

Artículo de revisión

Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia

A review of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), in Colombia

ALEX ENRIQUE BUSTILLO PARDEY¹

Resumen. La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari), es el insecto plaga más importante que afecta el cultivo del café no solo en Colombia, sino en casi todos los países productores causando pérdidas cuantiosas a los cultivadores. Debido a que es una plaga introducida en Colombia sin enemigos naturales, la primera estrategia fue la introducción desde África al país de agentes de control biológico como los parasitoides, *Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea*. Luego se llevaron a cabo investigaciones con el hongo *Beauveria bassiana*, para obtener cepas con actividad patogénica hacia la broca del café. Para estos agentes de control biológico, se desarrollaron procesos de producción masiva que permitieron su diseminación en toda la zona cafetera infestada por la broca. Posteriormente se estructuró un programa de manejo de la finca cafetera, que incluyó el conocimiento sobre la fenología del cultivo y el desarrollo de la broca, la evaluación de niveles de infestación, el control cultural, prácticas agronómicas que reducen la incidencia de la broca, evitando el escape de la broca en la etapa de beneficio del café, junto con los componentes biológicos enunciados arriba. El uso de insecticidas químicos se restringe a productos de baja toxicidad y poco impacto ambiental y se deben aplicar en aquellas situaciones en que los niveles de infestación lo ameriten, especialmente en sitios donde la broca se encuentra agregada. La integración de todas estas actividades con el fin de mantener las poblaciones de broca en niveles bajos, ha mostrado ser viable en las condiciones cafeteras de Colombia, como lo demuestran los resultados de las investigaciones.

Palabras clave: *Coffea arabica*. *Beauveria bassiana*. *Cephalonomia stephanoderis*. *Prorops nasuta*. *Phymastichus coffea*.

Abstract. The coffee berry borer (cbb) *Hypothenemus hampei* (Ferrari), is the most important pest of coffee not only in Colombia but in almost all coffee producing countries, causing severe crop losses for growers. Given that it a pest introduced to Colombia without its natural enemies, the first strategy was to introduce its agents of biological control from Africa to Colombia such as the parasitoids, *Cephalonomia stephanoderis*, *Prorops nasuta* and *Phymastichus coffea*. Research was then undertaken with the fungus *Beauveria bassiana* to obtain strains with pathogenic activity to cbb. Mass rearing processes were developed for these biological control agents to permit their dissemination in the entire coffee-growing region infested by the borer. Afterwards, a management program was structured for the coffee farm, which included knowledge of crop phenology and cbb development, evaluation of infestation levels, cultural control and agronomic practices that reduce cbb incidence, avoiding escape of the insect during the coffee processing phase, together with the biological components mentioned above. Use of chemical insecticides is restricted to products of low toxicity and low environmental impact and these should be applied in those situations where infestation levels merit it, especially in areas where cbb is found aggregated. The integration of all these activities to maintain cbb populations at low levels has been shown to be viable under the coffee-growing conditions of Colombia, as has been demonstrated in research results.

Key words: *Coffea arabica*. *Beauveria bassiana*. *Cephalonomia stephanoderis*. *Prorops nasuta*. *Phymastichus coffea*.

Introducción

El cultivo del café en Colombia representa el segundo renglón generador de divisas para el país. En 1991 participaba en el PIB total con el 5,3% y en el PIB agropecuario con el 23,4% (Cárde-

nas 1993). Por tanto, cualquier problema que lo afecte es de especial importancia para la economía colombiana. En 1988 se detectó la presencia de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia en el sur de Nariño. Este insecto, es

la plaga más importante que afecta el café en los países cafeteros donde ha llegado. Hace el daño al atacar el fruto del café y reproducirse internamente en el endospermo, causando la pérdida total del grano y en muchos casos su caída prematura, además reduce la calidad del producto

¹ Investigador Principal, Disciplina de Entomología, Cenicafé, Apartado aéreo, 2427, Manizales, Colombia. E-mail: alexe.bustillo@cafedecolombia.com

final (Cárdenas 1991; Bustillo 1991). Actualmente se encuentra infestando cerca de 800.000 hectáreas de café y afectando el patrimonio de más de medio millón de familias cafeteras colombianas.

La caficultura colombiana se ha mantenido libre de problemas de insectos a través de todo su desarrollo como explotación comercial. Solamente se han registrado ataques esporádicos de insectos como son: *Orthezia praelonga* Douglas, *Coccus viridis* (Green), *Planococcus citri* (Risso), *Disomicoccus brevipes* (Cockerell), *Leucoptera coffeella* (Guerin-Méneville), *Oxydia* spp. y el ácaro *Oligonychus yothersi* McGregor (ICA 1989; Cárdenas 1983, 1985). Estos insectos y ácaros no se han convertido en plagas serias debido a que el ecosistema cafetero es bastante estable, con buena biodiversidad y duradero, lo que favorece el desarrollo de la fauna benéfica, la cual mantiene en equilibrio las plagas presentes. Por otra parte en las zonas cafeteras no se han usado indiscriminadamente los insecticidas, hasta tal punto que Colombia es el único país en el mundo en el que la caficultura se manejó hasta la llegada de la broca, con muy poco uso de insecticidas (Bustillo 1991).

Esta situación de equilibrio se ha visto afectada con la aparición de la broca del café. La broca es una plaga exótica originaria de la zona ecuatorial del África e introducida accidentalmente al continente americano (Brasil) a principios del siglo pasado (Bergamin 1943). Por eso cuando llega a un lugar con condiciones favorables, desarrolla todo su potencial biótico sin ninguna restricción, alcanzando altos niveles de población debido a la carencia de agentes de control que han coevolucionado con ella en su sitio de origen (Bustillo 1991).

El uso de insecticidas como única medida de control de *H. hampei* no es recomendable. Esta práctica ampliamente usada en otros países cafeteros de América con presencia de broca (Decazy 1990a) tiene muchos inconvenientes. Uno es que las aspersiones con insecticidas solo son eficientes cuando se aplican oportunamente, esto es cuando el insecto esta penetrando el fruto y el producto entra en contacto con la broca, ya que una vez en el interior de la almendra, ningún insecticida ofrece un control satisfactorio. (Villalba *et al.* 1995). Por otra parte debido a las condiciones climáticas en Colombia el café presenta varias floraciones (Camayo y Arcila 1997), lo que origina que en zonas como el eje cafetero, exis-

tan durante todo el año muchos frutos susceptibles de ser atacados por la broca, (Vélez *et al.* 2000; Arcila *et al.* 1993). Esta situación genera una necesidad de controlar sus poblaciones a través de muchas aspersiones de insecticidas químicos, las cuales traerían como consecuencia problemas de contaminación ambiental, residuos no admisibles de insecticidas tanto en la planta como en el suelo, riesgos para la salud de sus habitantes y de la vida animal en los cafetales, desequilibrios biológicos al eliminar la fauna benéfica ocasionando el surgimiento de insectos que antes no eran plagas (Bustillo *et al.* 1993).

El uso continuado de insecticidas también conduce al desarrollo de resistencia como ha sido comprobado para el endosulfan en Nueva Caledonia (Brun *et al.* 1989, Ffrench-Constant *et al.* 1994) y recientemente en Colombia (Góngora *et al.* 2001). Como consecuencia de lo anterior, es necesario utilizar todas las herramientas que se encuentren disponibles para combatir la broca como son: prácticas de control cultural, de manejo agronómico del cultivo del café que reduzcan sus poblaciones, el fomento de la fauna benéfica, la introducción desde su sitio de origen de enemigos biológicos como parasitoides y entomopatógenos que jueguen un papel importante sobre las poblaciones de broca. Entre estos organismos, los parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, *Prorops nasuta* Waterston, *Phymastichus coffea* La Salle y el hongo *Beauveria bassiana* (Báls.) Vuillemin, se consideran componentes importantes en un programa de control biológico de la broca del café (Orozco y Aristizábal 1996; Orozco 1995; Bustillo 1995, 1991).

El anterior enfoque está enmarcado dentro del concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP) (Andrews y Quezada 1989; Rabb y Guthrie 1970; NCA 1969). El MIP proporciona una serie de principios y conceptos sobre control de plagas que se integran y en una forma teórica se esbozan para establecer un derrotero ecológico en la solución del problema. Por lo tanto, el MIP es flexible, dinámico, susceptible siempre de mejorarse, aunque su comprensión y adopción por parte de los agricultores puede ser difícil. En el caso de *H. hampei*, el desarrollo del programa de manejo integrado de la broca (MIB) (Benavides y Arévalo 2002; Bustillo 2002; Bustillo *et al.* 1995), se ha enfocado dentro del siguiente marco teórico: "El uso de una serie de medidas de con-

trol (culturales, biológicas y químicas) y de prácticas agronómicas tendientes a reducir las poblaciones de la broca en los cafetales a niveles que no causen daño económico y que permitan la producción de café para exportación en forma competitiva. Las medidas de control que se utilicen deben ser compatibles y no causar efectos deletéreos a los moradores de la zona cafetera, a la fauna, ni contaminar el ecosistema cafetero"

Distribución de la broca del café

La broca es originaria del África ecuatorial y fue introducida al continente americano a principios del siglo pasado. Actualmente se encuentra prácticamente en todos los países productores de café (Le Pelley 1968). En Colombia se registró por primera vez en el sur hacia 1988 y su dispersión ha sido rápida ya que encontró condiciones muy favorables para su desarrollo debido especialmente al clima, a la continuidad de la zona cafetera y su grado de tecnificación, que le aseguran suministro permanente de alimento (Bustillo 1991).

Un análisis de la distribución de la broca a nivel mundial usando herramientas moleculares es presentado por Benavides (2005b) y Benavides *et al.* (2005). Esta información sugiere una invasión en Asia de la broca procedente del oeste africano y se presume que algo similar ocurrió en América. Después de amplificar cientos de *loci* a partir de muestras de broca provenientes de 17 países en tres continentes (África, Asia y América) mediante AFLP, confirmaron el origen de esta plaga en Etiopía, y documentaron su dispersión mundial y la invasión de Asia y América a partir de insectos del Oeste Africano. La distribución de las huellas dactilares y su relación genética, determinada por un análisis de Neighbor-Joining, indicó que dos introducciones de broca en Brasil se dispersaron posteriormente a través de las Américas y una tercera introducción en América fue evidente en Perú y Colombia (Benavides 2005a).

Muchos insectos tratan de migrar como un mecanismo de supervivencia. En el caso de la broca existe una proporción de adultos que vuela y se dispersa, por consiguiente es casi imposible erradicar un insecto con aspersiones de insecticidas o control cultural si en un momento dado parte de su población está volando y otra parte esta refugiada en otros cafetales donde no se están haciendo prácticas para reducir su población. Por lo tanto,

una vez la broca aparece en una zona hay que tratar de convivir con ella (Baker 1984).

En la selva tropical donde se originó la broca hace mucho tiempo se supone que había una gran diversidad de especies y por tanto los cafetos se encontraban dispersos y con baja producción de frutos, lo cual obligaría a la broca a adaptarse a desplazamientos largos. La broca vuela levantándose lentamente y casi en forma vertical hasta encontrar corrientes de aire que la arrastran a otros sitios y puede mantenerse libremente hasta una hora y media y más de tres horas en vuelos sucesivos (Baker 1984).

En un estudio en Colombia para evaluar las poblaciones de la broca y su dispersión a cafetales vecinos después del zoqueo, sin retirar los frutos de los árboles zoqueados, se encontró que el potencial de estados biológicos vivos de broca en estos lotes de una hectárea era de 5.800.000 y se observó que su reproducción continuaba aún después de tres meses de estar en el suelo. En los primeros 30 días emerge del suelo la mayor cantidad de adultos de broca y se triplica el porcentaje de infestación en los lotes vecinos. A los 70 días después del zoqueo cerca del 80% de la población de adultos de broca emergió y se continuaron registrando emergencias aún después de 150 días. Esto implica que se tiene un flujo constante de brocas hacia los cafetales vecinos, lo que dificulta y encarece el control de la broca (Castaño *et al.* 2005). Esta información ratifica la necesidad de seguir las recomendaciones de Cenicafé sobre zoqueo, que en esencia se reducen al remover los frutos brocados de los árboles antes de desrreararlos, usar árboles trampas y cosecharlos oportunamente (Cenicafé 1995a).

Generalidades sobre la biología de la broca

En África el cafeto es una planta que en su estado natural debió encontrarse bajo sombra proporcionada por árboles grandes en la selva. Por esto se presume que la broca sea un insecto adaptado a las condiciones de sombrío, lo cual se ha comprobado en cafetales en América (Baker 1984). Sin embargo, esto no quiere decir que sea más abundante en estos ecosistemas ya que la producción de frutos de los cafetos bajo esta condición es menor que a libre exposición. En los cafetales, a libre exposición plantados en altas densidades de las variedades Catuira y Castilloã, se produce un auto som-

brío que favorece el ataque de la broca pero debido a las altas producciones de frutos de café se pueden reproducir más brocas por unidad de superficie (Bustillo *et al.* 1998).

Los compuestos volátiles son aquellos que se evaporan fácilmente en el aire. Las sustancias volátiles proporcionan señales a los insectos sobre su existencia, para poder dirigirse a ellos. La broca es primero atraída por metabolitos secundarios que produce el cafeto en su proceso de formación del fruto y luego por el color y la forma del fruto. Las que llegan después son atraídas por los mismos factores, pero también por los volátiles liberados por la primera broca. Hay evidencias (Giordanengo *et al.* 1993) que en los desechos fecales se producen sustancias que atraen otras hembras. Las hembras de la broca debido a esto tienden a agregarse al llegar a un cafetal concentrándose en ciertas ramas y árboles.

Comportamiento reproductivo de la broca

La reproducción de *H. hampei* presenta una alta endogamia, en la que la broca colonizadora da lugar a una progenie de muchas hembras, y pocos machos. Los machos no vuelan y permanecen en el fruto y las hembras copulan con sus hermanos lo cual ocurre antes de salir de los frutos para ir a colonizar nuevos frutos de café. Este aspecto es acentuado por el mecanismo de la haplodiploidía funcional en el cual tanto las hembras como los machos son diploides, pero estos últimos fallan en expresar y transmitir los cromosomas paternos (Brun *et al.* 1995).

Recientemente, se ha propuesto un mecanismo para explicar el comportamiento reproductivo de la broca que tiene que ver con la determinación sexual, en el que predominan las hembras sobre los machos. Ninguno de los siete cromosomas presentes en su forma haploide en la broca (Brun *et al.* 1995) han sido ligados a la determinación sexual, se sugiere que probacterias del género *Wolbachia*, encontrada recientemente como un endosimbionte en la broca, es la causante de la determinación sexual (Vega *et al.* 2002), de la misma forma como ha sido descrita en otras especies de insectos (Benavides 2005b).

Ciclo de vida y hábitos de la broca

El ciclo de vida de la broca ha sido estudiado por varios autores (Baker *et al.*

1992a; Decazy 1990a; Muñoz 1989; Baker 1984; Ticheler 1963; Bergamin 1943; Corbett 1933). En Colombia se han llevado a cabo varios estudios al respecto (Ruiz 1996; Ruiz *et al.* 1996; Gaviria *et al.* 1995; Montoya y Cárdenas 1994). Existen considerables diferencias en cuanto a la información sobre la duración de sus estados, pero esto obedece fundamentalmente a diferencias en las condiciones ambientales de los diversos estudios, especialmente de temperatura. El adulto hembra de la broca del café una vez emerge de la pupa está listo para aparearse y unos tres días después puede iniciar posturas. Su período de oviposición es de unos 20 días y coloca entre dos y tres huevos/día. El número de días que puede permanecer ovipositando se estima en Colombia en 15 días, La incubación del huevo dura 7,6 días (23°C) y el estado de larva 15 días para los machos y 19 días para las hembras, la prepupa dos días y la pupa 6,4 días (25,8°C). El ciclo total de huevo a emergencia de adulto se estima en 27,5 días (24,5°C). Sin embargo el tiempo generacional, o sea el tiempo que tarda en iniciarse otra generación del insecto, bajo condiciones de campo se estima para la zona cafetera colombiana en 45 días a una temperatura promedio de 22°C y de unos 60 días para una temperatura de 19°C. La relación de sexos es aproximadamente de 1: 10 en favor de las hembras (Ruiz 1996).

El adulto macho de la broca no tiene sino función reproductora. Es de menor tamaño, y se encuentra siempre en el interior de los frutos, además es incapaz de perforar un fruto. Debido a que los músculos de sus alas se encuentran atrofiadas no puede volar. Este comportamiento explica el porqué no es viable el uso de atraentes sexuales para el manejo de este insecto (Bustillo *et al.* 1998).

Una vez que la hembra colonizadora inicia su oviposición, permanece en el interior del fruto del café hasta su muerte cuidando de su progenie. Bajo condiciones de la zona central cafetera se ha determinado que en un fruto de café, desde el momento que es susceptible al ataque de la broca hasta la época de cosecha, se pueden producir dos generaciones de la broca. Si estos frutos no se cosechan y se dejan secar en el árbol, se puede llegar a cuatro generaciones (Ruiz 1996).

Al hacer observaciones sobre el tiempo que una hembra demora en penetrar un fruto, se encontró que éste varía de acuerdo con el estado de desarrollo del fruto

así: frutos verdes requieren en promedio 5 horas 36 minutos, mientras que frutos pintones 5 horas 54 minutos, frutos maduros 4 horas 50 minutos y frutos secos 11 horas 21 minutos (Miguel y Paulini 1975). Lo anterior indica que hay una tendencia de la broca a penetrar con mayor rapidez en los frutos maduros.

En estudios realizados en Colombia en cafetales a altitudes entre 1.200 y 1.350 m, se encontró la influencia directa que tiene la acumulación de la materia seca en el fruto de café sobre el tiempo que tarda el insecto desde el inicio de la perforación hasta iniciar la oviposición. Este tiempo fluctúa entre 91 días para frutos de 60 días de edad (11% de peso seco) hasta sólo cuatro días en frutos de 210 días de edad (33% de peso seco) (Ruiz 1996). Aquí también se debe tener en cuenta la diferencia que existe en el desarrollo de los frutos del café en Colombia, que harían variar estos datos. Cuando se encuentra el cafetal a unos 1200 m de altura (22°C) el desarrollo desde floración a cosecha puede tomar siete meses, pero a 1800 m de altura (19°C) este desarrollo puede ser de nueve meses (Vélez *et al.* 2000; Jaramillo y Guzmán 1984).

Cuando la broca inicia ataques a frutos no muy desarrollados (<150 días) el tiempo de exposición en el canal de penetración es muy prolongado ya que espera a que la consistencia de las almendras sea la adecuada para iniciar su oviposición; este comportamiento hace vulnerable al insecto al tratamiento con insecticidas químicos y biológicos durante este tiempo (Villalba *et al.* 2006).

La información anterior muestra la importancia de realizar labores de control dirigidas a los adultos a tiempo, ya que una vez la broca alcanza el endospermo sólo es controlable con la recolección oportuna del café o con la liberación de parasitoides que puedan entrar y atacar los estados de la broca dentro del fruto.

La fenología del cafeto en relación con la broca

Aunque el árbol de cafeto suele florecer después de las lluvias que siguen a un periodo de sequía (déficit hídrico), en el año se presentan en la región cafetera central dos periodos definidos de floraciones correspondientes a la cosecha principal del segundo semestre y a la mitaca o cosecha del primer semestre. El primer periodo va de mediados de marzo a finales de mayo y el segundo desde principios de septiembre hasta finales de

noviembre (Vélez *et al.* 2000; Camayo y Arcila 1997; Arcila *et al.* 1993).

Estudios sobre el desarrollo del fruto del café (Salazar *et al.* 1993; Jaramillo y Guzmán 1984) han demostrado que entre la antesis y el fruto maduro transcurren 32 semanas y que el fruto alcanza un 20% de peso seco entre 110 y 140 días después de la floración. Se comprobó que la broca puede atacar los frutos desde 70 días después de la floración, pero tan sólo en frutos mayores a 120 días cuando éstos tienen más del 20% de peso seco, los encuentra aptos para iniciar su reproducción mediante la oviposición (Salazar *et al.* 1993). Ruiz (1996) demostró que la oviposición ocurre en menos de 4 a 5 días en frutos mayores a 150 días con un peso seco del 27%, mientras que esta toma hasta 90 días cuando se expone a frutos de 60 días de edad.

El registro de las floraciones en las fincas es muy importante porque permite hacer predicciones sobre el tiempo de ocurrencia de la cosecha, sus picos y los momentos críticos de posibles ataques de la broca (Bustillo 2002). Esta información es muy útil para un programa de manejo de la broca y lograr una mayor eficiencia para controlar las poblaciones de la broca que estén penetrando los frutos.

Efecto de la humedad y temperatura sobre la broca

La humedad afecta la mortalidad y el potencial reproductivo de la broca. A bajas humedades ocurre alta mortalidad y la máxima fecundidad se encontró entre 90% y 93,5% de H.R. La emergencia de la broca de frutos infestados se incrementa a humedades altas entre 90 - 100% H.R. y es muy baja a temperaturas inferiores a 20°C (90-100% H.R.) y se incrementa considerablemente entre 20-25°C (Baker *et al.* 1992b, 1994)

Los periodos prolongados de sequía en los cafetales causan la caída de frutos, se acelera la maduración y las almendras resultan mal formadas y de calidad inferior. Si estos están infestados con la broca su desarrollo también es más rápido o sea que el tiempo generacional es más corto, hay una mayor reproducción dentro de los frutos caídos al no recibir humedad por las lluvias. La broca, como se dijo antes, no emerge de los frutos durante los periodos secos generando una gran descendencia la cual inicia su salida cuando comienzan las lluvias. Durante los periodos lluviosos se presenta una emergencia muy continua pero en cantidades muy bajas debido a que por efecto de las

precipitaciones la broca no se reproduce en grandes cantidades dentro de los frutos (Cenicafé 1997, 1998).

Efecto de la broca sobre la producción de café

El daño que ocasiona la broca al fruto de café, consiste en perforaciones a los frutos y caída de estos cuando atacan frutos jóvenes. Se encontró que cuando la broca ataca frutos de café de dos meses de edad, más del 50% de los frutos afectados se caen de las ramas y muchos de ellos toman un color característico de madurez; pero si el ataque ocurre después de los tres meses de edad, la caída de frutos es menor al 23,5%. La pérdida de peso del café pergamino seco por causa de la broca fue en promedio de 18,1%, y los frutos que fueron atacados tempranamente se maduran prematuramente, lo cual repercute en un manchado del pergamino de los granos sanos (Alzate 1993).

Los componentes del manejo integrado de la broca del café

Muestreo y umbrales de daño económico

El daño causado por la broca del café, hace que se deban tomar medidas de control eficientes, en el momento oportuno y cuando el insecto amenace causar pérdidas económicas. Por lo tanto un requisito importante en un programa de manejo integrado es el de poder medir una población en el campo en un momento dado y correlacionar esta población con el daño que se obtiene cuando el cafetero vende su cosecha.

En el caso de la broca y otros insectos es imposible hacer un censo por lo que se debe acudir al muestreo apoyado en fundamentos estadísticos (Taylor 1984; Southwood 1978; Cochran 1977; Elliott 1977). Para el caso de *H. hampei* el diseño del muestreo se ha basado en investigaciones realizadas en Centroamérica (Decazy 1990b, 1990c; Baker 1989; Baker *et al.* 1989; Muñoz 1988) y discusiones con especialistas en la materia. En general se ha establecido que para una hectárea de café (universo de muestreo) es suficiente muestrear 30 sitios por hectárea (tamaño de la muestra) y en cada sitio se escoge un árbol y en este se selecciona una rama en la zona productiva que tenga entre 30-100 frutos (unidad de muestreo) y se contabiliza el total de frutos en la rama y el total de frutos brocados. Esta evaluación se demora en promedio 42 min (Bustillo *et al.* 1998). Una variante de este plan de muestreo se

ha validado recientemente con caficultores, y esta basado en la calibración de la población de frutos en una rama a través de una medida. Este muestreo es más rápido y la información generada es estadísticamente igual al de las ramas (Trujillo *et al.* 2006; Bustillo y Mejía 2003).

Estos planes de muestreo son apropiados y aconsejables para evaluar niveles de infestación de la broca, siempre y cuando se los realice recorriendo los lotes de café en una forma representativa. Se recomienda hacer estas evaluaciones mensualmente, y por lotes para poder hacer seguimiento a las poblaciones de broca y tomar las medidas de control oportunamente en la finca (Bustillo *et al.* 1998).

El recorrido de los lotes, también permite al evaluador localizar sitios de concentración o "focos" de broca, en donde se deben intensificar los esfuerzos de control. Por otra parte a medida que se evalúa el nivel de infestación se pueden tomar muestras aleatorias de 2 a 3 frutos brocados/sitio, que al abrirlos dan información sobre el grado de penetración de la broca. Esta muestra también permite evaluar cualquier medida de control al relacionar la población de broca muerta con el total de brocas encontradas en toda la muestra. El nivel de infestación de broca en un lote, su localización dentro del lote y la posición de la broca en el fruto es información básica para poder tomar decisiones de control (Bustillo 2002; Bustillo *et al.* 1998).

La pérdida económica al momento de la venta del grano por el caficultor, está establecida por normas de la Federación Nacional de Cafeteros, que estipula un nivel máximo de defectos en el café pergamino del 5,0%, incluyendo daño por broca. Esto indica que al establecerse un tope del 2% de daño por broca en café pergamino, significa que en los cafetales a la cosecha no deben tener más del 5% de infestación. El 5% de infestación de café cereza produce 2,5% de infestación en café pergamino, ya que en la mayoría de los casos sólo uno de los dos endospermos está atacado por la broca. Además se estima que en el proceso húmedo de beneficio del café un 20% del café brocado se puede separar, resultando una reducción adicional del 0,5% en la infestación del pergamino para teóricamente llegar a un 2% de infestación en el pergamino seco (Fajardo y Sanz 1999). El umbral durante los periodos entre cosechas no debe sobrepasar el 2% con el fin de no correr riesgos.

Con frecuencia se indica por parte de los cafeteros que los niveles de infestación en campo no correlacionan con las mediciones al momento de la venta de café. Sin embargo, esto se puede explicar por diferentes circunstancias: 1) las evaluaciones no se realizan apropiadamente en una forma representativa y con la frecuencia establecida; 2) los datos de los niveles de infestación se confunden y no se llevan por lotes; 3) al momento del beneficio se mezcla el café de diferentes lotes; 4) no se realizan oportunamente los pasajes de cosecha, por lo tanto caen muchos frutos brocados que posteriormente dan lugar a la emergencia de brocas y al incremento de los niveles de infestación en las poblaciones de frutos que vienen madurando durante la cosecha (Bustillo *et al.* 1998).

Uso de trampas para el monitoreo de poblaciones de broca

Complementario a los muestreos para la determinación de niveles de infestación de broca en los cafetales, se están evaluando las trampas cebadas con mezclas de alcoholes y terpenoides para detectar los vuelos de broca. Se ha demostrado que la broca del café es atraída a trampas cebadas con una mezcla de alcoholes y los datos de las capturas muestran que estas trampas localizadas en los cafetales sirven como una herramienta de alerta para los caficultores para conocer cuando la broca está volando en busca de nuevos frutos (Bustillo y Jiménez 2003; Posada *et al.* 2003; Dufour 2002). En estudios previos se ha documentado la atracción que ejercen mezclas de alcoholes sobre adultos de broca, los cuales en los cafetales provienen de los procesos metabólicos de la maduración de los frutos de café (Cárdenas 2000; Mendoza 1991).

En experimentos de libre elección, las hembras adultas de la broca del café prefirieron las cerezas rojas sobre las verdes y fueron más atraídas a volátiles emitidos por las cerezas rojas (Mendoza *et al.* 1999; Giordanengo *et al.* 1993). En el estudio de Ortiz *et al.* (2004) encontraron que la emisión de volátiles de frutos de café era mayor en los frutos maduros que en los verdes. La composición de volátiles emitida por las cerezas del café estuvo dominada por altos niveles de alcoholes, especialmente etanol, en todos los estados de maduración en comparación con otros compuestos. Las cerezas sobre maduras tienen emisiones de volátiles más altas y muestran una composición en la que predominan los esteroides,

seguida de alcoholes, quetonas y aldehídos. Los compuestos de niveles más bajos fueron los monoterpenos. El 2 metil-furan se detectó en varios estados de maduración, este compuesto no se había registrado con anterioridad como un volátil de la cereza del café (Ortiz *et al.* 2004). Otros investigadores han encontrado en frutos de café monoterpenos diferentes tales como: β -myrceno, 1-phellandreno, α -terpineno, β -ocimeno y (+)-2-careno (Mathieu *et al.* 1998).

Recientemente se ha desarrollado un difusor para el atrayente de la broca que permite liberación de los alcoholes a una tasa de 186 mg / día (Borbón *et al.* 2002). Este dispositivo utilizado con un nuevo diseño de la trampa es muy eficiente como lo demuestran las evaluaciones hechas en Nicaragua y Costa Rica (Borbón *et al.* 2002). El difusor es fabricado con una membrana plástica a través del cual se disemina el cebo que permanece activo durante ocho semanas, es decir que su liberación toma cerca de dos meses, tiempo al cual se debe cambiar por uno nuevo. La mezcla de alcoholes utilizada en estos cebos está conformada por alcoholes metílico y etílico en la proporción de 3: 1.

Evaluaciones en Colombia muestran que estas nuevas trampas capturan más brocas que las convencionales que se venían evaluando, multiplicándose las capturas por factores de 200 (Bustillo 2004a). Las trampas cebadas con atrayentes para la captura de la broca del café son una herramienta importante para estudiar la dinámica de los vuelos de broca en los cafetales. A través del registro ordenado de su captura se pueden determinar los patrones de vuelo de la broca en una finca o también en una región si estos se consolidan. Esta información es importante para que el cafetero pueda tomar medidas de manejo más eficientes al poder decidir sobre el momento más oportuno de controlar la broca cuando el insecto este perforando los frutos de café (Bustillo 2004a).

En las localidades en donde la cosecha principal es en el segundo semestre del año, la frecuencia de los vuelos de la broca y su proporción, es mayor entre enero y mayo que en el resto del año (Bustillo 2005). Los mayores picos se logran entre marzo y abril. Si se logra establecer una red de trampas en una región y se centraliza el análisis de la información, esta se puede convertir en un mecanismo de alerta para el caficultor en las diferentes regiones cafeteras (Bustillo 2005).

Actualmente se adelantan investigaciones para determinar densidades óptimas de trampas por área con el fin de establecer su viabilidad en la reducción de niveles de infestación (Cardona y Bustillo 2006).

Control cultural

Al analizar el daño que la broca hace al café y su biología y comportamiento de ataque, es fácil deducir que las labores agronómicas del cultivo, especialmente la cosecha juega un papel importante en la reducción de las poblaciones de esta plaga. Se ha demostrado que en los cafetales después de la cosecha queda en los árboles y en el suelo un 10% de la producción (Chamorro *et al.* 1995). Con la presencia de la broca esta situación es muy complicada porque se está dejando un reservorio de alimentación a la broca para su reproducción. Por otra parte aunque la broca se considera como una plaga de la parte aérea de los frutos de café, nuestros estudios han demostrado su capacidad de reproducirse en frutos sanos que han caído al suelo. Esto se comprobó experimentalmente, la broca que emerge de los frutos infestados caídos al suelo es capaz de atacar frutos sanos que también se encuentren en el suelo (Bustillo *et al.* 1998).

Existen muchas prácticas agronómicas que se pueden llevar a cabo durante el desarrollo del cultivo y que son muy importantes para mantener niveles de población de broca bajos, las cuales se discuten a continuación:

Los frutos sobre maduros y especialmente los secos, constituyen el reservorio de donde surgen las poblaciones que van a dañar la siguiente cosecha. En los frutos secos "guayaba" es frecuente encontrar muchos adultos de broca, que salen tan pronto las condiciones climáticas son favorables. Si estos frutos no se tratan o benefician inmediatamente, se da oportunidad a la broca para que los abandone y vuelva al cafetal. Estos resultados son el soporte de la recomendación sobre una recolección exhaustiva de los frutos sobre maduros y secos (repose) después de la cosecha, como práctica fundamental para mantener niveles bajos de daño por broca del café en la finca (Cenicafé 1994b).

Esta población de frutos se debe tratar inmediatamente con calor. Si los volúmenes de café son pequeños se pueden colocar en una olla con agua hirviendo durante 30 minutos. Si se posee un silo para el secado del café, este se puede so-

meter a temperaturas de secado de 55°C durante unos 15 minutos. En caso que no se pueda realizar lo anterior, otra alternativa es hacer una fosa en la finca y depositar los frutos cubriéndolos con una capa de tierra de unos 10 cm (Cenicafé 1994a, 1995b).

En Colombia se demostró que las prácticas de cosechas oportunas y recolección de los frutos maduros dejados por los cosecheros, redujeron los niveles de infestación de un 70% a menos del 6% durante un ciclo de cosecha (Peralta 1995; Saldarriaga 1994). Estudios posteriores han indicado que es factible que los cosecheros disminuyan los frutos que dejan de cosechar en los árboles después de un pase de cosecha. Como norma para el control de un buen recolector se ha establecido que sólo es permitido un máximo de cinco frutos maduros por árbol después de un pase de cosecha (Díaz y Marín 1999). Esto se ha comprobado satisfactoriamente en estudios de investigación participativa con caficultores (Aristizábal *et al.* 2002, 2004a).

Los puntos de agregación de la broca del café en cafetales mayores de tres años, se localizan hacia los bordes de los lotes y hacia las depresiones o partes bajas del cafetal, lo mismo que en los cafetos situados cerca al beneficiadero, a los puntos de pesaje de café cereza y alrededor de las tolvas recolectoras (Cenicafé 1994a). Por lo tanto las labores de control se deben intensificar en la detección y control en esos sitios.

Empíricamente se manifiesta que las labores denominadas "prácticas de control cultural", constituyen un 80% del éxito en el control global de la broca. Esto ha sido parcialmente comprobado en estudios sobre escape de la broca en la zona del beneficio, en los cuales se demuestra que entre un 64% y 75% de la población de la broca llega al beneficio durante la cosecha (Moreno *et al.* 2001). Esta situación hace que el cafetero tome medidas en la zona del beneficio para evitar que la broca vuelva al cafetal.

Otras prácticas agronómicas que contribuyen al control de la broca

Existen muchas labores que se hacen o se pueden realizar en las fincas cafeteras que contribuyen a la reducción de las poblaciones de broca, a continuación se discuten las más importantes (Bustillo 2002).

La siembra de variedad Castilloâ además de evitar que se tenga que controlar la roya (Alvarado y Moreno 1999), presenta ventajas en relación con la broca, es-

pecialmente porque permite un mejor establecimiento del hongo *B. bassiana* al no tener que utilizarse fungicidas en el cafetal. Otra condición es que sus frutos permanecen más tiempo adheridos al árbol que la variedad caturra, dando tiempo para que los pases de cosecha se puedan hacer más espaciados y con menor riesgo de que se caigan al suelo.

La disposición de los árboles en el campo es muy importante (Mestre y Salazar 1995), ya que permite a los jornaleros desplazarse dentro de los cafetales eficientemente para hacer labores de Re – Re, evaluación de infestaciones y aspersiones para el control de la broca. Por otra parte, las labores de podas y deschuponamiento en los cafetales, hechas oportunamente, permiten que las labores de cosecha y Re – Re se ejecuten en mejor forma.

La renovación de los cafetales como lo aconseja Cenicafé (Mestre y Ospina 1994a, 1994b), permite el ordenamiento de la finca, de tal manera que no existan cafetales muy viejos que dificulten las labores de control de la broca, ya que en estos lotes es difícil el Re – Re, se quedan muchos frutos maduros en los cafetales y se caen muchos frutos infestados al suelo.

El uso del selector de arvenses para aplicar herbicidas en una forma selectiva y así controlar plantas indeseables (malezas), es una herramienta de mucha utilidad para el cafetero ya que con este dispositivo se puede mantener una cobertura de arvenses nobles que no compiten con el café, lo cual proporciona protección al suelo y evita la erosión (Rivera 1997, 2000). Además esta herramienta facilita la supervivencia de la fauna benéfica que ataca la broca del café, ya que parasitoides como *C. stephanoderis*, han mostrado que se alimentan del néctar de las arvenses nobles (Salazar y Baker 2002).

En el proceso de beneficio del café son muchas las actividades que se pueden hacer para evitar que la broca vuelva a los cafetales. Uno es el mantener las tolvas de recibo cubiertas con una tapa impregnada con grasa para que las brocas que salgan queden atrapadas. El despulpado del café sin agua (Alvarez 1991), permite reducir mucho los caudales de agua y evitar que la broca salga flotando en estos desagües hacia el cafetal. En los canales de correteo se deben colocar dispositivos que tamicen el agua que sale del beneficio para capturar las brocas contenidas en estos efluvios. El tener un

silo para secar el café con calor, es fundamental para matar los estados de broca que quedan en el grano pergamino durante la labor de beneficio.

El beneficio ecológico del café utilizando el sistema Becolsub, es muy importante para evitar que la broca escape durante el proceso (Oliveros y Roa 1995; Oliveros *et al.* 1995). Una ventaja adicional es que al usar tan poca agua no hay riesgo de que la broca se vaya en ella, además permite secar el café inmediatamente en silos causando la muerte a los estados de la broca que se encuentren en el interior del grano pergamino.

Enemigos nativos de la broca

Conocer la fauna benéfica que afecta una plaga es fundamental para hacer planes sobre su manejo. Un primer paso en el estudio de la broca fue determinar la fauna benéfica nativa existente en Colombia que podía estar afectando sus poblaciones. Estos estudios arrojaron la presencia de nueve entomopatógenos, un parasitoide de adultos y ocho depredadores, lo que demuestra la biodiversidad del ecosistema cafetero colombiano y especialmente tratándose de una plaga como la broca de reciente introducción a este hábitat (Bustillo 1995). Esto afirma la importancia de preservar el ecosistema con medidas de control que no afecten esta fauna y así favorecer al cafetero, quien tendrá que hacer menos esfuerzos físicos y económicos para el control de la plaga (Bustillo *et al.* 2002; Bustillo *et al.* 1998).

Es importante anotar el papel importante que juegan las hormigas depredadoras de la broca del café. Recientemente Vélez (2002) estudio el comportamiento y efecto que tienen varias especies de hormigas sobre poblaciones de la broca, siendo las más importantes: *Solenopsis geminata*, *Dorymyrmex* sp., *Pheidole* sp. y *Mycocarpurus smithii*. Algunas de ellas son capaces de trepar a los árboles y preñar adultos que están intentando dañar los frutos, otras se introducen en los frutos infestados y preñan sobre todos los estados de broca que encuentran en su interior y existen otros grupos que solo actúan a nivel del suelo afectando las poblaciones de ellas que se encuentran en frutos caídos. De ahí la importancia de reconocer estas especies y proteger sus nidos.

Introducción de parasitoides contra la broca del café

La otra estrategia para combatir la broca fue la introducción de fauna benéfica que no existía en el medio pero que se cono-

cía que actuaba en su lugar de origen, África. Por esto se introdujeron tres especies de parasitoides a través de cuarentenas en Inglaterra: *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, *Prorops nasuta* Waterston y *Phymastichus coffea* La Salle. La producción masiva de estas especies ha sido bien documentada (Orozco 2002; Orozco y Aristizábal 1996; Bustillo *et al.* 1996; Orozco 1995; Portilla y Bustillo 1995). Los procesos de producción se pusieron a disposición de 11 laboratorios particulares con los cuales se contrató durante cinco años, (1995 – 1999) la producción masiva para poder iniciar liberaciones de avispidas en fincas cafeteras infestadas con la broca. De estos parasitoides se liberaron más de 1600 millones en cafetales de todo el país en un periodo de cinco años, a través de actividades conjuntas con el servicio de Extensión de la FNC, con el propósito inicial de establecerlos en el ecosistema cafetero y que se distribuyeran a todos los cafetales infestados con la broca (Bustillo *et al.* 1998).

En relación con el comportamiento de *C. stephanoderis* y *P. nasuta* es bastante similar para las dos especies. Atacan todos los estados de la broca cuando colonizan los frutos infestados. Primero matan el adulto de la broca y se alimentan de su hemolinfa, luego consumen los huevos y las larvas de primer instar y posteriormente paralizan las larvas de segundo instar, las prepupas y pupas sobre las cuales ovipositan y se desarrollan (Bustillo *et al.* 1996). Debido a este comportamiento estas especies están dirigidas a los frutos maduros, sobremaduros y secos que no fueron recolectados y se quedaron en el árbol. Por tanto, las épocas más oportunas para liberar las avispidas son al terminar la cosecha principal y después de la mitaca. Los parasitoides se liberan en los «focos» de la finca donde los niveles de infestación son más altos (Aristizábal *et al.* 1998b).

Tanto para *C. stephanoderis* como para *P. nasuta* se ha encontrado que realizan una acción depredadora sobre los adultos que se encuentran colonizando los frutos. El nivel de ataque se ha encontrado que puede variar entre un 48% hasta un 65% para *C. stephanoderis* (Aristizábal *et al.* 1998a), en el caso de *P. nasuta* estos niveles se han registrado entre el 60 y 70% de predación (Bacca 1999).

Estudios de campo han mostrado el potencial de *C. stephanoderis* y *P. nasuta* como controladores reduciendo los ni-

veles de infestación de la broca, pero utilizando relaciones altas de parasitoides que oscilan entre 3 y 10 parasitoides por fruto infestado (Salazar y Baker 2002; Bacca 1999), las cuales no son viables económicamente debido a los altos costos de su producción.

La presencia de los parasitoides es evidente en todas las zonas donde se han liberado. El parasitismo ocasionado por *C. stephanoderis*, es dependiente de las densidades de *H. hampei* y aumenta cuando las poblaciones de la broca son mayores (Benavides *et al.* 1994). En estudios de campo se ha determinado que *C. stephanoderis* disminuyó significativamente el número de estados biológicos de la broca, tanto en frutos recolectados en árboles como en frutos del suelo (Aristizábal *et al.* 1997).

Observaciones en Nariño después de cuatro años de realizar liberaciones de las especies *P. nasuta* y *C. stephanoderis* en cafetales de este departamento, comprobaron la presencia de ambas especies. Sin embargo, *P. nasuta* demostró más adaptación al medio ya que se encontró en mayor proporción y en más lugares que *C. stephanoderis* a pesar de haber sido liberada en menor proporción (Quintero *et al.* 1998).

Un programa similar se adelanta con *Phymastichus coffea*, parasitoide de adultos de la broca. Para esta especie también se ha desarrollado un proceso de producción masiva (Orozco y Aristizábal 1996, Orozco 2002) y después de comprobar su selectividad a especies de Scolytinae (López – Vaamonde *et al.* 1997) se autorizó su liberación en cafetales Colombianos. *P. coffea* parasita el adulto de la broca que está penetrando los frutos, siendo un complemento ideal para las otras dos especies. En condiciones de campo se ha comprobado una alta capacidad de búsqueda y adaptación de *P. coffea* sobre poblaciones de la broca (Vergara *et al.* 2001a; Echeverry 1999). Los estudios sobre su actividad en cafetales han mostrado una buena capacidad de búsqueda en el campo, aún en presencia de poblaciones de broca inferiores al 5% de infestación (Vergara *et al.* 2001b).

Jaramillo *et al.* (2002, 2005) determinaron la capacidad de parasitismo de *P. coffea* sobre poblaciones de *H. hampei* en frutos de café de diferentes edades, la cual es mayor cuando la broca se encuentra en posiciones de penetración en el fruto y la edad de estos esta entre los 70 y 170 días después de la floración del fruto. Por otra parte Aristizábal *et al.* (2004b)

a través de investigación participativa con caficultores, indican que estos parasitoides pueden convertirse en reguladores importantes de las poblaciones de broca en cafetales y establecerse en el ecosistema cafetero colombiano. Sin embargo muestreos hechos unos tres años después de estas liberaciones no han dado indicaciones de recuperación del parasitoide en estas áreas.

Estudios recientes aun no publicados, están mostrando solo la presencia de la especie *P. nasuta*, en cafetales de varios departamentos, en algunos casos con altos niveles de parasitismo. Aparentemente, esta especie es la más adaptada a las condiciones del neotrópico, ya que fue introducida hace unos 80 años al Brasil en donde sobrevivió a las aplicaciones de insecticidas, y gran parte de la progenie del parasitoide liberada en el centro de la zona cafetera colombiana, proviene de una colonia introducida desde el estado de Espirito Santo.

Uno de los cuellos de botella para masificar en una forma económica el uso de los parasitoides de la broca, ha sido el costo de su producción que hace difícil que puedan utilizarse en grandes cantidades para que tengan un efecto inmediato en las poblaciones de broca. Los procesos de cría, utilizando café cereza y pergamino han tratado de reemplazarse por dietas artificiales (Portilla y Bustillo 2005; Ruiz *et al.* 1996). Estudios en los últimos años han mostrado avances en la optimización de la dieta artificial permitiendo la producción de muchas generaciones continuas (> 80) bajo condiciones de laboratorios en estos sustratos (Portilla 2000, 1999a, 1999b; Portilla *et al.* 2000). Sin embargo, los intentos por lograr una mecanización de estos procesos para reducir la mano de obra han sido infructuosos, resultando aun en sistemas de producción que requieren una gran y sofisticada infraestructura que elevan los costos de producción por encima del sistema de producción actual.

Hongos en el control de la broca del café

El hongo *Beauveria bassiana* se encuentra naturalmente infectando la broca en casi todas las regiones en donde este insecto aparece. Cenicafe posee 102 aislamientos procedentes de diferentes países y colectados localmente, de los cuales aproximadamente la mitad han mostrado actividad contra broca (Posada y Bustillo 1994). Con el fin de masificar el uso de este hongo, la investigación inicial se centró en procesos de producción arte-

sanal (Marín y Bustillo 2002; Antía *et al.* 1992) e industrial (Morales *et al.* 1991). Esto permitió adelantar evaluaciones sobre su eficacia en los cafetales y tener inoculo del hongo disponible para que el agricultor pudiera producirlo en su finca. Además financiado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, se pudo llevar a cabo un programa nacional de introducción del hongo en toda la zona cafetera infestada por la broca. La tecnología generada a nivel industrial se ha transferido a productores particulares para que se encarguen de la producción del hongo. En la actualidad existen varios laboratorios comerciales con licencia del ICA, que suministran hongo formulado para el control de la broca. Durante 1992 se utilizaron cinco toneladas de hongo a una concentración de 1×10^8 esporas/gramo con fines experimentales. La producción de *B. bassiana* para el control de la broca del café fue de 60 toneladas en 1993 (Posada 1993) y para 1998 se estimó en 300 toneladas de un producto conteniendo al menos 1×10^9 esporas / gramo.

El desarrollo de bioensayos (Posada *et al.* 2002; González *et al.* 1993) para seleccionar los aislamientos más virulentos, las instrucciones para realizar su reactivación en insectos (Bustillo y Marín 2002) y los protocolos para el control de calidad de los hongos producidos artesanal e industrialmente (Vélez *et al.* 1997), han permitido controlar y mejorar el producto que comercialmente se ofrece a los cafeteros.

Un cadáver de broca bien esporulado puede producir unos 10 millones de esporas lo que facilita su dispersión y establecimiento en los cafetales (Narváez *et al.* 1997). Esta condición es la que se observa en el campo como una mota o moho blanco sobre el cuerpo de la broca. *B. bassiana* ataca la broca cuando esta se encuentra penetrando los frutos de café al entrar en contacto con sus esporas. Si el insecto ya entró al fruto es difícil que el hongo lo pueda infectar (Bustillo y Posada 1996).

El ciclo de vida de *B. bassiana* 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. En el campo dependiendo de las condiciones ambientales esto puede tomar entre 15 a 30 días. Se ha demostrado también la importancia de pasar el hongo *B. bassiana* a través de insectos para reactivar su virulencia. Cuando se culti-

va el hongo en medios artificiales por tres o más generaciones su virulencia 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 otros estudios se ha explorado el efecto de la radiación solar sobre *B. bassiana* (Vélez y Montoya 1993) encontrándose que las esporas son muy sensibles a la luz solar, por lo que las formulaciones deben contener protectores solares para una mayor permanencia en el ecosistema. En relación con la compatibilidad con fungicidas e insecticidas (Rivera *et al.* 1994), en general los resultados muestran que no se deben hacer mezclas. Con la mayoría de los insecticidas evaluados se reduce la viabilidad del hongo y los fungicidas comúnmente utilizados para el control de la roya matan el hongo *B. bassiana*, por lo tanto no se recomienda este tipo de mezclas.

La eficiencia de *B. bassiana* en el campo se ha experimentado ampliamente (Flórez *et al.* 1997; Bustillo y Posada 1996; Bustillo *et al.* 1995, 1991). Los resultados son muy variables y están influenciados por condiciones climáticas y condiciones del cultivo, los niveles de control pueden fluctuar entre valores muy bajos, p. e. 20% hasta niveles del 75%. Las investigaciones sobre equipos para asperjar el hongo *B. bassiana* demostraron que este se puede aplicar eficientemente con todos los equipos disponibles para el cultivo del café. Sin embargo el equipo motorizado de espalda Motax con una descarga de 60 litros / ha mostró ser muy eficiente y más económico (Flórez *et al.* 1997).

El efecto patogénico de *B. bassiana* cepa Bb9295, se estudió bajo diferentes aspectos en condiciones de cafetales (Arcila *et al.* 2006). Al evaluar el efecto de diferentes niveles de infestación de la broca se encontró que esta es independiente del porcentaje de infestación de broca. En relación con la sombra, se encontró una tendencia a incrementarse la eficacia del hongo cuando se incrementa la sombra, esta posiblemente no fue más evidente debido al auto sombrío que normalmente tiene el café en altas densidades.

La eficacia de *B. bassiana* en el control de la broca relacionada con la posición de la rama en el árbol en donde el insecto ataca los frutos fue variable. Se encontró que hubo una mortalidad mayor en las ramas bajas, debido probablemente a una mayor condición de humedad y de

menor radiación solar. Mediciones previas de la radiación fotosintética activa (RFA), mostraron que los dos tercios superiores reciben significativamente más RFA que el inferior (Arcila *et al.* 2006).

La permanencia ó residualidad de *B. bassiana* Bb9205 en una preparación sin formular 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 *B. bassiana*. El control obtenido con el hongo fue de 74, 24, 21, 20 y 19% para cada caso respectivamente, mostrando una disminución en su eficacia a medida que transcurre el tiempo de su aspersión. La evaluación de cuatro dosis comprendidas entre 1×10^8 y 5×10^9 esporas/árbol de Bb9205 permitió encontrar que a medida que se incrementa la dosis la mortalidad sobre la broca es mayor (Arcila *et al.* 2006). Se espera que el efecto de ese hongo sea mayor a medida que se desarrollen formulaciones que confieran una mayor longevidad en el ambiente a este entomopatógeno. Recomendaciones prácticas sobre su uso se presentan en Bustillo (2004b).

Efecto de hongos sobre broca en frutos en el suelo

Se evaluó el efecto de aspersiones de *B. bassiana* y *Metarhizium anisopliae* al suelo sobre la broca que emerge de frutos caídos, a medida que transcurre el tiempo después de depositar el hongo. Los resultados mostraron que los niveles más altos de infección por los hongos sobre la broca en las ramas de los árboles, ocurrieron en 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, pero de nuevo alcanzó 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 reproducción de los hongos en el suelo y la acumulación de esporas infectivas sobre insectos atacados que reinfectan nuevos insectos para asegurar la perpetuación del microorganismo (Bustillo *et al.* 1999). Los anteriores resultados muestran las bondades de *B. bassiana* en la regulación de la población 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 permitiera una mayor permanencia en el suelo para evitar la lixiviación o arrastre causada por las lluvias.

A través de un laboratorio en Cenicafé, laboratorios particulares, y Cooperativas cafeteras se pudo producir suficiente inóculo de *B. bassiana* para poder expandir su uso en toda la zona cafetera infestada por la broca. Este programa fue patrocinado por la Federación Nacional de Cafeteros, libre de costo para el caficultor y los resultados muestran que el esta establecido en todas las áreas en donde se ha asperjado y se ha convertido en el factor de mortalidad natural más importante de la broca en Colombia. Se estima que en promedio el 49% de la población total de broca en un cafetal muere a causa de este hongo (Ruiz 1996).

Actualmente se considera, que dadas las exigencias de los mercados internacionales sobre restricciones en residuos de químicos en los productos de exportación y con el auge de los cafés especiales, amigables con las aves, con el ambiente, orgánicos, etc., se considera que organismos como *B. bassiana* son una alternativa muy valiosa en la reducción de los problemas de plagas. Recomendaciones sobre el uso de *B. bassiana* en cafetales son presentados por Bustillo (2004b).

Las investigaciones actuales están dirigidas a mejorar la eficacia de estos hongos en el control de la broca. Para esto se han realizado estudios de selección y caracterización de aislamientos de *B. bassiana* y *M. anisopliae* teniendo en cuenta su morfología (Padilla *et al.* 2000), su patogenicidad (Bernal *et al.* 1994; Jiménez 1992), sus características fisiológicas y de reproducción (Vélez *et al.* 2001, 1999; Valdés *et al.* 1999) y utilizando técnicas moleculares (Gaitán *et al.* 2002; Valderrama *et al.* 2000). Recientemente se está intentando la transformación genética de estos hongos con genes que incrementen su virulencia y puedan ser más eficaces en el control de la broca del café en el campo (Góngora 2005; Rodríguez y Góngora 2005; Góngora *et al.* 2000), pero aun no existen regulaciones en Colombia para la manipulación de microorganismos transgénicos lo que detiene este tipo de avances. Por otra parte hay evidencias de que con el uso de mezclas de hongos se puede llegar a lograr controles más eficientes de la broca en los cafetales.

Compatibilidad de los parasitoides con otros métodos de control

Los hongos *B. bassiana* y *M. anisopliae* bajo condiciones de campo cuando se expusieron a adultos de *C. stephanoderis* y *P. nasuta* causaron mortalidades muy

bajas. Los entomopatógenos y los parasitoides se pueden emplear en un programa de manejo integrado de la broca del café, donde el intervalo de tiempo entre aplicación de los hongos y liberación de los parasitoides sea de ocho días para disminuir los riesgos de infección en el parasitoide de los cuales de acuerdo con este estudio fueron inferiores al 7%. El riesgo de la infección en los parasitoides se reduce si éstos se liberan antes de asperjar los hongos (Mejía *et al.* 2000; Reyes *et al.* 1995).

En relación con los insecticidas usados para el control de la broca se demostró que todos los productos, causan mortalidades a los parasitoides introducidos en los cafetales. Sólo se recomienda la aspersión cuando han transcurrido como mínimo 30 días después de la liberación de los parasitoides. Si los insecticidas se asperjan primero, se deben esperar 21 días para liberar los parasitoides (Bustillo *et al.* 1998; Guzmán 1996).

Los entomonemátodos y la broca del café

Debido a la condición de la broca de estar presente en frutos que se encuentran en el suelo, siendo esta la mayor dificultad para el cafetero en el manejo de este insecto, se ha considerado que los entomonemátodos, debido a sus hábitos, podrían jugar un papel importante en la reducción de poblaciones de *H. hampei*. En Colombia, no se ha registrado ningún nematodo atacando la broca en forma natural (Bustillo *et al.* 2002). Sin embargo, la literatura indica sobre dos registros de nemátodos atacando poblaciones de broca en condiciones de campo, uno de la India y el otro de México. En India Varaprasad *et al.* (1994) encontraron especímenes de *Panagrolaimus* sp. (Panagrolaimidae) infectando adultos de *H. hampei*, mientras que en México, Castillo y Barrera (1998) encontraron un nematodo Tylenchidae parasitando adultos que estaban en frutos provenientes del suelo en plantaciones de café.

Las investigaciones con nemátodos nativos en Colombia se han realizado con especies de los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* y los estudios han abarcado temas sobre búsqueda y selección de nemátodos nativos que ataquen la broca, estudio del comportamiento y estrategias de búsqueda del hospedante (Molina y López 2002, 2003), ciclo de vida (López 2002), evaluación de sistemas de aplicación (Lara y López 2005) y evaluaciones bajo condiciones de invernadero y de campo en pequeña escala

(Lara *et al.* 2004; Giraldo 2003). Se han encontrado en el suelo de la zona cafetera varias especies de entomonemátodos que bajo condiciones controladas y de campo han mostrado ser capaces de llegar a los frutos brocados y reducir poblaciones de broca.

No obstante los avances en producción masiva de entomonemátodos en los últimos 15 años en el entorno mundial, en Colombia no hay desarrollos. Esto se convierte en “un cuello de botella”, ante una eventual demanda de productos con base en estos controladores biológicos.

Uso de insecticidas

El uso de insecticidas para el control de la broca sólo se debe llevar a cabo cuando técnicamente se requiera, o sea se justifique por los niveles de infestación, en forma localizada, en el tiempo apropiado de ataque de la broca y con la tecnología de aspersión recomendada (Posada *et al.* 2004; Bustillo *et al.* 1998; Villalba *et al.* 1995).

Los resultados de estudios llevados a cabo en Colombia (Villalba *et al.* 1995), mostraron que la eficacia de los insecticidas se redujo a medida que el tiempo aumentó después de la infestación de la broca. También se encontró que existen otras formulaciones diferentes al endosulfan de igual o mayor eficacia en el control de *H. hampei* como, pirimifos metil, fenitrothion, clorpirifos, fenthion, de categoría toxicológica III y con una actividad biológica que no supera los 15 días, lo cual hace recomendable su uso en programas de manejo integrado en donde los insecticidas son uno de los componentes del control de la broca. De este estudio se puede concluir que los insecticidas, independiente de la formulación, sólo son eficaces en el control de la broca, cuando esta se encuentra penetrando los frutos y su uso obedece a un esquema de MIP donde priman los criterios técnicos para evitar efectos adversos al ecosistema cafetero.

El control de la broca del café en los cafetales con el uso de insecticidas es muy errático. Para explicar estas fallas se han estudiado diferentes factores que lo afectan como son: el ingrediente activo utilizado, la correcta dosificación, la calibración tanto de los operarios como de los equipos, la topografía del terreno, las condiciones ambientales reinantes al hacer las aspersiones y el momento oportuno de las aspersiones relacionado con el ataque de la broca. Sin embargo, es muy poco lo que se co-

noce sobre el efecto de la edad de los frutos del café que son atacados por la broca y la eficacia de los insecticidas. Al estudiar esta situación se encontró, que la eficacia de todos los productos evaluados disminuyó a medida que se incrementó la edad del fruto. Lo anterior se explica por el comportamiento de la broca que prefiere, ataca y se desarrolla más rápidamente en frutos de mayor edad. (Villalba *et al.* 2006).

La eficacia de insecticidas químicos y la reducción de sus dosis para el control de la broca se pueden lograr mediante la mezcla con coadyuvantes. En evaluaciones hechas en la zona central cafetera se demostró que la eficacia de algunos insecticidas se puede incrementar usando coadyuvantes en proporción de 0,75 l/ha reduciendo sus dosis de 1,5 l/ha a 1,0 l/ha (Villalba 1997).

El uso irracional de insecticidas puede causar muchos problemas, entre los que se destacan la resistencia del insecto a estos. La característica de la broca de poseer una haplodiploidía funcional le confiere una mayor velocidad en la eliminación de mutaciones deletéreas, lo que permite la fijación de aquellas que favorecen su reproducción y supervivencia en pocas generaciones. Esto último es el caso de la resistencia de la broca a los insecticidas organoclorados, registrada inicialmente en Nueva Caledonia (Brun *et al.* 1989), esta resistencia fue posteriormente evaluada mediante estudios moleculares (French-Constant *et al.* 1994) y se encontró que se trata del gen *Rdl* que codifica para una subunidad del receptor del ácido γ -aminobutírico (neurotransmisor GABA), el cual es responsable de activar los canales de cloro durante la sinapsis.

Este gen de resistencia fue favorecido en Nueva Caledonia mediante procesos de selección. Insecticidas pertenecientes al grupo de los ciclodienos como el DDT, lindano y endosulfan, se aplicaron de manera constante y generalizada a partir de 1966, y en menos de 20 años los niveles de infestación por broca alcanzaron sus máximos históricos y la resistencia genética fue documentada (Brun *et al.* 1989). Esta resistencia ha sido parcialmente descrita en Colombia (Góngora *et al.* 2001), en donde la mutación existe en la población de broca confiriendo resistencia al endosulfan, lo cual con prácticas de control no apropiadas en los cafetales se encargan de incrementar la frecuencia de este gen en la población de broca.

Implementación e impacto del MIB en los cafetales

Los estudios de adopción del manejo integrado de la broca (MIB) en fincas cafeteras (Duque y Cháves 2000), han constatado que las recomendaciones derivadas de las investigaciones, han sido acogidas por gran parte de los caficultores lográndose la reducción de las poblaciones de la broca en los cafetales y así poder seguir produciendo café para exportación (Benavides *et al.* 2002; Benavides y Cárdenas 1995). Las labores de control cultural incluyendo el Re-Re, evitando la caída de frutos infestados en el suelo y el escape de la broca de la zona del beneficio, son un pilar fundamental para evitar altas infestaciones en las cosechas subsiguientes.

El control biológico de la broca con *B. bassiana* se constituye en un factor de mortalidad muy importante cuando esta se encuentra en posición de penetración en el fruto (Flórez *et al.* 1997). Este control es complementado con los parasitoides, *C. stephanoderis* y *P. nasuta*, que atacan la broca cuando su progenie se desarrolla dentro del fruto. Sin embargo, con el tercer parasitoide *P. coffea*, se ha demostrado cierta incompatibilidad cuando se aplica el hongo y seguidamente se libera la avispa (Cantor *et al.* 2006).

El uso de insecticidas es eficaz para el tratamiento de áreas en cafetales o “focos” donde la broca esta muy concentrada, siempre y cuando este control se use siguiendo criterios técnicos, y aplicando los productos en el momento oportuno de ataque de la plaga, con equipos de aspersión calibrados, operarios capacitados y utilizando la formulación apropiada de categoría toxicológica III. El uso de formulaciones de insecticidas basadas en endosulfan se encuentra prohibido en Colombia y muchos otros países como los pertenecientes a la Unión Europea y Brasil (Consejo de Estado 2001). Este enfoque de control de la broca del café, es el más ecológico para mantener la biodiversidad de la zona cafetera, (Gil 2005; Valencia *et al.* 2005), evitar el surgimiento de otras plagas y lo más importante, al hacer un uso racional de los insecticidas prevenir la contaminación ambiental y los riesgos sobre las 560.000 familias que habitan estas regiones.

Estudios sobre adopción del manejo integrado de la broca indican que el 60% de los cafeteros han adoptado parcial o totalmente el MIB, cifra considerada alta tratándose de que es un concepto o filosofía de manejo de plagas bastante complejo para ser asimilado fácilmente por los agricultores (Duque y Cháves 2000).

Recomendaciones para implementar un programa de esta índole se presentan en Bustillo (2002). Los resultados de las investigaciones para el control de la broca se han extendido a 750.000 ha de café infestadas con broca, a través del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros.

Una nueva estrategia para transferir esta información ha sido la Investigación Participativa con Agricultores (IPA), la cual ha mostrado ser una herramienta útil para llegar a comunidades de pequeños caficultores que tienen problemas comunes y presentan niveles de adopción bajos (Aristizábal 2005; Aristizábal *et al.* 2004a, 2004b). Esta estrategia actualmente está siendo institucionalizada por el Servicio de Extensión de la FNC.

El impacto de estos resultados de investigación lo soportan las estadísticas de Almacafé, la organización del sector cafetero encargada del almacenamiento y exportación del café en Colombia. Los niveles de café pergamino infestado por la broca del café que llegan a estos silos, se han reducido grandemente. En 1994 los niveles promedios en el país alcanzaban el 16% del café almacenado que estaba afectado por la broca. En los últimos años, los niveles de infestación de broca se han mantenido en niveles bajos (< 3.2%), permitiendo que la producción de café colombiano se siga comercializando hacia el exterior sin problemas (Abisambra 2004). Esta situación ha favorecido enormemente la economía del sector cafetero colombiano, que teniendo en cuenta los precios actuales (marzo de 2006) del café en el mercado internacional, se estima que representan ahorros cercanos a US\$120 millones de dólares anuales.

El impacto social ha sido visible, ya que con los programas de manejo integrado, se logra una racionalización o exclusión del uso de insecticidas de síntesis, evitando la contaminación y efectos deletéreos sobre los agroecosistemas y el hombre mismo, favoreciendo en esta forma el bienestar y la salud de los cafeteros. Además del control de la broca bajo el enfoque del MIP, se ha logrado mantener la alta calidad del café colombiano para beneficio de los consumidores mundiales, que no solo desean una buena taza de café, sino que esté libre de residuos tóxicos provenientes de malas prácticas durante su producción y procesamiento.

Conclusiones

La broca del café es un problema muy serio para los caficultores y las investiga-

ciones se han enfocado abarcando múltiples aspectos con el fin de enmarcarlos dentro de un esquema de manejo integrado de la plaga, pero extendiéndolo hacia el enfoque de la finca cafetera, en la cual muchas prácticas del cultivo pueden incidir positiva o negativamente sobre este problema. Los avances de la investigación han permitido ofrecer al caficultor una serie de recomendaciones con las cuales pueda seguir produciendo café en presencia de la broca, pero aun hacen falta más progresos para incrementar la eficiencia de las recomendaciones.

En el campo del control biológico, es necesario explorar la introducción de nuevos insectos benéficos como *Heterospilus coffeicola*, y mejorar los sistemas de producción para hacerlos más económicos. Es importante dilucidar a través de tablas de vida bajo diferentes condiciones ecológicas lo que sucede con los parasitoides africanos de la broca, una vez que son liberados en los cafetales. En relación con los predadores, las hormigas juegan un papel muy importante y es necesario conocer más sobre sus hábitos alimenticios y de anidación para que se puedan manipular y lograr que prosperen en sitios donde no estén presentes. La eficiencia del hongo *B. bassiana* se puede mejorar mediante la producción de cepas transgénicas más virulentas y también con el uso de combinaciones de cepas que puedan tener una mayor eficacia en el campo.

Los entomonematodos pueden llegar a ser una herramienta para el control de poblaciones de broca que se encuentra en los frutos caídos en el suelo, sin embargo para implementarlos es necesario avanzar en investigaciones que conduzcan al desarrollo de procesos de cría masiva. Esta se puede enfocar a través de estudios con reactores o producirlos *in vivo* sobre tejidos de insectos.

En cuanto a las dietas artificiales, a pesar de que se puede producir en ellas la broca en una forma continua, para que sean útiles hay que desarrollar procesos mecanizados y demostrar que se puede producir la broca a costos más reducidos que los actuales.

Agradecimientos

El autor expresa su sincero agradecimiento a la Federación Nacional de Cafeteros que a través de Cenicafe ha apoyado toda la investigación aquí relacionada y en especial al Dr. Gabriel Cadena Gómez, Director del Centro quien con su visión, liderazgo y confianza ha hecho que el tra-

bajo del grupo de la Disciplina de Entomología sea una realidad, para beneficio de las 560.000 familias cafeteras del país. También quiere reconocer las recomendaciones de los revisores anónimos que llamaron la atención sobre tópicos no considerados en el texto inicial, e hicieron importantes aportes al manuscrito.

Literatura citada

- ABISAMBRA, A. 2004. Informe Gerente General, ICA. Oficina Asesora de Comunicaciones del ICA, Comunicado Febrero 23, 2004.
- ALVARADO, G.; MORENO G. 1999. ¿Cómo se distribuye anualmente la cosecha de las variedades Caturra y Colombia?. Cenicafe, Avances técnicos No. 260. 4 p.
- ÁLVAREZ, J. 1991. Despulpado de café sin agua. Cenicafe, Avances técnicos No. 164. 6 p.
- ALZATE, V. A. 1993. Rendimiento y porcentaje de infestación del café cereza atacado por broca. Cenicafe, Informe de labores no publicado, Chinchiná, 14 p.
- ANDREWS, K. L.; QUEZADA, J. R. 1989. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: Estado actual y futuro. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras, 623 p.
- 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. Cenicafe, Avances técnicos No. 182. 12 p.
- ARCILA, J.; JARAMILLO, A.; BALDÍON, V.; BUSTILLO, A. E. 1993. La floración del café y su relación con el control de la broca. Cenicafe, Avances Técnicos No.193. 6 p.
- ARCILA, A.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B. 2006. Estudio de la cepa Bb9205 de *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. Revista Cenicafe, en prensa. 20 p.
- ARISTIZÁBAL, L. F. 2005. Investigación participativa en el manejo integrado de la broca del café. En: Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Ibagué, 27-29 de julio. p. 65-71.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; BAKER, P. S.; OROZCO, J.; CHÁVES, B. 1997. Parasitismo de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem sobre una población de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) con niveles bajos de infestación en campo. Revista Colombiana de Entomología 23 (3-4): 157-164.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; BAKER, P. S.; OROZCO, J.; CHÁVES, B. 1998a. Efecto depredador del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) sobre los estados inmaduros de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) en condiciones de campo. Revista Colombiana de Entomología 24 (1-2): 35-42.

- ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; OROZCO, J.; CHÁVES, B. 1998b. Efecto del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) sobre las poblaciones de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) durante y después de la cosecha. *Revista Colombiana de Entomología* 24 (3-4): 149-155.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; SALAZAR, H. M.; MEJÍA, C. G. 2002. Cambios en la adopción de los componentes del manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) a través de metodologías participativas. *Revista Colombiana de Entomología* 28 (2): 153-160.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; JIMÉNEZ, M.; TRUJILLO, H. I. 2004a. V Encuentro de caficultores experimentadores. Manejo integrado de la broca del café a través de investigación participativa. Convenio Colciencias-FNC-Cenicafé. Fundación Manuel Mejía, Chinchiná, septiembre 21 y 22 de 2004, 70 p.
- ARISTIZÁBAL, L. F.; SALAZAR, H. M.; MEJÍA, C. G.; BUSTILLO, A. E. 2004b. Introducción y evaluación de *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae) en fincas de pequeños caficultores a través de investigación participativa. *Revista Colombiana de Entomología* 30 (2): 219-224.
- BACCA, R. T. 1999. Efecto del parasitoide *Prorops nasuta* Waterston (Hymenoptera: Bethyilidae) sobre poblaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía. Tesis: Maestría en Ciencias Agrarias. Santafé de Bogotá. 186 p.
- BAKER, P. S. 1984. Some aspects of the behavior of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (Coleoptera: Scolytidae). *Folia Entomológica Mexicana* 62: 9-24.
- BAKER, P. S. 1989. A sampling plan for a control project against the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Mexico. *Tropical Pest Management* 35 (2): 169-172.
- BAKER, P. S.; BARRERA, J. F.; VALENZUELA, J. E. 1989. The distribution of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Southern Mexico: a survey for a biocontrol project. *Tropical Pest management* 35 (2): 163-168.
- BAKER, P. S.; BARRERA, J. F.; RIVAS, A. 1992a. Life history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. *Journal of Applied Ecology* 29: 656-662.
- BAKER, P. S.; LEY, C.; BALBUENA, R.; BARRERA, J. F. 1992b. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries, Mexico, *Bulletin of Entomological Research* 82: 145-150.
- BAKER, P. S.; RIVAS, A.; BALBUENA, R.; LEY, C.; BARRERA, J. F. 1994. Abiotic mortality factors of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 71: 201-209.
- BENAVIDES, P. 2005a. Aspectos genéticos de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. En: *Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología* (Socolen). Ibagué, 27-29 de julio. p. 23-26.
- BENAVIDES, P. 2005b. Distribución global de la broca del café: la versión molecular. En: *Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología* (Socolen). Ibagué, 27-29 de julio. p. 7-11.
- BENAVIDES, P.; CÁRDENAS, R. 1995. Experiencias de campo en manejo integrado de broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Memorias XXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología* (Socolen). Bogotá, 26-28 de julio. p. 74-78.
- BENAVIDES, P.; ARÉVALO, H. 2002. Manejo integrado: una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. *Revista Cenicafé* 53 (1): 39-48.
- 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.
- BENAVIDES, P.; BUSTILLO, A. E.; MONTOYA, E. C.; CÁRDENAS, R.; MEJÍA, C. G. 2002. Participación del control cultural, químico y biológico en el manejo de la broca del café. *Revista Colombiana de Entomología* 28 (2): 161-166.
- BENAVIDES, P.; VEGA, F. E.; ROMEROSEVERSON, J.; BUSTILLO, A. E.; STUART, J. 2005. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Annals Entomological Society of América* 98 (3): 359-366.
- BERGAMIN, J. 1943. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Col. Ipidae). *Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo*. 14: 31-72.
- BERNAL, M. G.; BUSTILLO, A. E.; POSADA, F. J. 1994. Virulencia de aislamientos de *Metarhizium anisopliae* y su eficacia en campo sobre *Hypothenemus hampei*. *Revista Colombiana de Entomología* 20 (4): 225-228.
- BORBÓN M., O.; MORA, A. O.; OEHL-SCHLAGER, A. C.; GONZÁLEZ, L. M. 2002. Proyecto de trampas, atrayentes y repelentes para el control de la broca del fruto de café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Informe ICAFE, San José, Costa Rica, 18 p.
- BRUN, L. O.; MARCILLAUD, C.; GAUDICHON, V.; SUCKLING, D. M. 1989. Endosulfan resistance in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. *Journal of Economic Entomology* 82 (5): 1312-1316.
- BRUN, L. O.; STUART, J.; GAUDICHON, V.; ARONSTEIN, K.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. 1995. Functional haplodiploidy: a mechanism for the spread of insecticide resistance in an important international insect pest. *Proceedings National Academy of Sciences, U. S. A.* 92: 9861-9865.
- BUSTILLO, A. E. 1991. Perspectivas de manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* en Colombia. *Sociedad Colombiana de Entomología* (Socolen), Medellín, Colombia. *Miscelánea No. 18* p. 106-118.
- BUSTILLO, A. E. 1995. Utilización del control biológico clásico en un programa de manejo integrado: El caso de la broca del café, *Hypothenemus hampei*, en Colombia. En: *Memorias Curso Internacional Manejo Integrado de Plagas*, ICA- Universidad de Nariño, nov. 27-dic. 1, 1995, San Juan de Pasto, Colombia, p. 143-148.
- BUSTILLO, A. E. 2002. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. FNC - Cenicafé, Chinchiná, Colombia. *Boletín Técnico No. 24*. 40 p.
- BUSTILLO, A. E. 2004a. Un nuevo modelo de trampa para la captura de adultos de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Nota Científica. Entomólogo* (Colombia) 32 (97): 2-4.
- BUSTILLO, A. E. 2004b. ¿Cómo participa el hongo *Beauveria bassiana* en el manejo integrado de la broca del café?. *Cenicafé. Brocarta No. 37*. Enero de 2004. 4 p.
- BUSTILLO, A. E. 2005. La comunicación en insectos. ¿Reciben mensajes de las plantas?: El caso de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). En: *Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología* (Socolen). Ibagué, 27-29 de julio. p. 57-85.
- BUSTILLO, A. E.; POSADA, F. J. 1996. El uso de entomopatógenos en el control de la broca del café en Colombia. *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) 42: 1-13.
- BUSTILLO, A. E.; MARÍN, P. 2002. ¿Cómo reactivar la virulencia de *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café?. *Hoja Técnica No. 40*. *Catie. Revista Manejo Integrado de Plagas*, No. 63. p. i-iv.
- BUSTILLO P., A.; MEJÍA M., C. G. 2003. Un plan de muestreo más rápido para determinar la infestación de broca en un cafetal. *Memorias Curso Tecnología y Equipos de aspersión para el control de la broca del café*. Chinchiná, marzo 2003. *Cenicafé p. 14-18*.
- BUSTILLO, A. E.; JIMÉNEZ, M. 2003. Captura de adultos de la broca del café en trampas con atrayentes. *Cenicafé. Brocarta No. 36*. Diciembre de 2003. 2p.
- BUSTILLO, A. E.; 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, U.S.A. p. 679-686.
- BUSTILLO, A. E.; VILLALBA, D. A.; CHÁVES, B. 1993. Consideraciones sobre el uso de insecticidas químicos en la

- zona cafetera en el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. En: Memorias XX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Cali, 13-16 de julio. p. 152-158.
- BUSTILLO, A. E.; VILLALBA, D.; OROZCO J.; BENAVIDES, P.; REYES, I. C.; CHÁVES, B. 1995. Integrated pest management to control the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Colombia. ASIC, 16e. Colloque, Kyoto, Japan, p. 671-680.
- BUSTILLO, A. E.; 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. Revista Cenicafe 47 (4): 215-230.
- BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS R.; VILLALBA, D.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA F. 1998. Manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná, Cenicafe, 134 p.
- BUSTILLO, A. E.; BERNAL, M. G.; CHÁVES, 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.
- BUSTILLO, A. E.; CÁRDENAS, R.; POSADA, F. J. 2002. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. Neotropical Entomology 31 (4): 635-639.
- CAMAYO, G. C.; ARCILA, J. 1997. Desarrollo floral del café en condiciones de la zona cafetera colombiana (Chinchiná-Caldas). Cenicafe. Avances Técnicos, No. 245. 8 p.
- CANTOR, F.; VILELA E.; CURE, J. R.; BUSTILLO, A. E.; ARISTIZÁBAL, L. F. 2006. Interação entre o fungo entomopatogênico, *Beauveria bassiana* e o parasitóide *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae) usado em o controle da broca-do-café. Neotropical Entomology en prensa.
- CÁRDENAS G., J. 1993. La industria del café en Colombia. Ensayos sobre la Economía Cafetera, 9: 3-15.
- CÁRDENAS, R. 1983. La arañita roja del café, *Oligonychus yothersi* McGregor. Avances Técnicos Cenicafe No. 110. 2 p.
- CÁRDENAS, R. 1985. La palomilla de las ramas del café *Planococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae.). Cenicafe, Avances Técnicos No. 125. 2 p.
- CÁRDENAS, R. 1991. La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867). En: Seminario sobre broca del café. Socolen, Medellín, 21 de mayo de 1990. Miscelánea No.18 p.1-13.
- CÁRDENAS, R. 2000. Trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae). En: SIMPOSIO Latinoamericano de Caficultura, 19. San José (Costa Rica), Octubre 2-6, 2000. Memorias. ICAFE-PROMECAFE, p. 369-379.
- CARDONA, G. E.; BUSTILLO A. E. 2006. Captura de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) usando trampas en tres densidades diferentes. Resúmenes XXXIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Manizales, 26-28 de julio. p. 133.
- CASTAÑO, A.; BENAVIDES, P.; BAKER, P. S. 2005. Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. Revista Cenicafe 56 (2): 142-150.
- CASTILLO, A.; BARRERA, J. F. 1998. Primer registro de nematodo parasitando a la broca del café en cafetales de México. En: II Reunión Intercontinental sobre la broca del café. Tapachula, Chiapas, México, 29 de marzo- 2 de abril, 1998, ARS, CABI Bioscience, ECOSUR, Programa y resúmenes, p. 47.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafe. 1994a. ¡Cuidado con los frutos secos en su cafetal!. Brocarta No. 26, octubre 30 de 1994. 2 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafe. 1994b. Recomendaciones para manejar el grano cosechado en el Re - Re de los lotes más infestados con broca. Brocarta No. 25, octubre 22 de 1994. 1 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ-Cenicafe. 1995a. ¿Cómo renovar cafetales que presenten infestaciones de la broca del café?. Brocarta No. 21, mayo 30 de 1995. 4 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafe. 1995b. Cosecha de lotes calientes. Brocarta No. 28, febrero 28 de 1995. 2 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafe. 1997. Influencia de las lluvias sobre la dispersión de la broca. Brocarta No. 32, septiembre 30 de 1997. 2 p.
- CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafe. 1998. La broca del café y su relación con los fenómenos climáticos. Brocarta No. 34. febrero 28 de 1998. 4 p.
- CHAMORRO, T. G.; CÁRDENAS, R.; HERRERA, H. A. 1995. Evaluación económica y de la calidad en taza del café proveniente de diferentes sistemas de recolección manual, utilizables como control en cafetales infestados de *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafe 46 (3): 164-175.
- COCHRAN, W. G. 1977. Sampling techniques. 3rd ed., John Wiley and Sons, New York, 428 p.
- CONSEJO DE ESTADO. República de Colombia, Diario Oficial Expediente 5483/01 de 23 de marzo de 2001.
- CORBETT, G. H. 1933. Some preliminary observations on the coffee berry beetle borer *Stephanoderes (Cryphalus) hampei* Ferr. Malayan Agricultural Journal (Malaya) 21 (1): 8-22.
- DECAZY, B. 1990a. Descripción, biología, ecología y control de la broca del fruto del café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). p. 133-139. En: 50 años de Cenicafe 1938-1988, Conferencias conmemorativas. Chinchiná, Colombia. 255 p.
- DECAZY, B. 1990b. Niveles y umbrales de daños económicos de las poblaciones de la broca del fruto del café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). p. 146-149. En: 50 años de Cenicafe, 1938-1988, conferencias conmemorativas. Chinchiná, Colombia. 255 p.
- DECAZY, B. 1990c. Métodos de muestreo para la determinación de poblaciones críticas de la broca del fruto del café *Hypothenemus hampei* (Ferr.). p. 140-145. En: 50 años de Cenicafe 1938-1988, conferencias conmemorativas. Chinchiná, Colombia. 255p.
- DÍAZ, Y.; MARÍN, H. F. 1999. Evaluación de los frutos de café dejados después de Las recolecciones durante un ciclo productivo del cultivo en dos municipios del Departamento de Caldas. Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis: Ingeniero Agrónomo. Manizales. 96 p.
- DUFOUR, B. 2002. Importance du piégeage pour la lutte intégrée contre le scolyte du café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). Plantations, Recherche, Development, mai 2002, 5 p.
- DUQUE, H.; CHÁVES, B. 2000. Estudio sobre adopción del manejo integrado de la broca del café. Chinchiná (Colombia), Cenicafe, 90 p.
- ECHEVERRY, 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. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis Ingeniero Agrónomo. Palmira. 113 p.
- ELLIOTT, J. M. 1977. Statistical analysis of samples of benthic invertebrates. Freshwater Biological Association, Scientific Publication No. 25, 159 p.
- FAJARDO, I. E.; SANZ, J. R. 1999. Dinámica en los procesos de beneficio tradicional y ecológico, de los granos afectados por la broca del café. Revista Cenicafe 50 (2): 136-144.
- FFRENCH-CONSTANT, R. H.; STEICHEN, J. C.; BRUN, L. O. 1994. A molecular diagnostic for resistance in the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Bulletin Entomological Research 84: 11-16.
- 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*. Cenicafe 48 (2): 92-98.
- GAITÁN, A.; VALDERRAMA, A.; SALDARRIAGA, G.; VÉLEZ, P.; BUSTILLO, A. E. 2002. Genetic variability of *Beauveria bassiana* associated with the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. Mycological Research 106 (11): 1307-1314.

- GAVIRIA, A. H.; CÁRDENAS, R.; MONTOYA, E. C.; MADRIGAL, A. 1995. Incremento poblacional de la broca del café *Hypothenemus hampei* relacionado con el desarrollo del fruto del cafeto. *Revista Colombiana de Entomología* 21 (3): 145-151.
- GIL P., Z. N. 2005. Bioindicadores en agroecosistemas cafeteros. En: Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Ibagué, 27-29 de julio. Editorial Produmedios. p. 132-136.
- GIORDANENGO, P.; BRUN, L. O.; FRÉROT, B. 1993. Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, by coffee berries. *Journal Chemical Ecology* 19:763-769.
- GIRALDO, D. P. 2003. Comportamiento de entomonematodos en el control de poblaciones de broca en árboles de café. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 83 p.
- GÓNGORA, C. 2005. Avances en conocimiento y mejoramiento del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*. En: Memorias XXXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Ibagué, 27-29 de julio. Editorial Produmedios p. 27-32.
- GÓNGORA, C. E.; WANG, C. E.; BARBEHENN, R. V.; BROADWAY, R. M. 2000. Chitinolytic enzymes from *Streptomyces albidoflavus* expressed in tomato plants: effects on *Trichoplusia ni*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 99: 193-204.
- GÓNGORA, B.; POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E. 2001. Detección molecular de un gen de resistencia al insecticida endosulfan en una población de broca *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) en Colombia. En: Resúmenes XXVIII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Pereira, 8-10 de agosto. p. 47-48.
- 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 Cenicafe*, 44 (3): 93-102.
- GUZMÁN, D. B. 1996. Efecto de varios insecticidas sobre el parasitoide de la broca del café *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae). Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis: Ingeniero Agrónomo. Manizales, Colombia. 131 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bol. Técnico No. 43, 4a ed., 662 p.
- JARAMILLO, A.; GUZMÁN, O. 1984. Relación entre la temperatura y el crecimiento en *Coffea arabica* L. variedad caturra. *Revista Cenicafe* 35 (3): 57-65.
- JARAMILLO, J.; BUSTILLO, A. E.; MONTOYA, E. C. 2002. Parasitismo de *Phymastichus coffea* sobre poblaciones de *Hypothenemus hampei* en frutos de café de diferentes edades. *Revista Cenicafe* 53 (4): 317-326.
- JARAMILLO, J.; BUSTILLO, A. E.; MONTOYA, E. C.; BORGEMEISTER, C. 2005. Biological control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) by *Phymastichus coffea* LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) in Colombia. *Bulletin of Entomological Research* 95: 1-6.
- JIMÉNEZ, J. A. 1992. Patogenicidad de diferentes aislamientos de *Beauveria bassiana* sobre la broca del café. *Revista Cenicafe* 43 (3): 84-88.
- LARA, J. C.; LÓPEZ, J. C. 2005. Evaluación de diferentes equipos de aspersión para la aplicación de nemátodos entomopatógenos. *Revista Colombiana de Entomología* 31 (1): 1-4.
- LARA, J. C.; LÓPEZ, J. C.; BUSTILLO, A. E. 2004. Efecto de entomonematodos sobre poblaciones de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), en frutos en el suelo". *Revista Colombiana de Entomología* 30 (2): 179-185.
- LE PELLEY, R. H. 1968. Pests of coffee. Longmans, Green and Co. Ltd., London. 590 p.
- LÓPEZ N., J. C. 2002. Nemátodos parásitos de insectos y su papel en el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). En: Memorias Curso Internacional Teórico-Práctico. Sección II. Parasitoides y otros enemigos de la broca. Cenicafe, Chinchiná, Colombia, marzo 18 al 22, 2002. p. 39-70.
- 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 & Cenicafe, Chinchiná, Colombia. 23 p.
- MARÍN, P.; BUSTILLO, A. E. 2002. Producción artesanal de hongos entomopatógenos para el control de insectos plagas. En: Memorias Curso Internacional Teórico-Práctico. Sección I. Entomopatógenos de la broca del café. Cenicafe, Chinchiná, marzo 11 al 15 del 2002. p. 125-131.
- MATHIEU, F.; MALOSSE, C.; FREROT, B. 1998. Identification of volatile components released by fresh coffee berries at different stages of ripeness. *Journal Agricultural Food Chemistry* 46:1106-1110.
- MEJÍA, J. W.; BUSTILLO, A. E.; OROZCO, J.; CHÁVES, B. 2000. Efecto de cuatro insecticidas y de *Beauveria bassiana* sobre *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyridae), parasitoide de la broca del café. *Revista Colombiana de Entomología* 26 (3-4): 117-123.
- MENDOZA, J. R. 1991. Reposta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estímulos visuais e semiquímicos. Tese Magister Scientiae, Universidade Federal de Viçosa, Brazil. 44 p.
- MENDOZA, J. R.; GOMES DE LIMA J. O.; VILELA, E. F.; FANTÓN, C. J. 1999. Atratividade de frutos à broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari): estímulos visuais e olfativos. Anais. Londrina (Brasil), UFPR-IAPAR-IRD, 2000. p. 313-331.
- MESTRE, A.; OSPINA, H. F. 1994a. Estabilización de la producción en las fincas cafeteras. *Cenicafe*, Avances Técnicos No. 200. 4 p.
- MESTRE, A.; OSPINA, H. F. 1994b. Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. *Cenicafe*, Avances Técnicos No. 201. 8 p.
- MESTRE, A.; SALAZAR, J. N. 1995. Producción de cafetales establecidos con una y dos plantas por sitio. *Cenicafe*, Avances técnicos No. 213. 2 p.
- MIGUEL, A. E.; PAULINI, A. E. 1975. Velocidade de penetração da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) no fruto do café. En: Congresso Brasileiro de pesquisas Cafeeiras, 3. Resumos. Curitiba, 18-21. Novembro 1975. Rio de Janeiro, IBC, p. 50-52.
- MOLINA, J. P.; LÓPEZ, J. C. 2002. Desplazamiento y parasitismo de entomonematodos hacia frutos infestados con la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Revista Colombiana de Entomología* 28 (2): 145-151.
- MOLINA, J. P.; LÓPEZ, J. C. 2003. Supervivencia y parasitismo de nemátodos entomopatógenos para el control de *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae). *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas (España)* 29: 523-533.
- MONTOYA, S.; CÁRDENAS R. 1994. Biología de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en frutos de café de diferentes edades. *Revista Cenicafe* 45: 5-13.
- MORALES, E.; CRUZ, F.; OCAMPO, A.; RIVERA, G.; MORALES, B. 1991. Una aplicación de la biotecnología para el control de la broca del café. En: Colloque Scientifique International sur le Café, 14. San Francisco. 14-19 Juillet 1991, Paris, ASIC. p. 521-526.
- MORENO, D.; BUSTILLO, A. E.; BENAVIDES, P.; MONTOYA, E. C. 2001. Escape y mortalidad de *Hypothenemus hampei* en los procesos de recolección y beneficio del café en Colombia. *Revista Cenicafe* 52 (2): 111-116.
- MUÑOZ, R. 1988. Muestreo en fincas para determinar la población de broca (*Hypothenemus hampei* Ferr.) y metodología para calcular el nivel de daño económico. IICA, Boletín de PROMECAFE No. 38, p. 4-14.
- MUÑOZ, R. 1989. Ciclo biológico y reproducción partenogénica del cafeto, *Hypothenemus hampei* (Ferr.). *Turrialba* 39 (3): 415-421.

- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, (NCA). 1969. Insect- pest management and control. Principles of plant and animal pest control, vol. 3. Publication 1695, Washington, D. C., 508 p.
- NARVÁEZ, M.; GONZÁLEZ, M. T.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B.; MONTOYA, E. C. 1997. Producción de esporas de aislamientos de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* en diferentes sustratos. Revista Colombiana de Entomología 23 (3-4): 125-132.
- OLIVEROS, C. E.; ROA, G. 1995. El desmucilaginado mecánico del café. Cenicafé. Avances técnicos No. 216. 4 p.
- OLIVEROS, C. E.; SANZ, J. R.; RAMÍREZ, C. A.; ÁLVAREZ, J. R.; ROA, G.; ÁLVAREZ, J. 1995. Desmucilaginosos mecánicos de café. Cenicafé. Avances técnicos No. 217. 4 p.
- OROZCO, J. 1995. Uso de parasitoides de origen africano para el control de la broca en Colombia. Memorias XXII Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Bogotá, 26-28 de julio. p. 102-108.
- OROZCO, J. 2002. Guía para la producción del parasitoide *Phymastichus coffea* para el control de la broca del café. CFC - Cenicafé-Cabi Commodities, ICO, 19 p.
- OROZCO, J.; ARISTIZÁBAL, L. F. 1996. Parasitoides de origen africano para el control de la broca del café. Cenicafé. Avances Técnicos No. 223. 4 p.
- ORTIZ, A.; ORTIZ, A.; VEGA, F. E.; POSADA, F. J. 2004. Volatile composition of coffee berries at different stages of ripeness, and their possible attraction to the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Agricultural and Food Chemistry 52: 5914-5918.
- PADILLA, G. N.; BERNAL, M. G.; VÉLEZ, P. E.; MONTOYA, E. C. 2000. Caracterización patogénica y morfológica de aislamientos de *Metarhizium anisopliae* obtenidos de diferentes órdenes insectiles. Revista Cenicafé 51 (1): 28-40.
- PERALTA, J. 1995 Diagnóstico de la labor de recolección y repase para el manejo de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) por agricultores. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis: Ingeniero Agrónomo. Palmira. 71 p.
- PORTILLA, M. 1999a. Desarrollo y evaluación de una dieta artificial para la cría de *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé 50 (1): 24-38.
- PORTILLA, 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 (1-2): 57-66.
- PORTILLA, M. 2000. Development and evaluation of new artificial diet for mass rearing *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Revista Colombiana de Entomología 26 (1-2): 31-37.
- PORTILLA, M.; BUSTILLO, 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.; MUMFORD, J.; BAKER, P. 2000. Reproductive potential response to continuous rearing of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) developed using Cenibroca-artificial diet. Revista Colombiana de Entomología 26 (3-4): 99-106.
- POSADA, F. J. 1993. Control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) con hongos. En: Memorias XX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen). Cali, 13-16 de julio. p. 137-151.
- POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E. 1994. El hongo *Beauveria bassiana* y su impacto en la caficultura Colombiana. Agricultura Tropical (Colombia) 31 (3): 97-106.
- POSADA, F. J.; OSORIO, E.; VELÁSQUEZ, E. 2002. Evaluación de la patogenicidad de *Beauveria bassiana* sobre la broca del café empleando el método de la aspersión foliar. Revista Colombiana de Entomología 28 (2): 139-144.
- POSADA, F. J.; BUSTILLO, A. E.; JIMÉNEZ, M. 2003. Seguimiento y captura de brocas usando trampas en cafetales. Cenicafé. Brocarta No. 35. Septiembre de 2003. 2 p.
- POSADA, F. J.; VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E. 2004. Los insecticidas y el hongo *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. Revista Cenicafé 55 (2): 136-149.
- QUINTERO, C.; BUSTILLO, A. E.; BENAVIDES, P.; CHÁVES, 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.
- RABB, R. L.; GUTHRIE, F. E. 1970. Concepts of pest management. Proceedings of a conference held at North Carolina State University at Raleigh, March 25-27, 1970. 242 p.
- REYES, I. C.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B. 1995. Efecto de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre el parasitoide de la broca del café, *Cephalonomia stephanoderis*. Revista Colombiana de Entomología 21 (4): 199-204.
- RIVERA, H. 1997. Establezca coberturas nobles en su cafetal utilizando el selector de arvenses. Cenicafé, Avances técnicos No. 235. 8 p.
- RIVERA, H. 2000. El selector de arvenses modificado. Cenicafé, Avances técnicos No. 271. 4 p.
- RIVERA, A.; BUSTILLO, A. E.; MARÍN, P. 1994. Compatibilidad de dos aislamientos de *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuill., en mezcla con insecticidas usados en el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Revista Colombiana de Entomología 20 (4): 209-214.
- RODRÍGUEZ, M. L.; GÓNGORA, C. E. 2005. Transformación de *Beauveria bassiana* cepa Bb9205 con los genes pr1A, pr1J y ste1 de *Metarhizium anisopliae* y evaluación de su patogenicidad sobre la broca del café. Revista Colombiana de Entomología 31:51-58.
- RUIZ, R. 1996. Efecto de la fenología del fruto del café sobre los parámetros de la tabla de vida de la broca del café; *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Universidad de Caldas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis: Ingeniero Agrónomo. Manizales, Colombia. 87 p.
- RUIZ, L.; BUSTILLO, A. E.; POSADA, F. J.; GONZÁLEZ M. T. 1996. Ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* en dos dietas meréricas. Revista Cenicafé 47 (2): 77-84.
- SALAZAR, M. R.; ARCILA, J.; RIAÑO, N.; BUSTILLO, A. E. 1993. Crecimiento y desarrollo del fruto del café y su relación con la broca. Cenicafé. Avances Técnicos, No. 194. 4 p.
- SALAZAR, H. M.; BAKER, P. S. 2002. Impacto de liberaciones de *Cephalonomia stephanoderis* sobre poblaciones de *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé 53 (4): 306-316.
- SALDARRIAGA, G. 1994. Evaluación de prácticas culturales en el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) (Coleoptera: Scolytidae). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tesis Ingeniero Agrónomo, Medellín. 57 p.
- SOUTHWOOD, T. R. E. 1978. Ecological methods, with reference to the study of insect populations. 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 524 p.
- TAYLOR, L. R. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. Annual Review of Entomology 29: 321-357.
- TICHELER, J. H. G. 1963. Estudio analítico de la epidemiología del escolítido de los granos de café, *Stephanoderis hampei* Ferr., en Costa de Marfil (Traducción G. Quiceno). Revista Cenicafé 14 (4): 223-294.
- TRUJILLO, H. I.; ARISTIZÁBAL, L. F.; BUSTILLO, A. E.; JIMÉNEZ, M. 2006. Evaluación de métodos para cuantificar poblaciones de broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en fincas de caficultores experimentadores. Revista Colombiana de Entomología 32 (1): 39-44.
- VALDERRAMA, A. M.; CRISTANCHO, M. A.; CHÁVES B. 2000. Análisis de la variabilidad genética del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* con marcadores RAPD. Revista Colombiana de Entomología 26 (1-2): 25-30.
- VALDÉS, B. E.; VÉLEZ, P. E.; MONTOYA, E. C. 1999. Caracterización enzimática

- patogenicidad de aislamientos de *Beauveria bassiana* sobre la broca del café. Revista Cenicafé 50 (2): 106-118.
- VALENCIA M., C. A.; GIL P., Z. N.; CONSANTANTINO C., L. M. 2005. Mariposas diurnas de la zona central cafetera colombiana: guía de campo. Chinchiná (Colombia), Cenicafé- FNC- Colciencias, 244 p.
- VARAPRASAD, K. S.; BALASUBRAMANIAN, S.; DIWAKAR, B. J.; RAMA, R. C. V. 1994. First report of an entomogenous nematode, *Panagrolaimus* sp., from coffee-berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) from Karnataka, India. Plant Protection Bulletin 46: 2-3.
- VEGA, F.; BENAVIDES, P.; STUART, J. J.; O'NEIL, S. 2002. *Wolbachia* infection in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Annals Entomological Society of America 95 (3): 374-378.
- VÉLEZ, M. 2002. Hormigas y su papel en el control biológico de la broca del café. En: Memorias Curso Internacional Teórico-Práctico. Sección II. Parasitoides y otros enemigos de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, marzo 18 al 22 del 2002. p. 15-23.
- VÉLEZ, P. E.; MONTOYA, E. C. 1993. Supervivencia del hongo *Beauveria bassiana* bajo radiación solar en condiciones de laboratorio y campo. Revista Cenicafé 44 (3): 111-122.
- 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, Colombia, 37 p.
- VÉLEZ, P. E.; GONZÁLEZ, M. T.; RIVERA, A.; BUSTILLO, A. E.; ESTRADA, M. N.; MONTOYA, E. C. 1999. Caracterización de aislamientos de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* de la colección de Cenicafé. Revista Colombiana de Entomología 25 (3-4): 191-207.
- VÉLEZ, B. E.; JARAMILLO, A.; CHÁVES, B.; FRANCO, M. 2000. Distribución de la floración y la cosecha de café en tres altitudes. Cenicafé, Avances Técnicos, No. 272. 4 p.
- VÉLEZ, P. E.; ESTRADA, M. N.; GONZÁLEZ, M. T.; VALDERRAMA, A. M.; BUSTILLO, A. E. 2001. Caracterización de aislamientos de *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 62: 38-53.
- VERGARA, J. D.; OROZCO, J.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B. 2001a. Biología de *Phymastichus coffea* en condiciones de campo. Revista Cenicafé 52 (2): 97-103.
- VERGARA, J. D.; OROZCO, J.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B. 2001b. Dispersión de *Phymastichus coffea* en un lote de café infestado de *Hypothenemus hampei*. Revista Cenicafé 52 (2): 104-110.
- VILLALBA, D. 1997. El uso de coadyuvantes para incrementar la eficacia de insecticidas en el control de la broca. Informe de labores no publicado, Disciplina de Entomología, Cenicafé, Chinchiná, Colombia. 15 p.
- VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B. 1995. Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. Revista Cenicafé 46 (3): 152-163.
- VILLALBA, D. A.; BUSTILLO, A. E.; CHÁVES, B. 2006. Eficacia de insecticidas para el control de la broca en relación con el desarrollo de los frutos de café. Revista Cenicafé, en prensa.

Recibido: 05-ago-06 • Aceptado: 02-oct-06