** 1998. Efecto de las liberaciones inundativas de *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae), para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolitidae), en fincas comerciales. Manizales (Colombia). Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía. 53 p. 38 Refs. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- Sponagel, K. W.** 1994. La broca del café *Hypothenemus hampei* en plantaciones de café robusta en la Amazonía Ecuatoriana. Wissenschaftlicher Fachverlag, Giessen, Alemania, 185 p.
- Ticheler, J. H. G.** 1963. Estudio analítico de la epidemiología del escolítido de los granos de café, *Stephanoderes hampei* Ferr., en Costa de Marfil. (Traducción G. Quiceno). Revista Cenicafé **14** (4): 223-294.
- Tronconi, N. M.; Argucia, R. D.; Muñoz R. J.** 1986. Evaluación de la eficiencia de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin en el control de la broca del fruto del cafeto, (*Hypothenemus hampei*, Ferrari 1867). En: IV Seminario de investigación Cafetera IHCAFE, Tegucigalpa, D.C. 9-11, julio, 1986. p.167-174.
- Vélez, P. E.; Posada, F. J.; Marín, P.; González, M. T.; Osorio, E.; Bustillo, A. E.** 1997. Técnicas para el control de calidad de formulaciones de hongos entomopatógenos. Boletín Técnico No 17. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. 37 p.
- Montoya, E. C.** 1993. Supervivencia del hongo *Beauveria bassiana* bajo radiación solar en condiciones de laboratorio y campo. Revista Cenicafé, **44** (3): 111-122.
- Vergara O., J. D.** 1998. Biología y comportamiento de *Phymastichus coffea* LaSalle (Hymenoptera: eulophidae), parasitoide de la broca del café en condiciones de campo. Medellín (Colombia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 67 p. 35 Refs. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- Yokoyama, M.; O. Nakano; R. L. Rigitano; L. Nakayama.** 1977. Situação atual da vespa de Uganda, *Prorops nasuta* Waterston, 1923 (Hymenoptera: Bethyilidae) no Brazil. Cientifica, **5** (3): 394.

Recibido el 10 de febrero de 2004.

Aceptado para su publicación el 25 de febrero de 2004.